

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA
EKONOMSKI FAKULTET**

**SVEUČILIŠTE J.J. STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

Pogled u budućnost

**Projekt suradnje s
Hrvatskom agencijom za poštu i elektroničke komunikacije**

Izvješće 2010

***Mreže i usluge nove generacije, regulatorni
aspekti mreža sljedeće generacije te uporaba
digitalne dividende***



Zagreb, 2010.

Sadržaj

1. Mreže i usluge nove generacije	3
1.1. Arhitektura mreže sljedeće generacije	3
1.2. Tehnologije pokretne mreže	15
1.3. Optička transmisijska mreža	46
1.4. Širokopojasni pristup u ruralnim područjima	49
1.5. Digitalna televizija	61
1.6. Digitalni radio	86
1.7. Usluge s dodanom vrijednosti	101
2. Regulatorni aspekti mreže sljedeće generacije	115
2.1. Opće postavke reguliranja NGN-a	115
2.2. Arhitektura Interneta i mrežna neutralnost	124
2.3. Politika upravljanja radiofrekvencijskim spektrom	136
2.4. Modeli međupovezivanja	148
2.5. Ulaganja i troškovi mreže NGN	152
3. Uporaba digitalne dividende za nove usluge	173
3.1. Pregled postojećih scenarija korištenja digitalne dividende u EU	173
3.2. Analiza tehničkih karakteristika i problema interferencije s analognom difuzijom te usklađivanje RF spektra sa susjednim zemljama	192
3.3. Aukcijski mehanizmi za raspodjelu elektromagnetskog spektra	196

1. Mreže i usluge nove generacije

Dinamičan razvoj tehnologije i tržišta elektroničkih komunikacija zasniva se na istraživanju i razvoju te inovacijama kojima se transformiraju postojeće i uvode mreže i usluge nove generacije. Mreže i usluge nove generacije obilježavaju potpuna digitalizacija informacija, širokopojasna komunikacija i raznovrsnost usluga za osobne i poslovne potrebe. Time su obuhvaćene mreža sljedeće generacije (engl. *Next Generation Network*, NGN) i nova generacija pokretnih mreža zasnovana na konceptu dugoročne evolucije te digitalna televizija i digitalni radio. Mreže nove generacije su paketski zasnovane mreže koje omogućuju uporabu višestrukih širokopojasnih tehnologija s potporom za kvalitetu usluge u kojoj su uslužne funkcije neovisne o transportnim tehnologijama. Omogućuje se nesputani korisnički pristup mrežama i konkurentskim davateljima usluga, podržava neograničena pokretljivost koja omogućuje konzistentno i sveprisutno pružanje informacijskih i komunikacijskih usluga te usluga s dodanom vrijednosti.

1.1. Arhitektura mreže sljedeće generacije

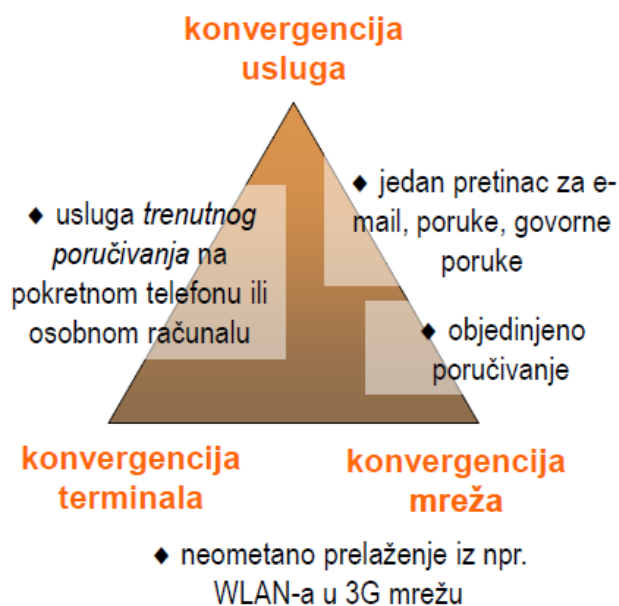
Konvergencija u mrežama sljedeće generacije motivirana je novim trendovima na telekomunikacijskom tržištu koje bilježi smanjenu uporabu fiksnih linija i klasičnih usluge te povećanu uporabu pokretnih mreža i usluga, uz značajno širenje širokopojasnog pristupa Internetu. Ove značajne promjene na telekomunikacijskom tržištu omogućuje napredak tehnologije, primjerice razvoj bežičnih širokopojasnih tehnologija i tehnologija pokretne mreže te širenje primjene protokola IP. Konvergencijski procesi su prije svega usmjereni razvoju novih naprednih usluga prilagođenih osobnim potrebama krajnjeg korisnika (engl. *user-centric perspective*) [1]. U takvom okružju, cilj mreže sljedeće generacije je *omogućiti ponudu raznovrsnih usluga preko objedinjene infrastrukture za prijenos sadržajnih i upravljačkih informacija, neovisno o načinu pristupa* kako je definirano preporukom ITU-T Y.2001 [3]. Stoga je definirana nova mrežna arhitektura koja osigurava interoperabilnost s postojećim fiksnim i pokretnim mrežama, kao i otvorenost prema novim pristupnim tehnologijama. Ova mrežna arhitektura omogućuje prijenos različitih sadržaja (npr. govor, podaci, multimedij) na zajedničkom paketskom prijenosu. Važno je istaknuti i motivaciju da usluge u mrežama sljedeće generacije trebaju biti dostupne u svakom trenutku, na svakom mjestu i na bilo kojem uređaju. Stoga je prilagodba usluga korisniku, terminalu i kontekstu od iznimne važnosti za usluge u mrežama nove generacije.

U nastavku je objašnjen pojam konvergencije kao motivacijskog procesa za razvoj mreža sljedeće generacije, a potom je definirana i objašnjena slojevita arhitektura mreže sljedeće generacije sa stajališta standardizacijskih tijela ITU-T i ETSI. Nakon toga su navedena dva studijska slučaja mreže sljedeće generacije, *softswitching* i IP Multimedia Subsystem (IMS) te su analizirani migracijski scenariji iz postojećih u mreže sljedeće generacije. Poglavlje završava pregled otvorenih pitanja i izazova vezanih uz širenje NGN-a u svijetu i Europi.

1.1.1. Konvergencija u mrežama sljedeće generacije

Postoji više različitih pogleda na konvergenciju, a stoga i definicija konvergencije. Primjerice, s gledišta tehnologije, konvergencija se definira kao evolucijski proces koji objedinjuje i povezuje telekomunikacije, Internet, informacijsku tehnologiju i elektroničke medije, a s ciljem razvoja naprednih usluga koje koriste različite širokopojasne pristupne tehnologije [5]. S gledišta medija, konvergencija se definira kao tok sadržaja preko različitih medijskih platformi, suradnja među različitim medijskim industrijama i migracijsko ponašanje publike koja će „učiniti sve da pronađe željenu vrstu zabavnog medijskog doživljaja“ [6].

S gledišta tehnologije se konvergencija obično promatra kroz konvergenciju usluga, konvergenciju terminala, i konvergenciju mreže. Slika 1.1.1. slikovito prikazuje tri navedena pogleda na konvergenciju s primjerima. Konvergencija usluga se odnosi na dostupnost usluga s različitim terminala i u različitim mrežama, a da se pri tom koriste standardna ujednačena sučelja koja olakšavaju korištenje usluga. Primjerice, korisnik koristi uslugu trenutnog poručivanja na osobnom računaru ili pokretnom telefonu, a pri tom je očuvana lista njegovih kontakata neovisno o terminalu, dok su grafička sučelja aplikacije vizualno gotovo identična na različitim terminalima. Sljedeći je primjer objedinjavanje govorne, internetske i televizijske usluge preko raznih pristupnih mreža, uz vođenje računa o svojstvima korisnikovog uređaja i pristupne mreže. Konvergencija terminala se odnosi na integraciju različitih svojstava i sposobnosti u niz terminala, umjesto korištenja posebnih namjenskih uređaja. Primjerice, današnji su terminali obogaćeni podrškom za različite pristupne mreže te imaju integriranu kameru i MP3 *player*. Konvergencija terminala nadalje omogućuje jedinstvenu prijavu, identifikaciju i autentifikaciju korisnika, neovisno o uređaju. Kada se govori o konvergenciji mreža, podrazumijeva se objedinjena slojevita mrežna arhitektura za pružanje raznovrsnih usluga, npr. sustav IMS omogućuje pružanje višemedijskih usluga u fiksnoj i pokretnoj mreži.



Slika 1.1.1. Različite vrste konvergencije s primjerima

Važno je uočiti međuovisnost različitih vrsta konvergencije te je npr. za uslugu objedinjenog poručivanja koja obuhvaća različite oblike komunikacije među korisnicima (e-mail poruke, kratke tekstualne i govorne poruke) nužno osigurati konvergenciju usluga i mreža, dok je za neometano vertikalno prelaženje među različitim pristupnim mrežama tijekom sjednice nužna potpora na terminalu i u mreži.

Neki autori za primjer konvergencije navode i novu kulturu ponašanja korisnika, tzv. *convergence culture* [6]. Umjesto pukih konzumenata sadržaja, korisnici postaju značajni proizvođači sadržaja (blog: Technorati.com, video: YouTube, enciklopedija: Wikipedia, softver: Free Software Foundation) te značajno opada gledanost televizije (posebno među mlađom populacijom) uz porast korištenja Interneta.

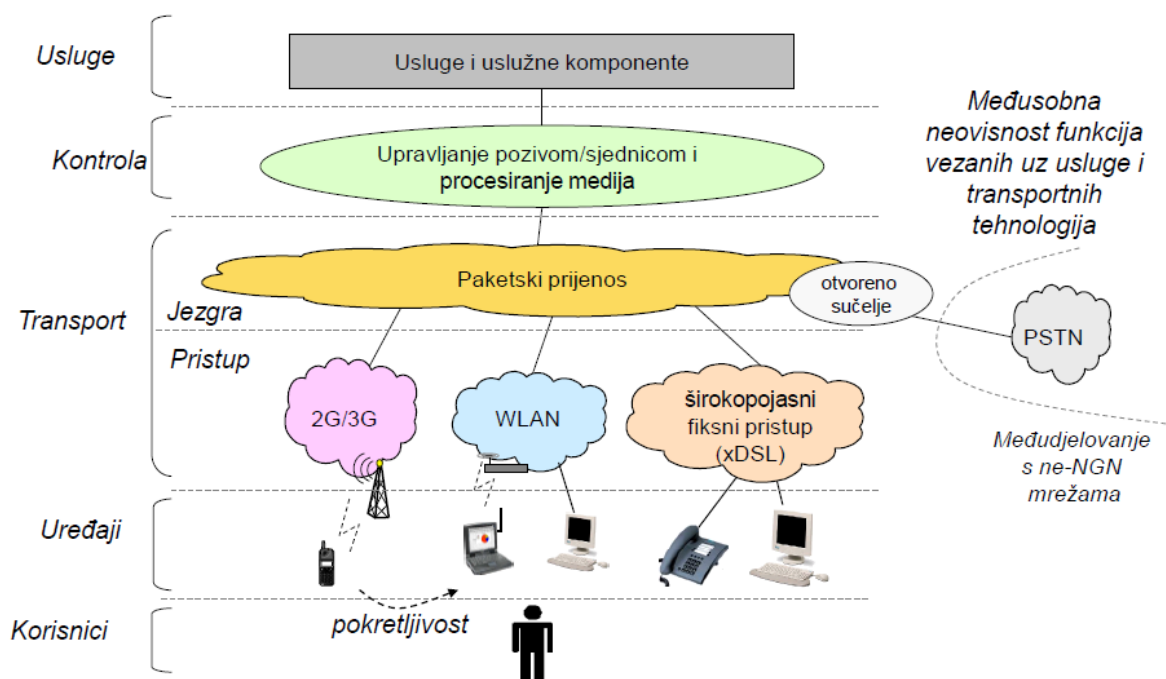
Važno je naglasiti i prednosti koje konvergencija donosi korisniku, a to su: 1) mogućnost uporabe istog uslužnog okruženja na različitim terminalima (osobna pokretljivost, ista usluga na različitim terminalima) ali i jednog sučelja prema svim uslugama (jedan terminal za pristup svim uslugama), 2) združivanje pretplate za usluge fiksne, pokretne i širokopojasne mreže uz objedinjavanje svih troškova na jednom računu uz jednostavniju kontrolu i potencijalno nižu cijenu, i 3) jedinstvena „prisutnost“ u objedinjenoj mrežnoj infrastrukturi (npr. jedinstveni broj, jedinstveni spremnik poruka, jedan adresar, kalendar, osobni digitalni sadržaj). Etablirani mrežni operator ponukan je na migraciju postojećih mreža prema mrežama nove generacije zbog zastarjele opreme bez mogućnosti kvalitetnog održavanja, ali i zbog pojave novih konkurentnih davatelja usluga i poslovnih modela. Potencijalne prednosti koje konvergencija donosi mrežnom operatoru su sljedeće: 1) pojednostavljena mrežna arhitektura, 2) pojednostavljeno upravljanje i održavanje mreže uz smanjenje troškova, 3) pojednostavljeno uvođenje novih usluga prilagođenih potrebama korisnika i 4) interakcija s vanjskim davateljima usluga bez gubitka kontrole nad vlastitom mrežom uz podršku novih poslovnih modela.

1.1.2. Arhitektura i tehnologija pristupne i jezgrene mreže

Ideja slojevite arhitekture konvergirane mreže sljedeće generacije ilustrirana je Slikom 1.1.2. Umjesto tradicionalnog modela s vertikalnom podjelom mreža na, primjerice, telefonsku, podatkovnu, televizijsku i kabelsku mrežu s uvišestručenim uslugama i funkcijama te odvojenim, namjenskim korisničkim terminalima, teži se modelu sa slojevitom podjelom na transportnu, kontrolnu i uslužnu funkcionalnost. Potrebno je uočiti četiri osnovna sloja ovog modela: 1) sloj pristupne mreže obuhvaća različite vrste pristupnih mreža (2G, 3G, Wi-Fi, xDSL, FTTx) koje moraju omogućiti pokretljivost korisnika uz primjenu različitih vrsta terminala, 2) jezgreni transportni sloj temeljen na protokolu IP za prijenos i komutaciju, 3) kontrolni sloj za upravljanje pozivom/sjednicom i obradu medija i 4) uslužni sloj. Važno je uočiti neovisnost upravljanja i prijenosa zbog odvajanja kontrolnih funkcija od samog prijenosa, te neovisnost usluga i prijenosa što je omogućeno pomoću dobro definiranih standardnih sučelja između upravljanja i usluga. Time su podržani novi poslovni modeli jer sloj usluga ne mora više nužno biti pod kontrolnom mrežnog operatora, već je otvoren za vanjske davatelje usluga.

U jezgrenoj mreži se koristi paketski prijenos temeljen na protokolu IP, dok širokopojasne pristupne mreže moraju podržati zahtijevanu kvalitetu usluge ovisno o vrsti same usluge. Ova mrežna arhitektura mora osigurati interoperabilnost s postojećim mrežama kroz otvorena sučelja te ponuditi jedinstvena obilježja iste usluge u različitim pristupnim mrežama i na različitim terminalima.

Tehnologija i arhitektura vezana uz jezgrenu mrežu sljedeće generacije se u literaturi naziva *Next Generation Core Network* (NGCN), a odnosi se na komutatore, pristupne poslužitelje i transmisijsku opremu u jezgrenoj mreži. Danas se u jezgrenoj mreži koristi IP/MPLS jer omogućuje kontrolu kvalitete prijenosa ovisno o vrsti prenesenih paketa.



Slika 1.1.2. Slojevita arhitektura mreže sljedeće generacije

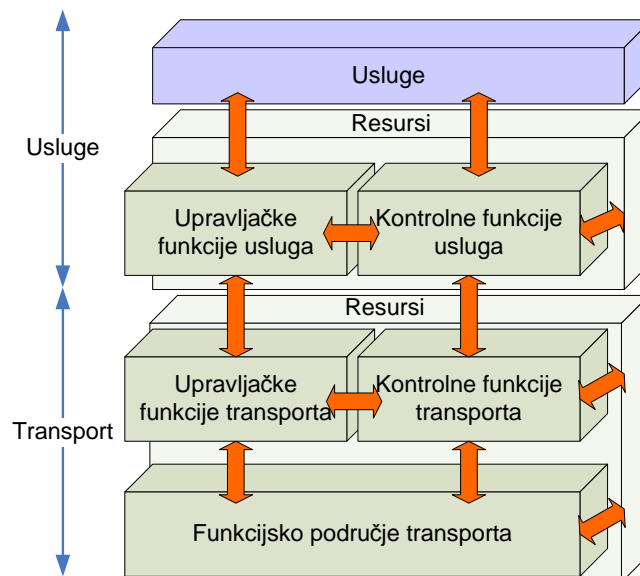
Tehnologija novih širokopojasnih pristupnih mreža se u literaturi naziva *Next Generation Access Networks* (NGAN) te obuhvaća fiksnu, bežičnu i pokretnu infrastrukturu koja omogućuje spajanje na jezgrenu IP mrežu. Danas su dominantne mreže zasnovane na tehnologiji xDSL zbog široke dostupnosti i niske cijene, dok FTTx, Wi-Fi i WiMAX pokazuju veliki potencijal.

Osnovni referentni model i opći funkcijski model. Razvoj ITU-T standarda koji stvaraju pretpostavke konvergirane mreže nove generacije započinje 2003. godine, osnivanjem radne skupine Joint Rapporteur Group on NGN (JRG-NGN), čijim radom nastaju dvije referentne ITU-T preporuke u tom području, Y.2001 [3] i Y-2011 [2]. Radi nastavka tada započetih aktivnosti, ITU-T 2004. godine osniva Focus Group on NGN (FGNGN), koja stvara prvo izdanje standarda za NGN, a nastavak preuzima ITU-T NGN-Global Standards Initiative (NGN-GSI). U prvom izdanju NGN-a prema ITU-T, glavni cilj je izvedba interaktivne višemedijske komunikacijske usluge kroz razmjenu govora i slika unutar sjednice. Osnovne usluge koje specifikacija obuhvaća podijeljene su na 1) PSTN/ISDN, u obliku emulacije, čiji je cilj glatki prijelaz na NGN za korisnike klasične telefonije, te 2) PSDN/ISDN u obliku

simulacije, koja naglašava proširenja za buduću fiksno-pokretnu konvergenciju i višemedijske usluge.

Preporuka ITU-T-a Y.2011 [2] definira osnovna načela i osnovni referentni model mreža sljedeće generacije koji odvajaju uslužne funkcije (npr. govorne, podatkovne, video usluge) u uslužni stratum i transportne funkcije u transportni stratum, čime je omogućen neovisni razvoj i evolucija svakog stratuma. *Uslužni stratum* omogućuje prijenos podataka vezanih uz same usluge i implementira funkcije za kontrolu i upravljanje uslužnih resursa. *Transportni stratum* omogućuje prijenos podataka među terminalima i ostalim mrežnim entitetima, gdje podaci mogu biti korisnički, kontrolni ili upravljački, te implementira funkcije za kontrolu i upravljanje transportnih resursa. Svaki stratum se konceptualno vertikalno dijeli na podatkovnu (ili korisničku), kontrolnu i upravljačku ravninu.

Slika 1.1.3. prikazuje opći funkcijski model mreže sljedeće generacije koji razrađuje funkcije referentnog modela i klasificira funkcije pojedinog stratuma, odnos između uslužnog i transportnog stratuma te njima pridijeljenih resursa. Resursi su fizički entiteti (npr. linkovi, aplikacijski poslužitelji), ali i funkcijski entiteti koji predstavljaju apstraktni opis ponuđene funkcionalnosti. Na slici se može uočiti i vertikalna podjela funkcija između kontrolne i upravljačke ravnine.

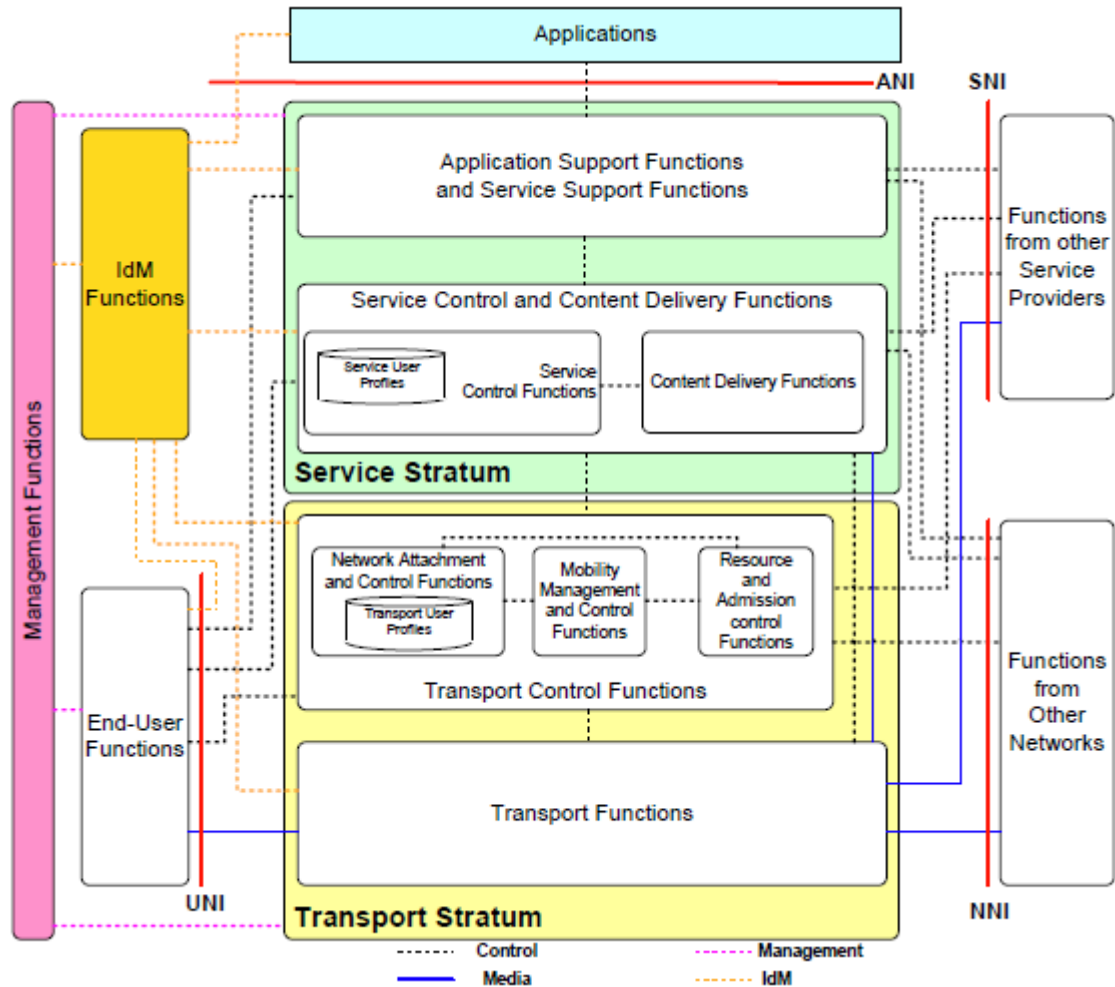


Slika 1.1.3. Opći funkcijski model mreže sljedeće generacije

S obzirom da napredne višemedijske i komunikacijske usluge s podrškom za neograničenu pokretljivost zahtijevaju pažljivo pridjeljivanje mrežnih resursa, mreže sljedeće generacije zahtijevaju posebne kontrolne funkcije koje je moguće podijeliti na:

- funkcije za kontrolu usluga (npr. autentifikacija i identifikacija korisnika, provjera pristupa usluzi) i
- funkcije za kontrolu prijenosa (npr. kontrola pristupa mrežnim resursima, dinamičko pridjeljivanje IP adresa).

Upravljačke funkcije se odnose na operacije koje se izvode prije ili nakon izvođenja same usluge, a primjeri su upravljanje ispadima, naplata, upravljanje performansama i sigurnost.



Slika 1.1.4. Pregled NGN arhitekture (izvor [4])

ITU-T preporuka Y.2012 [4] iz 2010. godine opisuje arhitekturu NGN-a, a prikazana je Slikom 1.1.4. Na transportnom stratumu odvajaju transportne i kontrolne funkcije. Transportne funkcije povezuje sve komponente i fizički odvojene funkcije u NGN-u te podržavaju prijenos medijskih, kontrolnih i upravljačkih podataka unicastom ili multicastom. Kontrolne funkcije transportnog stratumu dijele se na:

- *Resource and admission control functions* (RACF) ima ulogu posrednika između uslužnih kontrolnih funkcija i transportnih funkcija. RACF omogućuje kontrolu transportnih usluga na temelju pravila, a na zahtjev iz SCF-a koja uključuje primjerice rezervaciju resursa, kontrolu pristupa, filtriranje paketa, klasifikaciju prometa, itd.
- *Network attachment control functions* (NACF) omogućuju registraciju korisničkih funkcija za pristup transportnim funkcijama i to specifično identifikaciju i autentifikaciju na transportnom stratumu, upravljanjem adresnim prostorom i dinamičko dodjeljivanje IP adresa korisničkoj opremi, a u skladu s korisničkim profilom.

- *Mobility management and control functions* (MMCF) implementira funkcije za upravljanje pokretljivošću na temelju protokola IP u transportnom stratumu.

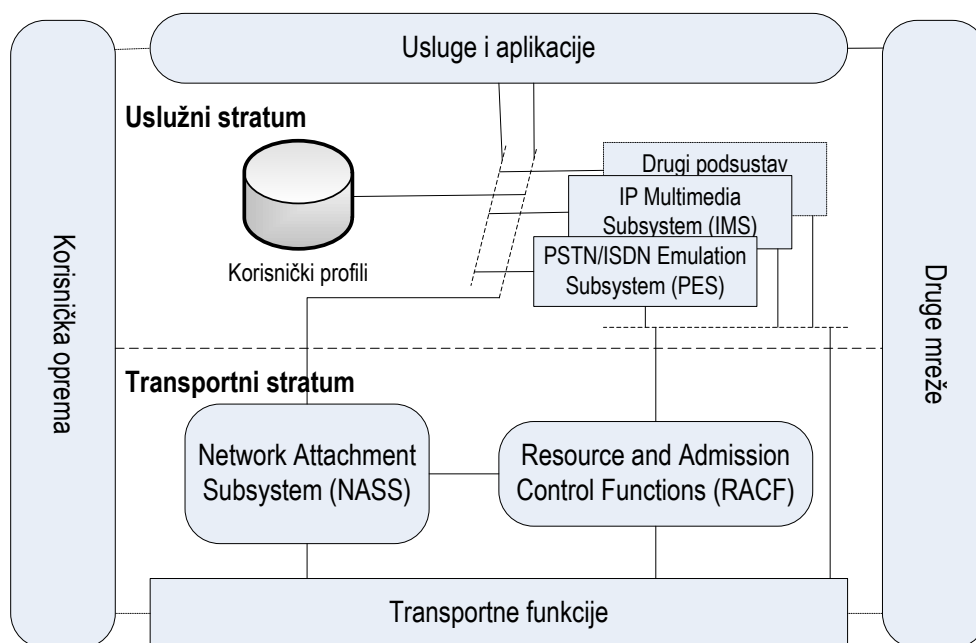
Funkcije servisnog sloja se dijele na *Service Control and Content Delivery Functions* (SC&CDF) i *Application Support Functions and Service Support Functions* (ASF&SSF). SC uključuje kontrolu resursa, registraciju, autentifikaciju i autorizaciju funkcija na uslužnom sloju, a u skladu s uslužnim korisničkim profilom. CDF prima, pohranjuje, obrađuje i isporučuje sadržaj pomoću transportnih funkcija, a pod kontrolom SC-a. ASF&SSF implementiraju prilazne funkcije na uslužnom stratumu i sučelje su prema uslugama/aplikacijama.

Upravljačke funkcije, primjerice upravljanje pogreškama, konfiguracijama, naplatom, performansama, su izdvojene iz dva stratuma, a ključne su za upravljanje NGN-om s ciljem pružanja usluga očekivane razine kvalitete, sigurnosti i pouzdanosti. Funkcije *Identity management* (IdM) su također izdvojene, a nude okvir za upravljanje identitetom.

Arhitektura prema ETSI/TISPAN. Tehnički odbor ETSI-a TISPAN (*Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking*) započeo je s radom na standardizaciji specifikacija NGN-a 2003. godine. Prvo izdanje specifikacija NGN-a (engl. *Release 1*) iz 2005. godine definira osnovnu arhitekturu i prihvaća 3GPP-ov IMS za aplikacije zasnovane na protokolu SIP, ali i dodaje funkcijske blokove i podsustave za ne-SIP-ovske aplikacije te se bavi usklađivanjem specifikacija IMS-a i za ožičene mreže. Usluge obuhvaćene tim izdanjem su konverzijske usluge, poručivanje i prisutnost, simulacija i emulacija PSTN-a, odnosno ISDN-a. U drugom izdanju (engl. *Release 2*), završenom 2008. godine, TISPAN u potpunosti usvaja 3GPP-ov IMS, prepuštajući daljnji razvoj temeljnih specifikacija IMS-a za razne pristupne mreže 3GPP-u. Uz poboljšanja osnovne arhitekture, u drugom izdanju NGN-a TISPAN dodaje specifikaciju usluge IPTV u NGN-u, i to u dvije inačice, jednu zasnovanu na IMS-u i drugu bez njega, kućne mreže i uređaje, te međusobno povezivanje NGN-a s poslovnim mrežama. U trećem izdanju, čija izrada je započela 2009. godine, uz poboljšanja osnovne arhitekture i usluga iz drugog izdanja uvodi se usluga isporuke sadržaja (engl. *Content Distribution*).

TISPAN definira arhitekturu mreže sljedeće generacije u preporuci ETSI ES 282 001 [10], a temelji ga na sustavu IP Multimedia Subsystem (IMS). IMS je definiran od strane standardizacijskog tijela 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). Slika 1.1.5. prikazuje arhitekturu mreže sljedeće generacije prema drugom izdanju TISPAN-u koja je u skladu s osnovnim referentnim modelom ITU-T-a te definira funkcijske entitete u dva sloja, transportnom i uslužnom. U terminologiji ITU-T-a, slojevi se nazivaju stratumima.

U transportnom sloju se definiraju dva kontrolna entiteta: *Network Attachment Subsystem* (NASS) i *Resource and Admission Control Functions* (RACF). NASS je zadužen za sljedeće funkcije: dinamičko pridjeljivanje IP adresa (npr. DHCP), autentifikaciju i autorizaciju korisnika, upravljanje pokretljivošću, konfiguracija pristupne mreže na temelju korisničkih profila. RACF je odgovoran za upravljanje pravilima i kontrolu pristupa mrežnim resursima te obavlja sljedeće funkcije: autorizacija QoS zahtjeva i definiranje zahtjeva koje mrežni elementi moraju zadovoljiti, upravljanje sjednicom.



Slika 1.1.5. Arhitektura mreže sljedeće generacije prema TISPAN-u

Preporuka ETSI ES 282 001 [10] detaljnije izdvaja transportne entitete koji su u interakciji s NASS i RACF, a to su *Media Gateway Function (MGF)*, *Border Gateway Function (BGF)*, *Resource Control Enforcement Function (RCEF)*, *Access Relay Function (ARF)*, *Signalling Gateway Function (SGF)*, *Media Resource Function Processor (MRFP)*, *Access Management Function (AMF)* i *Basic Transport Function (BTF)*.

Na uslužnom sloju se nalaze različiti podsustavi među kojima su najznačajniji *IP Multimedia Subsystem (IMS)* i *PSTN/ISDN Emulation Subsystem (PES)* koji su preko standardnih sučelja u interakciji s ostalim funkcijskim entitetima. Ovaj stratum uključuje bazu podataka s korisničkim profilima.

Podsustav IMS je namijenjen potpori različitih višemedijskih usluga te pruža kontrolne funkcije temeljem protokola SIP (*Session Initiation Protocol*). Također je zadužen za *simulaciju mreže PSTN/ISDN* jer omogućuje tradicionalne PSTN/ISDN usluge u mreži NGN na naprednim terminalima (ovo je zapravo usluga VoIP). Podsustav PES omogućuje *emulaciju mreže PSTN/ISDN*, tj. interakciju postojećih mreža PSTN/ISDN i mreže NGN tako da podržava postojeće terminale i omogućuje tradicionalne usluge iz PSTN/ISDN mreže i s postojećih uređaja preko NGN infrastrukture koristeći sučelja prema IP infrastrukturi.

Preporuka ETSI ES 282 001 [10] identificira i niz zajedničkih funkcijskih entiteta na uslužnom stratumu:

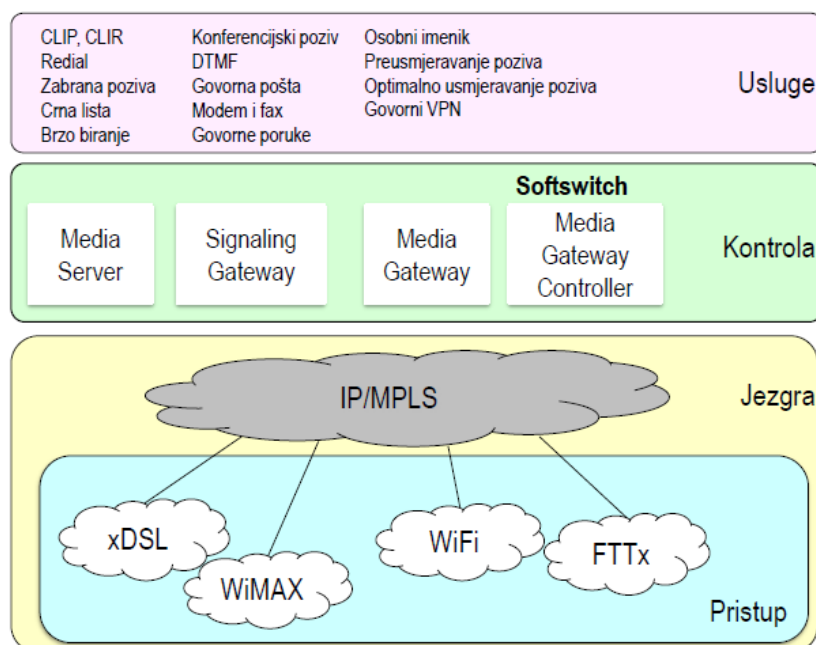
- *User Profile Server Function (UPSF)* je zadužen za pohranjivanje korisničkih podataka vezanih uz uslužni stratum (npr. identifikacija, lokacija, korisnički profil),
- *Subscription Locator Function (SLF)* omogućuje pristup identitetu i profilu korisnika iz UPSF-a,

- *Application Server Function* (ASF) implementira usluge s dodatnom vrijednošću i nalazi se na najvišem sloju usluga i aplikacija i
- *Interworking Function* (IWF) omogućuje interakciju između uslužnog kontrolnog sloja i protokola specifičnih za IP-domenu.

Za međupovezivanje mreže NGN i mreže PSTN/ISDN na transportnom sloju koriste se entiteti MGF i SGF, a za međupovezivanje dvije mreže NGN nužan je entitet BGF. Međupovezivanje na uslužnom stratumu može se realizirati između mreža koje se temelje na protokolu IP i SS7 te ovisi o vrsti podsustava koji se međusobno povezuju.

1.1.3. Studijski slučajevi: *softswitching* i IMS

Softswitching je generički naziv za komutaciju realiziranu pomoću programske podrške koji odvajaju funkciju kontrole poziva, tj. signalizaciju od same komutacije. Slika 1.1.6. prikazuje primjer arhitekture mreže koja koristi tehnologiju *softswitching* iz koje je vidljivo da je riječ o slojevitoj arhitekturi koja prati načela mreže sljedeće generacije.



Slika 1.1.6. Primjer arhitekture mreže koja koristi tehnologiju *softswitching*

Na kontrolnom sloju se nalaze sljedeće komponente:

Media Gateway (MG) predstavlja sučelje između mreže PSTN/ISDN i IP-bazirane mreže te mu je primarna funkcija translacija podataka između različitih mreža. Glavna funkcija MG-a je pretvoriti UDP pakete koji prenose stvarnovremenske podatke, npr. govor, u konstantan tok podataka pogodan za prijenos u mreži PSTN/ISDN i obrnuto.

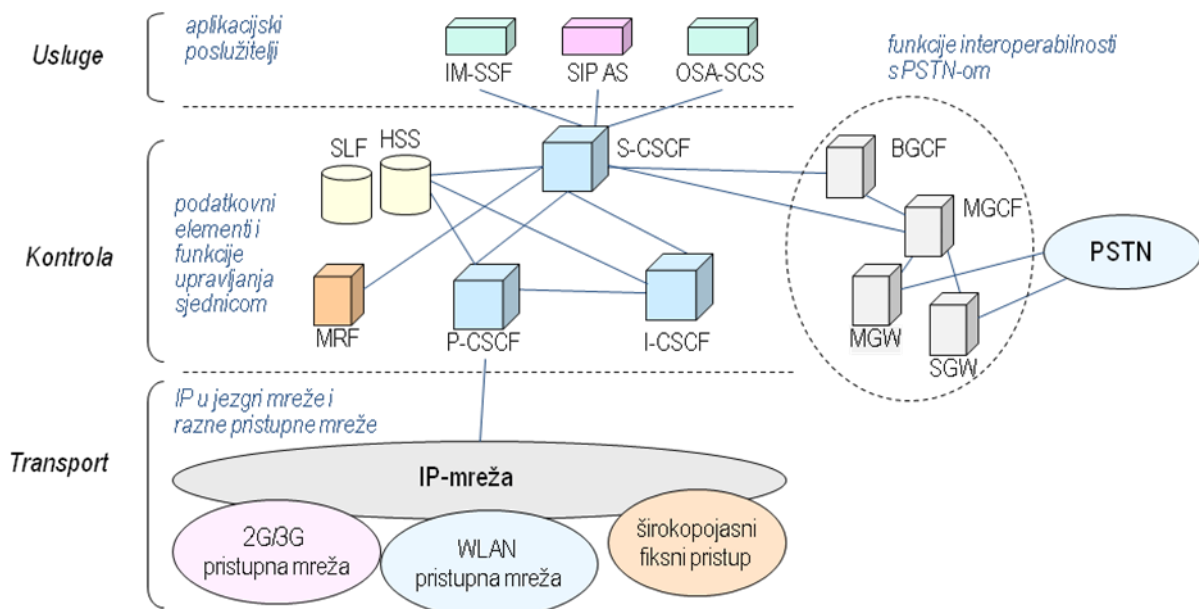
Media Gateway Controller (MGC) predstavlja najvažniju komponentu sustava te je zadužen za uspostavu i raskid poziva, naplatu i upravljanje MG-om.

Signaling Gateway (SG) je signalizacijski prilagodni poslužitelj koji omogućuje pretvorbu signalizacijskih podataka između različitih mreža. Najčešće se radi o pretvorbi iz H.323/SIP protokola u SS7.

Media Server (MS) u mrežama nove generacije omogućuje pružanje video i govornih usluga, konferencijske veze, spremanje poruka (govornih ili video).

IP Multimedia Subsystem. IMS je arhitektura mreže sljedeće generacije usmjerena ka višemedijskim uslugama zasnovanih na internetskim aplikacijama, uslugama i protokolima. Specifikacija 3GPP TS 23.228 [12] definira IMS na sljedeći način: „IP Multimedia Subsystem (IMS) obuhvaća sve elemente jezgrene mreže za pružanje višemedijskih usluga.“ Višemedijske usluge u IMS-u primjenjuju mogućnosti upravljanja sjednicom zasnovane na protokolu SIP, koji definira IETF, i transport medija u paketskoj domeni. Standardizaciju IMS-a započeo je 3GPP u okviru evolucije pokretne mreže druge generacije, GSM, prema trećoj generaciji mreže, pod nazivom UMTS. Peto izdanje (engl. *Release 5*) specifikacija vezanih uz UMTS iz 2003. godine prvo je koje uvodi pojam i arhitekturu IMS-a, te pristupnu mrežu UTRAN zasnovanu na protokolu IP. U kasnijim izdanjima se, uz poboljšanja osnovne arhitekture, dodaje se interakcija s WLAN-ovima i širokopojasni fiksni pristup, pri čemu je važno spomenuti suradnju s ETSI/TISPAN-om i CableLab-om, te konačno „sve-IP pristupa“, koji uključuje pristup IMS-u putem protokola IP preko WLAN-a, WiMAX-a i LTE-a. U razvoju IMS-a 3GPP preuzima specifikacije internetskih protokola od IETF-a (*Internet Engineering Task Force*), kojim usko surađuje u aspektima primjene protokola IP i drugih internetskih protokola (naročito sučelja koja koriste SIP i DIAMETER) unutar IMS-a.

Slika 1.1.7. ilustrira horizontalnu podjelu funkcija u IMS-u.



Slika 1.1.7. Arhitektura i osnovne funkcije IMS-a

U transportnom sloju vidljiva je podjela na zajedničku jezgrenu IP mrežu i razne pristupne mreže. U uslužnom sloju smješteni su aplikacijski poslužitelji. IMS razlikuje tri vrste

aplikacijskih poslužitelja: 1) SIP AS, za usluge razvijene za IMS, utemeljene na protokolu SIP, 2) OSA - SCS (*Open Service Access - Service Capability Server*), koji pruža pristup mrežnoj funkcionalnosti putem standardnog OSA sučelja, 3) IM-SSF (*IP Multimedia Service Switching Function*), poslužitelj za povezivanje IMS-a s uslugama koje su bile originalni razvijene za GSM mrežu i koriste CAMEL sučelje. U kontrolnom sloju nalaze se funkcije upravljanja pozivom, odnosno sjednicom (engl. *Call Session Control Function*, CSCF), koje se prema funkciji mogu razdvojiti na posrednički CSCF (engl. *Proxy-CSCF*, P-CSCF), upitni CSCF (engl. *Interrogating-CSCF*, I-CSCF) i poslužujući CSCF (engl. *Serving-CSCF*, S-CSCF), te baza podataka o korisnicima (engl. *Home Subscriber Server*, HSS). Funkcija medijskih resursa (engl. *Media Resource Function*, MRF) sadrži napredne funkcije upravljanja medijem. Funkcije povezivanja prema PSTN-u uključuju upravljanje medijskim prilazom (engl. *Media Gateway Control Function*, MGCF), upravljanje prilazom za prebacivanje (engl. *Breakout Gateway Control Function*, BGCF) poziva između IMS i PSTN domena, signalizacijski prilaz (engl. *Signaling Gateway*, SGW) i medijski prilaz (engl. *Media Gateway*, MGW).

Za razliku od *softswitchinga*, IMS se smatra rješenjem koje odgovara tradicionalnim telekomunikacijskim operatorima, omogućavajući im zadržavanje kontrole nad isporukom usluga od raznih davatelja usluga kroz razne pristupne mreže.

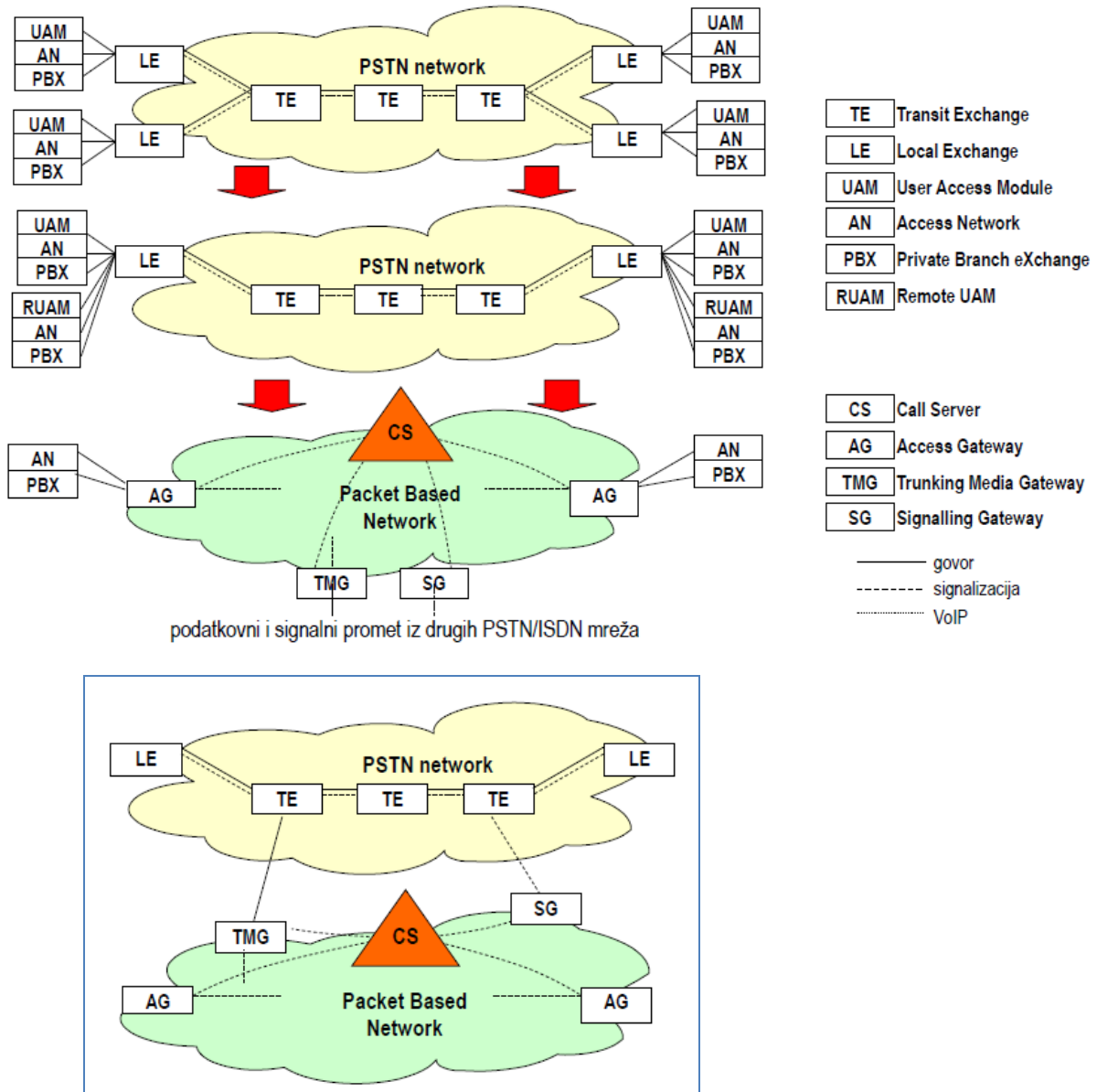
1.1.4. Migracijski scenariji prema mrežama temeljnim na protokolu IP

Migracijski scenariji iz postojećih mreža u mreže nove generacije su identificirani i opisani u preporuci ITU-T-a Y.2261 [11], koja navodi razne aspekte koje je potrebno analizirati pri odabiru migracijske strategije. Posebno je izazovna migracija u slojevima transporta i kontrole te realizaciji funkcija obračuna i naplate. Scenariji migracije mogu biti zasnovani na konceptu emulacije ili simulacije gdje kod koncepta emulacije imamo suživot mreže NGN i mreže PSTN/ISDN, dok kod koncepta simulacije mreža NGN potpuno zamjenjuje postojeću mrežu. Valja naglasiti da donošenje poslovne odluke ne ovisi samo o tehnološkim aspektima već se moraju sagledati i ekonomski aspekti tranzicije. Scenarij emulacije nosi karakteristiku postupne migracije s djelomičnim gašenjem PSTN mreže (uskopojasnih pretplatničkih stupnjeva) te je financijski manje zahtjevno. Scenarij simulacije podrazumijeva potpunu migraciju krajnjih korisnika na mrežu NGN uz prilagodbu i premještanje inteligencije na korisničke terminale. Ovaj scenarij nosi niz promjena od kojih svakako treba razmotriti problem korištenja zahtjevnije korisničke opreme i problem kontinuiranog napajanja korisničke opreme, posebice zbog omogućavanja hitnih poziva.

Preporuka ITU-T-a Y.2261 predviđa više mogućih migracijskih scenarija, a u nastavku je dan primjer scenarija emulacije koji se temelji na primjeni tehnologije *softswitching* i uvođenju posebnog poslužitelja pod nazivom *Call Server* (CS). CS u ovom primjeru preuzima funkcionalnost komponenti navedenih u prethodnom poglavlju (MG, MGC i MS).

U periodu migracije se podrazumijeva paralelna izgradnja mreže NGN uz održavanje postojeće mreže PSTN/ISDN. Pri tom na kraju procesa u paraleli funkcioniraju obje mreže te treba voditi računa o njihovom međupovezivanju pristupnim poslužiteljima i to posebno za signalizaciju (engl. *Signalling Gateway*, SG) i govor (engl. *Trunking Media Gateway*, TMG).

Ovaj proces je prikazan Slikom 1.1.8. na kojoj se u inicijalnoj fazi vidi smanjenje broja lokalnih centrala u mreži PSTN/ISDN, dok se u paraleli izgrađuje mreža NGN. Ulogu lokalnih centrala preuzimaju nove komponente *Access Gateway* (AG) u suradnji s CS. U završnoj fazi vidljivo je paralelno postojanje i međupovezivanje objiju mreža.



Slika 1.1.8. Primjer migracijskog scenarija temeljenog na emulaciji

Literatura

[1] Christian Saxtoft. 2008. *Convergence: User Expectations, Communications Enablers and Business Opportunities (Telecoms Explained)*. Wiley Publishing.

[2] ITU-T Recommendation Y.2111 (10/2004), General principles and general reference model for next generation networks.

[3] ITU-T Recommendation Y.2001 (12/2004), General overview of NGN.

- [4] ITU-T Recommendation Y.2012 (04/2010), Functional requirements and architecture of next generation networks.
- [5] Hu Hanrahan. 2007. *Network Convergence: Services, Applications, Transport, and Operations Support*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA.
- [6] Jenkins, H. 2006, *Convergence Culture – Where Old and New Media Collide*, New York University Press.
- [7] Hyeong Ho Lee. 2009. Signaling architecture and protocols for the next generation network. In *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Communication Technology - Volume 3 (ICACT'09)*, Vol. 3. IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 1691-1696.
- [8] ICT regulation toolkit. Module 7. New Technologies and Impacts on Regulation, October, 2010.
- [9] Carugi, M.; Hirschman, B.; Narita, A., „Introduction to the ITU-T NGN focus group release 1: target environment, services, and capabilities,“ *Communications Magazine, IEEE* , vol.43, no.10, pp. 42- 48, Oct. 2005.
- [10] ETSI ES 282 001 V2.0.0 (2008-03) Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); NGN Functional Architecture.
- [11] ITU-T Recommendation Y.2261 (09/2006), PSTN/ISDN evolution to NGN.
- [12] 3GPP TS 23.228, „IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2“, Release 5, 2006-06.
- [13] G. Camarillo and M. A. Garcia-Martin, „The 3G IP Multimedia Subsystem, Merging the Internet and Cellular Worlds,“, John Wiley and Sons, Ltd., England, 2004.

1.2. Tehnologije pokretne mreže

1.2.1. Opći pokretni telekomunikacijski sustav

Opći pokretni telekomunikacijski sustav (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*, UMTS) razvijao se kao logičan nastavak evolucije pokretnih sustava. Prve dvije generacije riješile su govornu komunikaciju u pokretu, ali nedostajala im je mogućnost kvalitetnijeg prijenosa podataka. Rješenje je bila prilagodba postojećih GSM sustava prijenosa podataka uz preuzimanje ideja iz ostalih podatkovnih mreža, prvenstveno Interneta kojima je zajednička komutacija paketa prikladna za prijenos podataka. Uveden je GPRS sustav kao predstavnik 2.5 generacije (2.5G) tj. kao međukorak prema trećoj generaciji koja je poboljšala prijenos podataka. Postavljeni kriteriji za novu generaciju mreža tada su bili vrlo visoki, pa se uvođenjem 3G uz pokretljivost terminala nastojala riješiti osobna pokretljivost te pokretljivost, prenosivost i transparentnost usluga. Uz to su ujedinjena rješenja preuzeta iz GSM-a vezana uz komutaciju kanala, odnosno GPRS-a za komutaciju paketa. I u samom imenu mreže UMTS prisutan je atribut opći, dodatno naglašavajući ideju povezivanja niza postojećih standarda i njihove nadogradnje zbog rješavanja niza zahtjeva, poput ostvarivanja

prijenosnih brzina od 144 kbit/s u svim uvjetima, do 384 kbit/s na otvorenom prostoru i do 2 Mbit/s u zatvorenom prostoru; mogućnosti simetričnog i nesimetričnog prijenosa podataka; kvalitete govora usporedive s onom u fiksnoj mreži; pružanja podrške uskopojasnim i širokopojasnim uslugama, uz mogućnost podrške više usluga istodobno; integracije s fiksnom mrežom i koegzistencije s postojećim mrežama druge generacije te ostvarivanja brzog pristupa Internetu u pokretu.

Ćelijska struktura UMTS-a hijerarhijski je organizirana s obzirom na sljedeće parametre: brzinu prijenosa, zone pokrivanja, gustoću korisnika i brzinu kretanja. Definirane su ukupno četiri ćelijske hijerarhijske razine koje su prikazane u Tablici 1.2.1.

Tablica 1.2.1. Hijerarhijska ćelijska struktura

Ćelija	Zona pokrivanja	Gustoća korisnika	Brzina kretanja	Brzina prijenosa podataka
Svjetska ćelija	udaljeni krajevi	slaba naseljenost	do 1000 km/h	do 144 kbit/s
Makro ćelija	prigradska područja	srednja naseljenost	120-500 km/h	144-384 kbit/s
Mikro ćelija	gradsko područje	velika naseljenost	do 120 km/h	384-2048 kbit/s
Piko ćelija	zatvoreni prostor	vrlo velika gustoća korisnika	mirovanje ili hodanje	2048 kbit/s

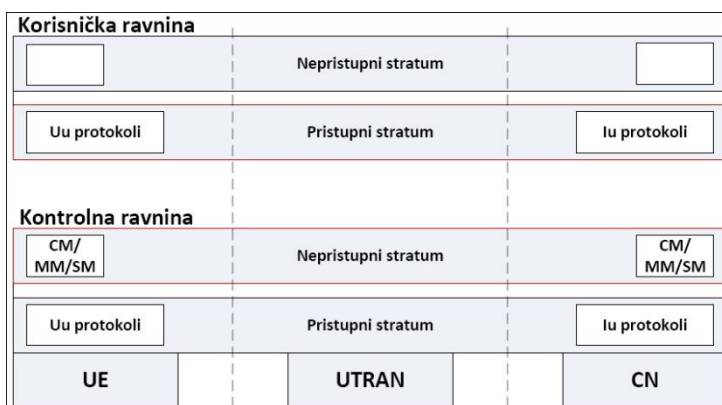
Dodatno, UMTS specificira i četiri klase kvalitete usluge ovisno o osjetljivosti na kašnjenje:

- 1.) Konverzacijska (engl. *conversational*) klasa: Predstavlja konverzacijske aplikacije sa strujanjem podataka koje su iznimno osjetljive na kašnjenje. U tu skupinu spadaju telefonski razgovor, prijenos govora preko IP-a (engl. *Voice-over-IP*, VoIP) i video-konferencija.
- 2.) Strujeća (engl. *streaming*) klasa: Odnosi se na stvarno-vremenske aplikacije koje sadrže prvenstveno jednosmjerno strujanje podataka. Ovakva shema se primjenjuje kada korisnici gledaju (slušaju) stvarno-vremenski video (audio) zapis.
- 3.) Interaktivna (engl. *interactive*) klasa: Klasične podatkovne komunikacijske sheme ponašanja krajnjeg korisnika karakterizirane uzorkom upit-odgovor. Primjer ovakvih aplikacija su pregledavanje weba i upiti prema bazama podataka.
- 4.) Pozadinska (engl. *background*) klasa: Osnovna značajka je da određite ne očekuje podatke u nekom određenom vremenu. Podaci se mogu slati i primiti u pozadini, s niskom učestalošću pogrešaka i bez posebnih zahtjeva vezanih uz kašnjenje.

Pristupna mreža

GPRS se može promatrati kao nadogradnja sustava GSM: sadrži nekoliko novih čvorova koji se brinu za učinkovitiji prijenos podataka. Budući da je ideja UMTS-a postići širokopojasni pristup Internetu i podatkovnim mrežama u svim uvjetima, UMTS zemaljski radijski pristup

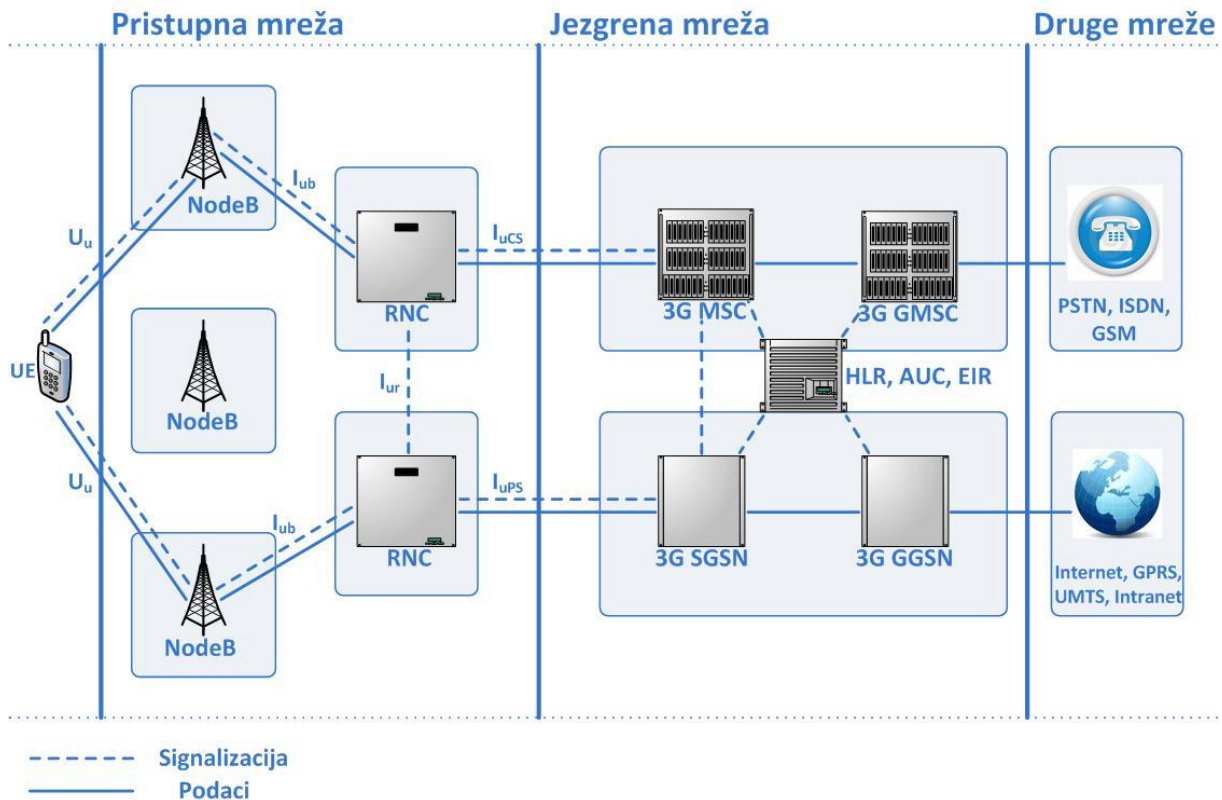
(engl. *UMTS Terrestrial Radio Access*, UTRA) temelji se na širokopojasnom višestrukome pristupu u kodnoj podjeli (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*, WCDMA). Glavna karakteristika tog pristupa je u činjenici da svi korisnici dijele isti frekvencijski prostor i razlikuju se jedino prema dodijeljenim im kodovima. Postupak je namijenjen za otvoreni prostor, pruža veći kapacitet i bolju pokrivenost od višestrukog pristupa u vremenskoj podjeli (engl. *Time Division Multiple Access*, TDMA) rješenja, podržava kanalski i paketski prijenos te omogućuje višestruke istodobne usluge, upravo ono što se zahtijeva od UMTS-a. Odvajanje uzlazne od silazne veze postignuto je frekvencijskim dupleksiranjem (engl. *Frequency Division Duplexing*, FDD), tako da je frekvencijsko područje od 1920-1980 MHz namijenjeno za uzlazni (engl. *uplink*) prijenos podataka, dok je pojas između 2110 i 2170 MHz dodijeljen za silaznu (engl. *downlink*) vezu. Uz sve navedene prednosti, WCDMA nudi i mogućnost varijabilnih visokih brzina prijenosa podataka te pruža podršku hijerarhijskoj organizaciji ćelija. Iako su kvalitete WCDMA pristupa očite, za zatvoreni prostor i uže područje pokrivanja prikladniji je višestruki pristup sa vremenskom i kodnom podjelom (engl. *Time Division Code Division Multiple Access*, TD-CDMA), koji frekvencijska područja 1900-1920 MHz i 2010-2025 MHz rabi na načelu vremenskog odvajanja smjerova (engl. *Time Division Duplexing*, TDD). Ako se povuče paralela s domenskom organizacijom UMTS mreže, zemaljska radijska pristupna mreža (engl. *UMTS Terrestrial Radio Access Network*, UTRAN) odgovara domeni pristupne mreže (AN), sa referentnim točkama U_u prema korisničkoj opremi te I_u u smjeru domene jezgre mreže. Protokoli na spomenutim sučeljima (Slika 1.2.1.) dijele se kao i kod GPRS-a na protokole korisničke ravnine (engl. *User plane*), koji izvode prijenos korisničkih podataka radijskim pristupom kroz pristupni stratum, te protokole kontrolne ili signalizacijske ravnine (engl. *Control/Signalling plane*), koji nadziru radijski pristup i vezu korisničke opreme s mrežom.



Slika 1.2.1. Korisnička i kontrolna UMTS ravnina

Sva tri aspekta pristupne mreže: upravljanje vezom (engl. *Connection Management*, CM), sjednicom (engl. *Session Management*, SM) i pokretljivošću (engl. *Mobility Management*, MM) podržana su izvan pristupnog stratuma, što je na Slici 1.2.1. dodatno istaknuto. UTRAN ukupno gledajući vrši kontrolu pristupa, uporabe radijskih resursa i prijenosa korisničkih podataka između korisničke opreme i mreže te jamči sigurnost i privatnost korisniku. Arhitektura cjelokupne UMTS pristupne mreže temeljene na 3GPP razvojnom scenariju R99 prikazana je na Slici 1.2.2.

Radijski mrežni podsustav (engl. *Radio Network Subsystem, RNS*) osnovni je element pristupne mreže. Sadrži upravljač radijske mreže (engl. *Radio Network Controller, RNC*) te jedan ili više čvorova B s radijskim primopredajnim dijelom, koji podržavaju FDD/TDD način rada. Prijelaz iz jedne u drugu ćeliju može se obaviti bez kašnjenja, tj. postupkom mekog prekapčanja (engl. *soft handover*), budući da je preko čvorova B moguće pomoću više istodobnih radijskih veza osigurati kontinuitet poziva. U GSM-u je višestrukim pristupom u vremenskoj podjeli prebacivanje s jednog fizikalnog kanala na drugi moguće tek uz konačno kašnjenje (što je posljedica mjerenja kvalitete veze, slanja izmjerenih podataka BSC-u i tek onda provedbe prebacivanja na novi BTS). Kontrolni dio RNS-a odnosno RNC odgovara BSC-u, a čvor B BTS-u, pri čemu jedan čvor B tipično sadrži nekoliko radijskih primopredajnih postaja kako bi omogućio upravo opisano meko prekapčanje. Svaki RNS posluhuje svoj skup ćelija, a dva se mogu povezati preko sučelja I_{ur} uspostavljenog između njihovih RNC-ova. Između RNC i čvor-B elemenata koristi se sučelje I_{ub} . U jezgrenoju mreži UMTS sustava razlikuju se dva dijela: dio s komutacijom kanala (engl. *Circuit Switched, CS*) i dio s komutacijom paketa (engl. *Packet Switched, PS*), što je sasvim logično zbog činjenice da UMTS teži kvalitetnim rješenjima i u kanalskoj i u paketskoj domeni, a u većini slučajeva je nastao nadogradnjom postojećih GSM/GPRS mreža. Stoga se između pristupne i jezgrene mreže, koje su međusobno povezane preko I_u sučelja, vidljivog na Slici 1.2.2., razlikuju dvije varijante istog: I_{uCS} i I_{uPS} . U kanalskom dijelu jezgrene mreže, koji se temelji na rješenjima preuzetima iz GSM-a, elementi su nadograđeni kako bi mogli raditi u 3G okruženju. Taj dio omogućuje vezu na govorne mreže (PSTN, ISDN, GSM itd.) dok paketski, izveden iz GPRS-a, ostvaruje vezu prema Internetu, GPRS-u i drugim podatkovnim mrežama. Na različite strategije uvođenja UMTS-a uvelike utječu postojeći uvjeti u mreži: je li riječ o potpuno novoj izgrađenoj mreži ili mreži uz postojeće GSM/GPRS mrežne elemente. Isto tako, razlikuju se i ciljevi koji se na kraju žele postići, pa se može definirati čitav niz različitih implementacija ciljnih rješenja (npr. IP/ATM, IP/SDH, IP/FR, IP/WDM itd.).



Slika 1.2.2. Arhitektura mreže UMTS

Korisnička oprema (engl. *User Equipment*, UE) odnosi se na pokretne uređaje odnosno terminale putem kojih korisnici ostvaruju usluge pokretnih mreža. Istodobno podržava i do nekoliko različitih radijskih standarda te sadrži USIM. Kao i čvor B, UE je zadužen za obradu radijskog signala što podrazumijeva ispravljanje pogrešaka koje se pojavljuju u prijenosu, raspoređivanje i modulaciju signala kao i radijsku obradu prije pojačala. S obzirom da RAN brine i o potrošnji energije, UE ovisno o njegovim naredbama mora prilagođavati snagu vlastitog odašiljača. Govoreći o suradnji s RNC-om, UE sudjeluje u izmjeni signalizacije tijekom uspostave odnosno prekidanja poziva, kao i izvedbi prekapčanja. Za ovu namjenu mjeri snagu polja susjednih ćelija te dobivene vrijednosti šalje na RNC. Također, provodi šifriranje odnosno dešifriranje podataka koje šalje odnosno prima od RNC-a. UE informaciju o trenutnoj korisničkoj lokaciji dostavlja jezgrenoj mreži (engl. *Core Network*, CN) te time sudjeluje u upravljanju pokretljivošću. Na istoj relaciji, između UE-a i CN-a vrši se i pregovaranje o kvaliteti usluge te provodi uzajamna autentifikacija.

Funkcionalnosti čvora B ugrubo se mogu usporediti s GSM-ovom baznom stanicom, BTS-om, dakle djeluje na rubu radijskog sučelja putem kojeg prima ulazne podatke. Istovremeno upravlja s nekoliko ćelija, a u drugom smjeru preko sučelja I_{ub} komunicira s odgovarajućim radijskim kontrolerom RNC. Zbog činjenice da razmjenjuje podatke putem zračnoga sučelja raspolaže vlastitim antenskim podsustavom te sadrži CDMA prijammik kojim primljene signale pretvara u podatkovni tok. Primljeni se podaci dalje usmjeravaju prema RNC-u i jezgrenoj mreži.

S obzirom na dva različita načela radijskog pristupa (TDD i FDD) razlikuju se tri tipa čvora B: UTRA-FDD čvor B, UTRA-TDD čvor B i *Dual-mode* čvor B koji istovremeno podržava oba načina rada. Budući da RNC mora raspolagati što je moguće točnijim znanjem o situaciji u ćeliji kako bi mogao donijeti razborite odluke o prekapčanju, štednji potrošnje energije ili upravljanju dolaznim pozivima, UE i čvorovi B provode periodična mjerenja kvalitete veze i razina smetnji te o tome obavještavaju RNC. Tijekom provedbe posebnih mekih prekapčanja, dijeljenje i kombiniranje podatkovnih tokova iz različitih sektora također se ubraja u dužnosti čvora B.

Upravljač radijske mreže (RNC) središnji je čvor UMTS-ove pristupne mreže, a uloga odgovara BSC-u iz GSM-a. Preuzima kontrolu nad upravljanjem resursima pridruženih mu ćelija (dodjela kanala, prekapčanje, kontrola potrošnje energije itd.) te implementira veliki broj protokola na relaciji između pokretnog terminala i pristupne mreže UTRAN. Putem sučelja I_{ur} istovremeno vrši komunikaciju s maksimalno jednim čvorom MSC odnosno SGSN u bilo kojem trenutku. Dodatno, postoji mogućnost komunikacije putem sučelja I_{ur} sa susjednim čvorovima RNC.

RNC autonomno provodi zadatke vezane uz transmisiju podataka preko radijskog sučelja, što se ubraja u poslove upravljanja radijskim resursima (engl. *Radio Resource Management*, RRM). Pod tim se podrazumijeva sljedeće:

- *upravljanje dolaznim pozivima*: Za razliku od situacije u GSM-u, CDMA tehnologija pruža veliki broj potencijalnih kanala na radijskom sučelju, iako ne mogu svi biti korišteni istodobno. Jedan od glavnih razloga pojava je smetnji koje se pojačavaju povećanjem broja korištenih kanala. RNC zbog toga mora proračunati trenutno prometno opterećenje u svakoj pojedinoj ćeliji te se na temelju te informacije donosi odluka hoće li se dolazni poziv prihvatiti ili ne.
- *upravljanje radijskim resursima*: RNC upravlja radijskim resursima u svim ćelijama za koje je nadležan. To uz planiranje korištenja kanala podrazumijeva proračunavanje razine smetnji i mjerenje iskorištenosti kanala.
- *uspostava i otpuštanje radijskih prijenosnika*: U UMTS-u se korisnički podatkovni kanal iznad podsloja RLC (*Radio Link Control*) u okviru pristupnog dijela mreže naziva radijski prijenosnik. RNC je zadužen za pokretanje, održavanje i konačno otpuštanje radijskih prijenosnika. Postavljanje radijskog prijenosnika usporedivo je uspostavi logičke podatkovne veze te ne sugerira prenos li se podaci namijenjeni kanalskoj ili paketskoj komutaciji.
- *dodjela kodova*: CDMA kodovima u UMTS-u upravlja se putem kodnog stabla. RNC dio spomenutog kodnog stabla (tj. kodove) dodjeljuje pojedinom UE, s tim da tijekom trajanja veze može tu podjelu i promijeniti.
- *kontrola potrošnje energije*: Za efikasno funkcioniranje mreže temeljene na CDMA pristupu vrlo je važna kontrola snage odašiljača svih korisnika. Iako se sam postupak provodi u čvoru B, ciljane vrijednosti se definiraju u RNC-u. Pri tome se vodi računa o

izmjerenim razinama smetnji te se u odluku znaju uključivati podaci iz ostalih ćelija ili čak izvan granica RNC-a.

- *upravljanje paketima*: Tijekom izmjene paketskih podataka nekoliko pokretnih terminala dijeli resurse na radijskom sučelju. RNC stoga vodi računa da im se prijenosni kapaciteti dodjeljuju ciklički, istodobno vodeći računa o dogovorenoj razini kvalitete usluge.
- *prekapćanje*: Na temelju rezultata mjerenja provedenih od strane čvora B i UE-a, RNC detektira je li možda neka druga ćelija prikladnija za nastavak trenutne komunikacije. Ukoliko RNC odluči da je bolje provesti prekapćanje, o tome tj. o dodjeli novog kanala obavještava odgovarajući UE.
- *premještanje SRNS-a*: Moguće je da pokretni terminal izađe iz područja nadležnog pod jednim RNC-om i pređe u drugo. U takvoj situaciji potrebno je kontrolu nad konekcijom prebaciti na taj novi RNC.
- *šifriranje*: Podaci koji preko radijskog sučelja dolaze s fiksne mreže šifriraju se na RNC-u.
- *pretvorba protokola*: RNC mora upravljati komunikacijom između jezgrene mreže, susjednih RNC-ova i spojenih čvorova B, vodeći računa o različitim formatima poruka koje međusobno izmjenjuju.
- *komutacija ATM-a*: Komunikacijski putovi između čvorova čvor B i RNC, između RNC-ova odnosno između RNC-a i CN-a temelje se na tehnologiji ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). RNC stoga mora biti sposoban prespajati i pokretati konekcije kako bi omogućio komunikaciju između različitih čvorova.

Jezgrena mreža

Pokretni komutacijski centar (engl. *Mobile Services Switching Centre*, MSC) komutacijski je čvor koji podržava kanalski orijentiranu komunikaciju. Uz spomenute poslove vezane uz komutaciju, MSC pruža podršku i korisničkoj pokretljivosti. Promijeni li korisnik tijekom razgovora lokacijsko područje, MSC preusmjerava vezu na odgovarajuće čvorove B i RNC tj. trenutno lokacijsko područje korisnika čime se vrši operacija prekapćanja. MSC je zadužen i za spremanje, u za to predviđenu VLR bazu podataka, trenutne korisničke lokacije kako bi se olakšala i ubrzala uspostava poziva. Dodatno, MSC sudjeluje pri korisničkim autentifikacijama i šifriranju podataka koje oni izmjenjuju. Prilazni pokretni komutacijski centar (engl. *Gateway Mobile Services Switching Centre*, GMSC), putem kojega se ostvaruju sučelja prema različitim vanjskim mrežama, zapravo je posebna varijanta MSC-a. S obzirom na sve nabrojane funkcije slobodno se može zaključiti kako je MSC središnji element kanalske komutacije jezgrene mreže pokretnih sustava UMTS.

Uspostavom pretplatničkog statusa svi se korisnički podaci zajedno sa pridruženim ključevima i dozvolama spremaju u posebnu bazu podataka naziva domaći lokacijski registar (engl. *Home Location Register*, HLR). U njemu se također zapisuje i referenca na trenutnu

lokaciju korisnika u mreži, što vrši MSC, čime je uvelike olakšana uspostava dolaznih poziva prema korisnicima.

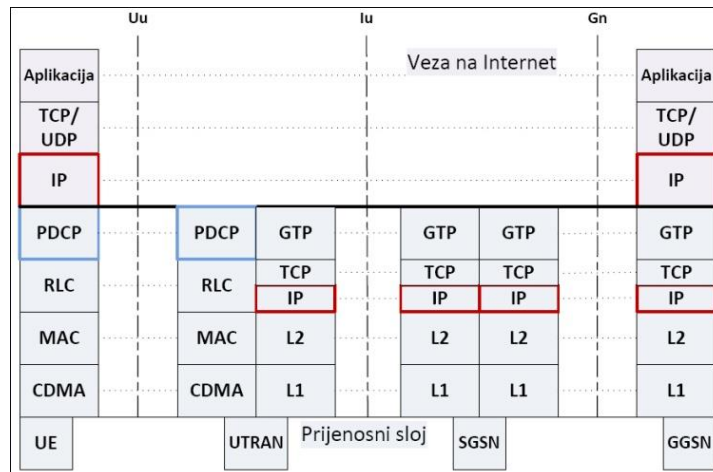
Gostujući lokacijski registar (engl. *Visitor Location Registry*, VLR) baza je podataka vrlo slična HLR-u u kojoj se sprema lokalna kopija iz HLR-a. Međutim, podaci su ovdje puno dinamičniji. Čim korisnik promjeni lokaciju, a time moguće i lokacijsko područje, podaci o tome se odmah ažuriraju u VLR-u. Prednost ovakvog pristupa, po kojem je HLR pošteđen podataka o svakoj pojedinoj promjeni lokacije, njegovo je rasterećivanje i sprečavanje od učestalih rušenja.

Uslužni GPRS potporni čvor (engl. *Serving GPRS Support Node*, SGSN) provodi zadatke prijenosa paketskog prometa, vrlo slične onima koje za kanalsku komutaciju vrše MSC i VLR. Pamti trenutnu korisničku poziciju kako bi novopridošli paket namijenjen upravo njemu mogao naći put do svog odredišta. Uz funkcije preusmjeravanja paketa, SGSN također sudjeluje pri autentifikaciji korisnika te sprema lokalnu kopiju korisničkih podataka.

Veze paketskog dijela UMTS mreže prema drugim podatkovnim mrežama, poput primjerice Interneta, ostvaruju se putem prilaznog GPRS potpornog čvora (engl. *Gateway GPRS Support Node*, GGSN). Zbog toga GGSN vrlo često implementira neku varijantu vatrozida. Dolazni podatkovni paketi enkapsuliraju se u poseban kontejner te putem protokola GTP (*GPRS Tunnel Protocol*) prosljeđuju prema odgovarajućem SGSN-u.

Protokol IP u mreži 3G

U mreži treće generacije, točnije u njegovoj korisničkoj ravnini (Slika 1.2.3.) ponavlja se slučaj dvostruke uloge IP protokola koji se po prvi puta pojavio u GPRS sustavima. Budući da su glavni koncepti paketskog prijenosa preuzeti iz paketskih radijskih mreža, protokolni složaj korisničke ravnine mreže UMTS u potpunosti je naslijeđen iz njih. Međutim, funkcionalna razlika je u tome što GPRS u idealnim uvjetima nudi maksimalne brzine prijenosa podataka do 115.2 kbit/s, a UMTS u svim uvjetima, tj. u svim hijerarhijskim ćelijama (ukratko opisanima u Tablici 1.2.1.) ostvaruje širokopojasne brzine (teoretski minimalno 144 kbit/s, realno 128 kbit/s). Uvođenje IP-a u GPRS bila je novost za pokretne sustave, a UMTS u tom smislu odlazi jedan korak dalje. Dvije su glavne razlike, od kojih je jedna evolucijskog značenja. Naime, IP se u UMTS-u više ne zadržava na SGSN-u, nego ulazi korak dublje, prema pristupnim mrežama. Konačna ideja razvoja UMTS-a bila je uspostava *All-IP* mreže, što se danas nastoji ostvariti kroz LTE, koja se u potpunosti temelji na mrežnom protokolu IP, a uz pomoć višemedijskog IP podsustava (engl. *IP Multimedia Subsystem*, IMS) ostvaruje sve funkcionalnosti postojećih GSM/GPRS i UMTS mreža. IMS preko IP-a ostvaruje vezu i sa kanalskim (PSTN, ISDN itd.) i sa paketskim (Internet, GPRS, drugi UMTS itd.) mrežama.



Slika 1.2.3. Korisnička ravnina mreže 3G

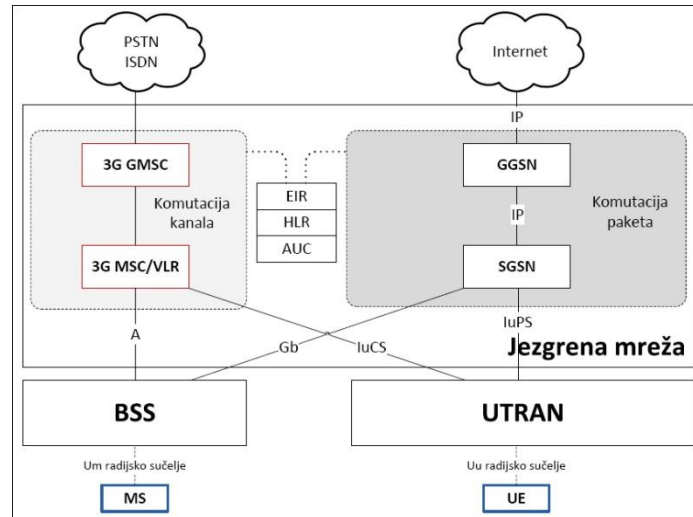
Osnovna ideja pristupa Internetu ostala je ista: svi niži slojevi mogu se zajedno promatrati kao prijenosni sloj koji omogućuje UE-u spajanje na Internet uz ostvarivanje niza različitih usluga. Druga glavna razlika protokolnog složaja u odnosu na GPRS je protokol PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*). Njegova uloga vrlo je slična onoj od SNDCP-a, što znači da vrši prijenos IP datagrama uz kompresiju/dekompresiju kako bi se prilagodili nižim slojevima (RLC, MAC, fizički sloj) te se korisniku omogućila veza prema Internetu.

Razvojni scenariji

Razvoj mreže 3G ovisi o trenutnim uvjetima u mreži: je li riječ o nadogradnji GSM/GPRS arhitekture ili potpuno novoj, samostalnoj UMTS mreži. U tom kontekstu, ali i kontekstu različitih korisničkih zahtjeva za naprednijim uslugama i mogućnostima, razvilo se nekoliko evolucijskih scenarija UMTS sustava koji su opisani u 3GPP specifikacijama u pojedinim izdanjima (engl. *release*, R).

R99: prvo izdanje UMTS standarda temeljeno na tehnologiji WCDMA, uz uvođenje klasa kvalitete usluge;

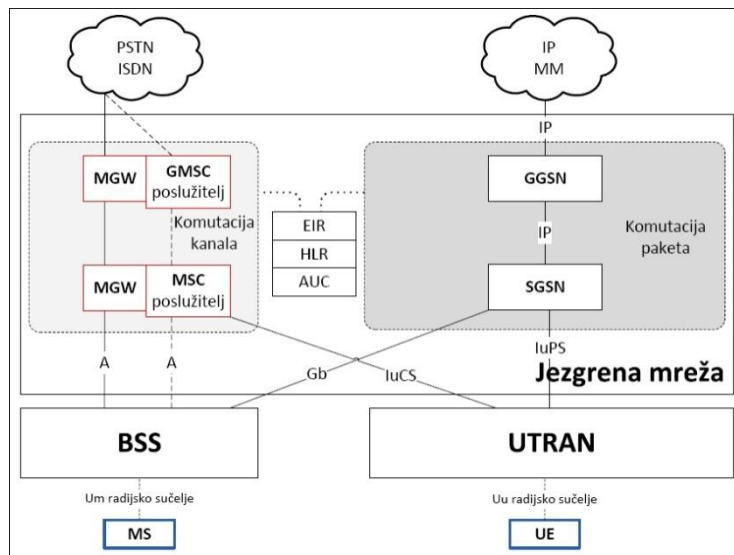
Scenarij opisuje uvođenje UMTS-a uz neku postojeću pokretnu mrežu, tipično GSM/GPRS. U tom slučaju razlikuju se dvije pristupne mreže: UTRAN i radijska pristupna mreža postojeće mreže (npr. BSS za GSM/GPRS), te nadograđena jezgrena mreža s kanalskim i paketskim dijelom (Slika 1.2.4.).



Slika 1.2.4. UMTS razvojni scenarij R99

R4: razdvaja se kanalski dio jezgrene mreže na transportni i kontrolni dio, uvodi se poslužiteljska arhitektura;

U okviru domene jezgrene mreže razdvajaju se transportni i kontrolni kanalski promet, uz prelazak na poslužiteljsku arhitekturu. Na relaciji između poslužitelja MSC-GMSC, koji su zaduženi za upravljačke funkcije, prenosi se signalizacija, dok se prilagodba formata medija provodi u medijskim prilazima (engl. *Media Gateway*, MGW). Značajnijih promjena u paketskom dijelu mreže, kao niti u povezivanju pristupnih mreža s jezgrenom, nema (Slika 1.2.5.).

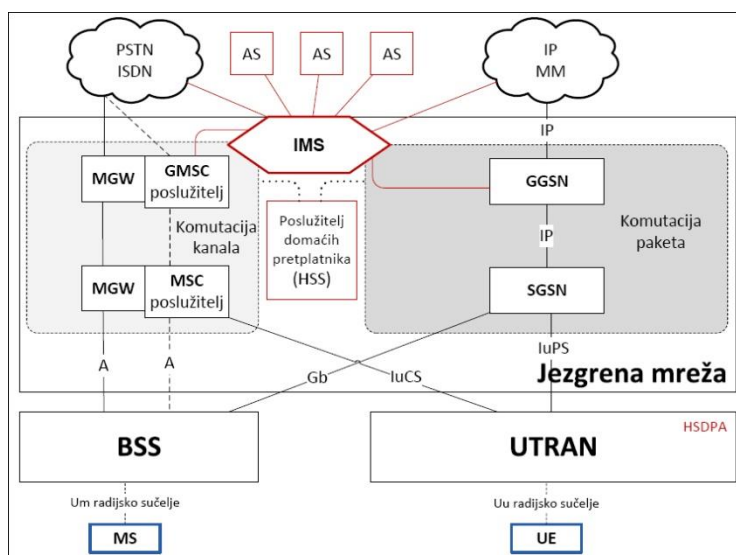


Slika 1.2.5. UMTS razvojni scenarij R4

R5: uvođenje IMS-a (SIP signalizacija), podrška za HSDPA, pregovaranje o QoS;

Ključnu novu funkcionalnost predstavlja višemedijski IP podsustav koji omogućava preusmjeravanje prometa iz kanalskog dijela jezgrene mreže prema Internetu ili obrnuto, a dodatno ostvaruje i puno bolje upravljanje kvalitetom usluga. Uvodi se podrška za

usmjeravanje zasnovano na protokolu IPv6, kvaliteta govora usporediva s fiksnom mrežom, odabir razreda kvalitete usluge te brži prijenos zvuka, slike i videa visoke kvalitete. Funkcije autentifikacije, identifikacije, kao i zapisa pretplatničkih i lokacijskih informacija objedinjene su u poslužitelju domaćih pretplatnika (engl. *Home Subscriber Server*, HSS). Pruža se i bolja podrška za prelazak između UMTS mreže i mreža 2. generacije GSM (GPRS, EDGE), odnosno između mreža 3. generacije (Slika 1.2.6.). Od tehnologija koje garantiraju veće brzine dolaznog prijenosa podataka (maksimalno 14.4 Mbit/s, realno 3.6 Mbit/s) uvodi se podrška za HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Riječ je o poboljšanju WCDMA sustava (dodavanje 16QAM modulacije uz postojeći mehanizam QPSK) u dolaznom smjeru koje ne zahtijeva dodavanje novih čvorova, već samo nadogradnju postojećih elemenata pristupne UTRAN mreže (elementa RNS i čvora B) kako bi se povećao broj raspoloživih pristupnih kanala. Kao posljedica uvođenja IMS-a, u aplikacijski sloj se pridodaju i aplikacijski poslužitelji (engl. *Application Server*, AS).



Slika 1.2.6. UMTS razvojni scenarij R5

R6: integracija s WLAN-ovima, MMS (Multimedia Messaging Service), podrška za multicast i broadcast (MBMS), veće odlazne brzine prijenosa podataka (HSUPA);

U kontekstu pristupa pridodaje se mogućnost korištenja WLAN-a kao pristupne mreže pomoću pristupnika/prilaza bežičnih mreža (engl. *WLAN Access Gateway*, WAG), što između ostaloga omogućuje poboljšanje pristupnih brzina. Odlazni smjer dobiva podršku za brži prijenos HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*). Pristup WLAN-a do IMS podsustava i svih njegovih funkcija postiže se pomoću prilaza paketnih podataka (engl. *Packet Data Gateway*, PDG). IMS podsustav također doživljava brojne nadogradnje, pa tako sada omogućuje upravljanje grupama korisnika (engl. *IMS Group Management*), usluge temeljene na prisutnosti (engl. *IMS Presence Service*), slanje poruka po uzoru na MMS temeljeno na protokolu SIP (engl. *IMS Messaging*), multimedijske konferencijske usluge (engl. *Multiparty-multimedia conferencing service in IMS*) te poboljšane usluge temeljene na lokaciji (engl. *Location-based services in IMS*) i sustave naplate. Uz sve navedeno, MBMS (*Multimedia Broadcast and Multicast Service*) u R6 uvodi pokretno višedrežno razašiljanje koje uz

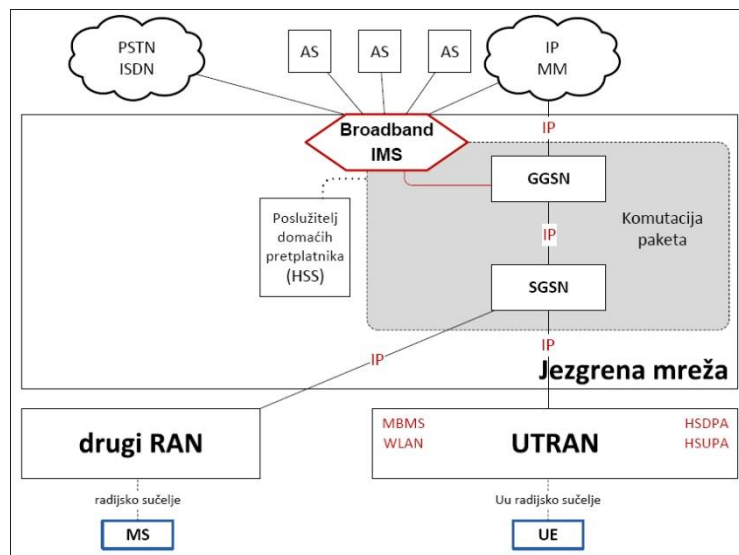
dodatak centra za višedrešišno razošiljanje u jezgrenu mrežu (engl. *Broadcast and Multicast Service Center, BM-SC*) između ostaloga omogućuje uslugu pokretne televizije putem DVB-H (*Digital Video Broadcasting – Handheld*).

R7: širokopojasni fiksni pristup kroz IMS, glatko prebacivanje govornog poziva između kanalske i paketske domene uz osiguranu kvalitetu usluge;

U ovom razvojnom scenariju u IMS-u se uključuje podrška za fiksni pristup.

R8: prelazak na All-IP mrežu, podrška za IMS multimedijску konferenciju;

Posljednji korak evolucije UMTS-a razrađuje dugo očekivani prijelaz na *All-IP* arhitekturu, uz naglasak na podršci za protokol IPv6. Uvode se radikalne promjene u jezgrenu mrežu, tako da se kanalski dio u potpunosti izbacuje, a prijenos njegovih podataka vrši se pomoću IMS-a i protokola IP (Slika 1.2.7.).

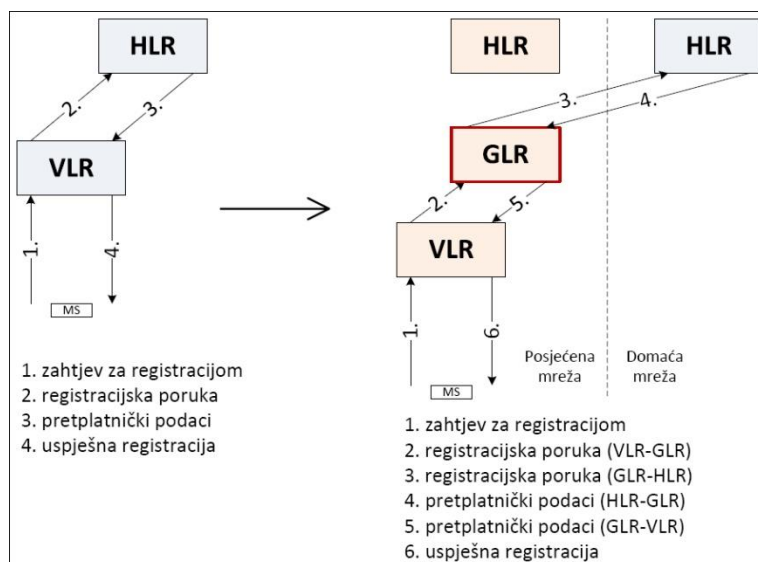


Slika 1.2.7. UMTS razvojni scenarij R8

Upravljanje pokretljivošću

Ostvarivanje pokretljivosti terminala pretpostavlja kontinuitet komunikacije pri prijelazu iz jedne ćelije u drugu. Za GSM, koji rabi višestruki pristup u vremenskoj podjeli, to znači prebacivanje komunikacije s jednog fizikalnog kanala (vremenskog odsječka na frekvenciji jedne ćelije) na drugi prilikom kretanja terminala između različitih ćelija. UE tijekom poziva kontinuirano mjeri razinu signala i učestalost pogrešaka (engl. *Bit Error Rate, BER*) kanala na kojem radi, kao i razine signala iz susjednih ćelija, te šalje izmjerene rezultate nadležnom BSC-u jednim od kontrolnih kanala. U trenutku kada kvaliteta komunikacije padne ispod određenog praga donosi se odluka o promjeni kanala i prebacivanju poziva na drugi BTS, odnosno u drugu ćeliju. Postoje četiri varijante prekapčanja: Intra-BTS, Intra-BSC, Intra-MSC i Inter-MSC prekapčanje. Budući da se prebacivanje provodi u stvarnom vremenu uz preusmjeravanje poziva do novog BTS-a, ove vrste prekapčanja općenito se nazivaju čvrstim prebacivanjem. U UMTS-u je i u tom pogledu postignut napredak. Zbog primjene višestrukog pristupa u kodnoj podjeli moguće je održavati kontinuitet poziva između mreže i terminala

preko više radijskih veza istodobno. U takvom slučaju prijelaz iz jedne u drugu ćeliju ne unosi kašnjenje kao u TDMA sustavima te se ovaj način prebacivanja poziva naziva mekim prebacivanjem. Uz prebacivanje između ćelija, važan aspekt upravljanja pokretljivošću je i mehanizam ažuriranja lokacije pomoću kojeg se određuje trenutni položaj UE. Sve lokacijske informacije UE u GSM-u pohranjene su u lokacijskim registrima HLR i VLR, a u UMTS-u te funkcije preuzima HSS. U GSM mreži pozivanje UE provodi se slanjem *paging* signala u svim ćelijama lokacijskog područja u kojem je registrirana, što izaziva značajan kontrolni promet. Kako bi se uporaba radijskih resursa zbog velikog kontrolnog prometa smanjila, istražuju se složeniji postupci upravljanja pokretljivošću, poput preklapajućih lokacijskih područja, definiraju se lokacijska područja ovisna o razredu pokretljivosti te primjenjuje inteligentno pozivanje ovisno o mjestu zadnje komunikacije. Isto tako, UMTS uvodi nova rješenja za upravljanje pokretljivošću prilikom kretanja u posjećenoj mreži kako bi se smanjila izmjena signalizacije između domaće i posjećene mreže. Rješenje s prilaznim lokacijskim registrom (engl. *Gateway Location Register, GLR*) ograničava registraciju promjene lokacije u posjećenoj mreži na relaciju VLR-GLR, uz izvještavanje HLR-a od strane GLR-a pri prvom i svakom ponovnoj registraciji (Slika 1.2.8.).



Slika 1.2.8. Upravljanje pokretljivošću

1.2.2. Tehnologija brzog paketskog pristupa

U posljednjih petnaestak godina Internet je promijenio način na koji se prenose informacije i ostvaruju komunikacijske usluge bilo na radnom mjestu bilo kod kuće. Širokopojasni pristup poput DSL-a uz veće prijenosne brzine ponudili su istinsku osnovu za iskorištavanje višemedijskih usluga i sadržaja milijunima korisnika preko telefonske parice. Pokretni sustavi svojim konstantnim razvojem godinama su željeli postići isti cilj, ali uz jednu vrlo važnu prednost: ostvariti širokopojasni pristup Internetu u pokretu sa praktički bilo kojeg mjesta pokrivenog signalom baznih stanica.

Brzi paketski pristup (engl. *High Speed Packet Access, HSPA*) sljedeći je korak u evoluciji pokretnih sustava koji je započeo GSM-om početkom devedesetih, nastavio se krajem prošlog

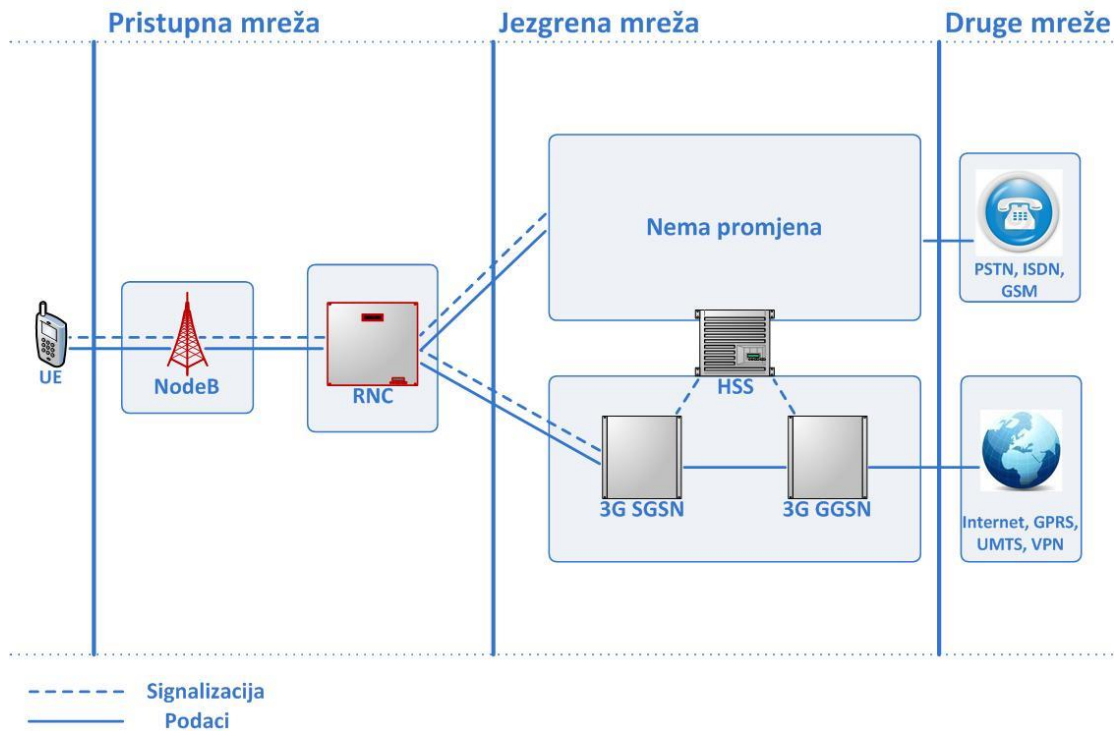
stoljeća uvođenjem paketnog prijenosa kroz GPRS i konačno s UMTS-om uveo bolju podršku za kvalitetu usluge uz postupni prijelaz na *All-IP* protokolnu organizaciju. U tom kontekstu HSPA se vrlo često karakterizira kao 3.5 G, prijelazna generacija prema novim 4G LTE sustavima, a u okviru koje se razlikuju dvije vrste sustava:

- HSDPA: Brzi paketski pristup silaznom vezom koji predstavlja tehničku nadogradnju WCDMA 3G mreže u silaznom smjeru prijenosa podataka, od mreže prema korisniku. Omogućuje postizanje sljedećih brzina: 1.8, 3.6, 7.2 i 14.4 Mbit/s.
- HSUPA: Ista stvar, samo za suprotan uzlazni smjer, od korisnika prema mreži. Maksimalna brzina koju podržava je 5.76 Mbit/s.

Budući da će se Internet sigurno nastaviti razvijati kao univerzalna mreža za prijenos informacija, komunikaciju, interakciju korisnika i multimediju, UMTS sustavi uvođenjem HSPA proširenja dobivaju snažnu perspektivu za njihovu široku upotrebu jer se sljedećih godina očekuje eksplozivan porast potražnje za bežičnim pokretnim širokopoljnim mogućnostima: 2012. godine očekuje se ukupno čak oko 1.8 milijardi korisnika s nekom varijantom širokopoljnog pristupa, uz stalan porast potražnje za pokretnim rješenjima.

Arhitektura sustava HSPA

Jedna od glavnih značajki HSPA sustava je da ne zahtijevaju značajnije promjene u postojećim mrežama UMTS, gdje se pod atributom *postojeće* najčešće misli na mreže utemeljene na 3GPP razvojnom scenariju R99 i osnovnom WCDMA pristupu. Ne zahtijeva se uvođenje nikakvih dodatnih čvorova, a softverska i hardverska nadogradnja mora se provesti jedino u mrežnom podsustavu RNS (čvorovi B i RNC). Jezgra mreže ostaje kakva je i bila, a budući da je uvođenje HSDPA vezano uz 3GPP razvojni scenarij R5, odnosno HSUPA R6, u njoj i dalje postoje elementi više puta prikazani u prošlim poglavljima (npr. na Slici 1.2.6.) poput: IMS podsustava, HSS-a, DNS i DHCP poslužitelja, medijskih prilaza (MGW) u kanalskom dijelu odnosno 3G SGSN/GGSN čvorova u paketskom dijelu. Promjene koje se implementiraju u pristupu namijenjene su pružanju podrške novim modulacijskim i kodnim tehnikama pomoću kojih se proširuju postojeći UMTS kanali u silaznoj i uzlaznoj vezi (Slika 1.2.9.).



Slika 1.2.9. Arhitektura UMTS-HSPA mreže

Tri su ključna poboljšanja koje donosi uvođenje HSPA pristupa: poboljšani protok podataka, smanjenje kašnjenja (inicijalno kašnjenje, vrijeme čekanja) i poboljšani kapacitet mreže.

Poboljšani protok podataka

UMTS mreža temeljena na 3GPP izdanju 99 omogućuje maksimalne teoretske brzine prijenosa podataka od 384 kbit/s. Pridodaju li se poboljšanja uzrokovana uvođenjem HSDPA pristupa u silaznom smjeru, krajnjem korisniku postaju dostupne brzine od 14.4 Mbit/s. Koliko će korisnika i koliko često na kraju stvarno i uspjeti ostvariti navedene brzine ovisi o više čimbenika: o uvjetima u mreži, prije svega radijskom sučelju kao i vrsti pokretnog terminala koji se koristi. Puno je realniji scenarij koji podrazumijeva veći broj korisnika koji ostvaruju brzine od 3.6 Mbit/s, što je i dalje deseterostruko poboljšanje u odnosu na temeljni UMTS. Veće brzine znače i veće mogućnosti za krajnjeg korisnika, poput pristupa visokokvalitetnim video strujanjima, brža skidanja muzike i raznih drugih sadržaja ili značajne uštede i poboljšanja kod raznih vidova poslovne komunikacije, od video-konferencija do slanja e-mail poruka.

Smanjenje kašnjenja

Drugo značajno poboljšanje smanjenje je vremenskog kašnjenja kod prijenosa podataka. U prvim izvedbama HSDPA pristupa postignuta su kašnjenja od svega 60 ms, što je dovoljno za normalno funkcioniranje stvarno-vremenskih aplikacija poput video-konferencija ili višekorisničkih igara.

Poboljšani kapacitet mreže

Uvođenje brzog podatkovnog pristupa HSPA u 3. generaciju pokretnih sustava podrazumijevalo je novosti po pitanju korištenih tehnika kodiranja i modulacije, čime se značajno poboljšala spektralna učinkovitost pristupne mreže.

Uvodi se adaptivna modulacija i kodiranje (engl. *Adaptive Modulation and Coding*, AMC). Koristi se povratna informacija od korisničkog terminala kako bi se utvrdila najbolja modulacijska tehnika i kodirajuća shema za zadane uvjete u kanalu te time maksimizirao tok podataka prema korisničkoj opremi. Terminal komunicira s više čvorova B i definira listu baznih stanica koje je moguće koristiti za komunikaciju (engl. *Fair Scheduling and Fast Cell Site Selection*, FCSS). Odabire ćeliju koja trenutno pokazuje najbolje prijenosne karakteristike za slanje podataka. Uz QPSK modulaciju koristi se i 16QAM modulacija koja omogućava veće brzine prijenosa podataka u slučaju boljih radijskih uvjeta.

Bazna stanica dinamički mijenja kapacitete dodijeljene korisnicima na temelju trenutnih uvjeta u mreži za određeno područje. Korisnicima koji se nalaze u području s boljim uvjetima doznačuje se veći kapacitet prijenosne mreže i veće prijenosne brzine čime se postigne efikasnije zauzeće kanala. Dijeljenje kanala omogućava dinamičku dodjelu kapaciteta, ovisno o broju korisnika koji se nalaze na istom području. Brza adaptacija linka omogućava korištenje učinkovitije modulacije i kodiranja kanala čime se osigurava veća brzina prijenosa. Dinamičko raspoređivanje kanala omogućava dinamičku dodjelu većeg kapaciteta korisnicima s većim zahtjevima. Brza retransmisija osigurava ponovno slanje samo onih podataka pri čijem je prijenosu došlo do pogreške. Čvor B preuzima određene funkcionalnosti od čvora RNC.

1.2.3. Evoluirani brzi paketski pristup

Daljnji korak u smjeru 4. generacije pokretnih mreža poboljšanje je HSPA pristupa pod nazivom HSPA+ ili evoluirani brzi paketski pristup (engl. *HSPA Evolution*). Poboljšanja u radijskom dijelu mreže povećavaju spektralnu učinkovitost i prosječne prijenosne brzine u ćelijama. Time se podržavaju izmjene većih količina prometa, prije svega podatkovnog, i to bez potrebe za značajnijim mijenjanjem mrežne arhitekture odnosno dodavanjem novih čvorova. Sve se promjene tiču samo nadogradnji postojeće opreme:

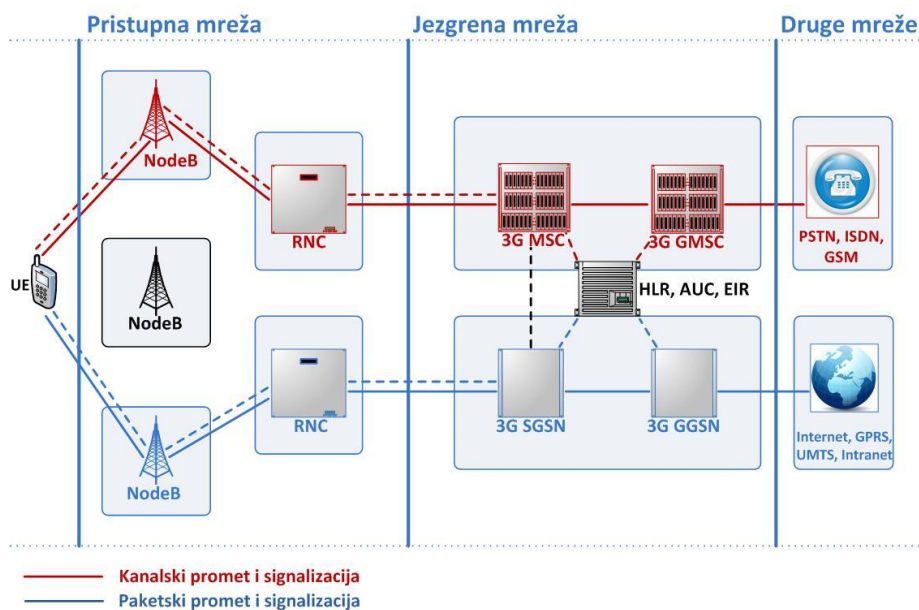
- Načelo višestrukih ulaza i izlaza (engl. *Multiple-Input Multiple-Output*, MIMO) uvedeno je kako bi se povećala spektralna efikasnost u ključnim dijelovima ćelija za 10 do 20%. Za njegovo funkcioniranje potrebne su dodatne antene, po mogućnosti skrivene u postojećim antenskim sustavima te dodatni odašiljači u postojećim baznim stanicama.
- Podrška za modulaciju 64 QAM znači i veće brzine prijenosa podataka za vrijeme dobrih propagacijskih uvjeta u mreži čime se mogu ostvariti i do 20% poboljšanja u brzini.

Tijekom uvođenja tehnologije HSPA+ razmatrane su i potencijalne promjene po pitanju mrežne arhitekture. Cilj je naravno bilo pojednostavljivanje postojeće mreže kako bi se smanjivanjem broja čvorova poboljšale performanse te se smanjila kašnjenja i konačna cijena:

- Jednostavnija arhitektura može se postići eliminacijom makro raznolikosti (engl. *macro diversity*) i pridruženog čvora RNC. Sve funkcije pristupne mreže u tom bi se slučaju mogle realizirati primjenom čvora B, dok bi se postojećim sučeljem I_u ostvarila direktna veza prema jezgrenoj mreži. Bez obzira što je makro raznolikost jedna od ključnih odlika tehnologija temeljenih na višestrukome pristupu CDMA, njena eliminacija može se opravdati putem sljedećih razmatranja:
 - Uvođenje HSPA pristupa u silaznom linku provodi se uz veoma ograničenu uporabu makro raznolikosti.
 - HSPA u odlaznom smjeru koristi makro raznolikost za postizanje optimalnih performansi, međutim u gusto naseljenim područjima to je ograničavajući faktor; smanjivanje teoretskog kapaciteta u *uplinku* prihvatljivo je budući da se ta granica nikada ne dostiže. Opisane promjene bi rezultirale u jednostavnijem sustavu što bi na kraju dovelo i do nižih troškova. Ovakva bi arhitektura dodatno omogućavala postavljanje čvorova B u gustim područjima od bilo kojeg proizvođača – riječ je o fleksibilnosti koja proizlazi iz standardnog I_u sučelja, što se ne može u potpunosti tvrditi za I_{ub} .
 - Bolje performanse u vidu kašnjenja rezultirale bi mogućom integracijom sadašnjih 3G UMTS mreža sa budućim 4G LTE mrežama.

Uspostava komunikacije u mreži treće generacije

Uspostava poziva dobar je primjer za ilustraciju interakcije između mrežnih čvorova. UMTS zadržava kanalski dio jezgrene mreže, a rješenje je preuzeto iz mreže druge generacije. Korisnik u nepokretnoj (fiksnoj) mreži podiže slušalicu i naziva UMTS telefonski broj. Poziv se zatim usmjerava kroz javnu telefonsku mrežu prema rubnom komutacijskom čvoru UMTS mreže, GMSC-u. Na temelju telefonskog broja, komutacijski čvor određuje nadležnu bazu korisničkih podataka (HLR) tj. onu u kojoj su pohranjeni podaci pozivanog korisnika. HLR zna u kojem se području usmjeravanja traženi korisnik trenutno nalazi te šalje upit VLR-u nadležnom za to konkretno područje. VLR odgovara s traženim *roaming* brojem, a HLR tu informaciju prosljeđuje GMSC-u. Od tamo, poziv se prosljeđuje na određeni komutacijski čvor MSC. Pridruženi mu VLR zna koji je RNC nadležan za područje u kojem se nalazi traženi korisnik te šalje zahtjev za uspostavom radijskog kanala prema njegovom pokretnom uređaju. RNC poziva UE u zadnjem poznatom lokacijskom području i uspostavlja konekciju preko odgovarajućeg čvora B. Čim se uspostavi transmisijski link na sučelju U_u , započinje prijenos signalizacije s kraja na kraj mreže te telefonski uređaj krene zvoniti. Konekcija se uspostavlja čim pokretni korisnik na drugom kraju veze podigne svoju slušalicu tj. prihvati poziv (Slika 1.2.10., crveni dio).



Slika 1.2.10. Razmjena kanalskog i paketskog prometa u mreži 3G

Uspostava paketskih usluga u mreži 3G nešto je složeniji proces. Slika 1.2.10. prikazuje dio cjelokupne mreže nadležne za paketsku komunikaciju (obojano plavom bojom). U tipičnom scenariju pokretni korisnik razmjenjuje podatke s računalom na Internetu. Prije nego li UE pristupa Internetu mora u čvoru GGSN aktivirati adekvatni PDP (*Packet Data Protocol*) kontekst. Riječ je o nizu postavki koje između ostaloga definiraju koje to podatkovne mreže korisnik može iskoristiti za razmjenu podataka. Lista dozvoljenih PDP konteksta spremljena je u HLR bazi podataka. Tako se primjerice jedan od mogućih konteksta može se odnositi na pristup javnoj mreži poput Interneta, a drugi na pristup privatnoj Intranet mreži dostupnoj samo odabranoj grupi korisnika. Korisnik u UMTS mreži može raspolagati s nekoliko PDP konteksta istodobno i aktivirati ih po potrebi. Kada korisnik želi aktivirati PDP kontekst za neki tip usluge, njegova UE uspostavlja vezu s RNC-a na SGSN kojom šalje poruku o korisnikovoj želji za primjerice spajanjem na Internet. SGSN taj upit dalje prosljeđuje prema nadležnom GGSN-u. Sljedećim se upitom u HLR-u provjeravaju korisničke dozvole tj. smije li korisnik uopće pristupiti Internetu. Ukoliko je odgovor potvrđan, GGSN započinje aktivaciju odgovarajućeg PDP konteksta o čemu obavještava UE. U okviru tog procesa UE-u se dodjeljuje privremena IP adresa putem koje može normalno funkcionirati izvan UMTS mreže, u ovom slučaju u Internetu. Uspostavlja se IP tunel putem kojega se mogu primiti dolazni paketi iz Interneta, i to na relaciji između GGSN-a, SGSN-a i RNC-a. RNC primljene IP pakete raspakirava i dalje prosljeđuje prema UE. Opisanim se postupkom razdvaja promet u okviru UMTS mreže od vanjskoga, internetskog prometa. Tunel za prosljeđivanje IP paketa ostaje otvoren dok god se odgovarajući PDP kontekst ne deaktivira. Tijekom tog perioda SGSN konstantno biva obaviješten o najnovijoj trenutnoj lokaciji UE, što je vrlo dobar primjer uspravljanja s mikro-pokretljivošću (engl. *micro-mobility management*). Promjeni li traženi korisnik svoje lokacijsko područje u ono za koje originalni SGSN više nije nadležan, vrši se adekvatna promjena rute sa GGSN-a prema novom SGSN-u. U slučaju dulje neaktivnosti korisničkog uređaja dolazi do istjecanja vremenske kontrole te korisnički uređaj više ne izmjenjuje signalizaciju tijekom svake promjene ćelije, što znači da SGSN raspolaže

informacijom o lokaciji korisnika na razini područja usmjerenja. Međutim, bez obzira na navedene promjene, logička veza između UE i GGSN-a i dalje postoji. Tunnel se otpušta tek deaktivacijom PDP konteksta ili odspajanjem UE od SGSN-a. Nakon toga se oslobađa i korištena privremena IP adresa, što znači da se prilikom nekog novog spajanja može ponovno iskoristiti.

Sav se izmijenjeni promet tijekom veze prema Internetu bilježi kako bi kasnije bilo moguće što jednostavnije provesti naplatu usluge. Ukoliko neki od paketa zbog razno raznih problema nisu uspješno dostavljeni korisničkom uređaju, radijski (pristupni) dio mreže o tome obavezno obavještava jezgri. Pregovaranje o kvaliteti usluge također je jedna od bitnih stavki PDP konteksta jer ne zahtijevaju sve usluge jednaku razinu kvalitete. Uz definiranje prioriteta usluge tj. njenih paketa, to uključuje i podatke o toleriranom kašnjenju, zahtijevanoj maksimalnoj propusnosti te konfiguraciji sigurnosti prijenosa podataka u okviru jezgrene mreže odnosno radijskog sučelja. Tako se primjerice mogu razlikovati poslovni korisnici koji pristupaju poslovnim mrežama koje im uz nešto veće troškove garantiraju minimalnu razinu kvalitete usluge i obični (privatni) korisnici koji samo žele pristupiti Internetu uz što prihvatljivije troškove. Njima se dakako zbog niže plaćene cijene usluge pružaju uz niže razine kvalitete usluge.

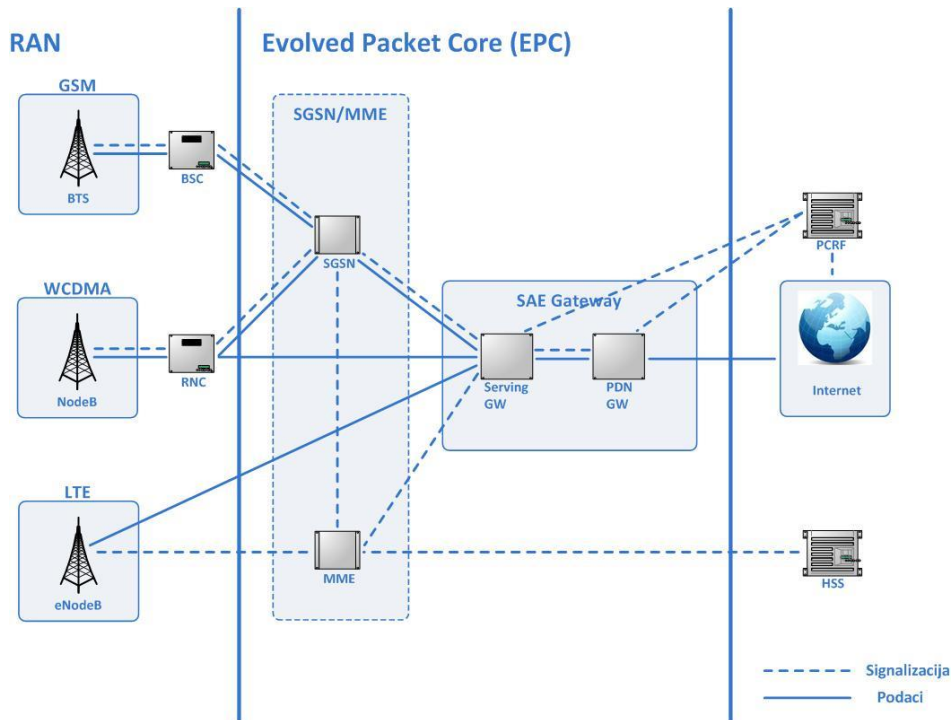
1.2.4. Dugoročna evolucija mreža

Dugoročna evolucija mreža (engl. *Long Term Evolution*, LTE) uvodi novu radijsku pristupnu mrežu pod nazivom evoluirani UTRAN ili E-UTRAN (engl. *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*). E-UTRAN značajno poboljšava protok podataka, povećava kapacitet ćelija te smanjuje kašnjenja u prijenosu korisničkih podataka. Za razliku od brzog paketskog pristupa HSPA, koji je uklopljen u arhitekturu UMTS-a, za LTE tijelo 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) definira u potpunosti novu paketsku jezgrenu mrežu zasnovanu na protokolu IP. Riječ je o evoluiranoj jezgrenoj paketskoj mreži (engl. *Evolved Packet Core*, EPC) pod nazivom SAE (*System Architecture Evolution*). Nova arhitektura jezgrene mreže u potpunosti podržava pristupnu mrežu E-UTRAN uz smanjenje broja mrežnih elemenata, pojednostavljenje funkcionalnosti, smanjenje kašnjenja te, što je najvažnije, mogućnost povezivanja i prekapčanja (engl. *handover*) s fiksnim i ostalim bežičnim pristupnim tehnologijama, omogućujući davateljima usluga učinkovito pružanje pokretnih usluga.

Tehnologija LTE fleksibilnije koristi dodijeljeni frekvencijski pojas od 1.25 do 20 MHz. Izvedbeno, tehnologije koje podržavaju LTE na fizikalnom sloju su OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) te sustav MIMO s višestrukim ulazima i izlazima koji podržava višestruke pametne antene te više paralelnih strujanja podataka prema pojedinom korisniku. Predviđena brzina prijenosa podataka je do 100 Mbit/s u dolaznom smjeru te 50 Mbit/s u odlaznom smjeru.

LTE i SAE zajedno čine evoluirani paketski sustav (engl. *Evolved Packet System*, EPS) koji predstavlja četvrtu generaciju pokretnih mreža (4G) i u potpunosti se temelji na protokolu IP.

Na Slici 1.2.11. prikazana je arhitektura evoluiranog paketskog sustava (EPS), odnosno mreže LTE/SAE prema skupu standarda 3GPP R8.



Slika 1.2.11. Arhitektura evoluiranog paketskog sustava EPS

Pristupni dio mreže EPS (engl. *Radio Access Network*, RAN) podržava različite radijske pristupne mreže druge generacije (engl. *GSM EDGE Radio Access Network*, GERAN) i treće generacije (UTRAN): u mreži GSM su to čvorovi BTS (*Base Transciever Station*) i BSC (*Base Station Controller*), u mreži WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) čvor B (*NodeB*) i RNC (*Radio Network Controller*), dok je u mreži LTE to evoluirani čvor B (engl. *evolved NodeB*, eNodeB) koji predstavlja baznu stanicu. Sa stanovišta LTE-a, eNodeB je jedini čvor u pristupnom dijelu mreže koji ujedinjava funkcionalnosti čvorova NodeB i RNC u UMTS-u te kao takav predstavlja evoluiranu pristupnu mrežu UTRAN (E-UTRAN). Sadrži funkcionalnosti radijskog prijenosa i usmjerava podatke prema jezgrenoj mreži. Osim toga, odgovoran je za kompresiju zaglavlja, sigurnu komunikaciju s korisničkim uređajem (engl. *User Equipment*, UE) te pouzdanu isporuku paketa. S motrišta upravljanja, nadležan je za kontrolu prijave UE i upravljanje radijskim resursima.

Jezgreni dio mreže SAE definiran je standardima 3GPP-a. Ostvaruje funkcionalnosti jezgrene mreže koje su u prijašnjim generacijama pokretnih sustava (2G i 3G) realizirane kroz dvije odvojene domene: kanalsku, zaduženu za prijenos prvenstveno govorne komunikacije, i paketsku, putem koje se prenosi podatkovni promet. SAE nema jasno odvojene domene, već ima jedinstvenu IP-domenu. Svi uređaji i čvorovi podržavaju i rade isključivo na protokolu IP, počevši od korisničkih uređaja i ostalih pokretnih uređaja sa ugrađenom podrškom za IP, preko baznih stanica eNodeB i jezgrene mreže koja se, kako je već navedeno, također u potpunosti temelji na protokolu IP do, završno, aplikacijske domene koja može, ali i ne mora uključivati podršku za IMS.

Jezgreni dio mreže sastoji se od jednog upravljačkog čvora signalizacijske ravnine i dva čvora korisničke ravnine. Upravljački čvor pod nazivom entitet upravljanja pokretljivošću (engl. *Mobility Management Entity*, MME) temeljni je čvor jezgrene mreže i brine o signalizacijskim porukama koje se izmjenjuju između UE i čvorova jezgrene mreže protokolom NAS (*Non-Access Stratum*). Nadležan je za velik broj čvorova eNodeB pristupnog dijela mreže. Osnovne funkcionalnosti koje podržava čvor MME vezane su za sigurnost, autentifikaciju, prekapčanje poziva, dodjelu mrežnih resursa, upravljanje pristupom, sjednicom i vezom te upravljanje lokacijom terminala u mirovanju.

Čvorove korisničke ravnine predstavljaju čvorovi prilaza jezgrene mreže SAE (engl. *SAE Gateway*) i to su: uslužni prilazni čvor (engl. *Serving Gateway*, S-GW) i paketski mrežni prilazni čvor (engl. *Packet-Data Network Gateway*, PDN GW ili skraćeno P-GW). P-GW usmjerava podatke od jezgrenog dijela mreže prema ostalim paketskim mrežama, predstavlja krajnju točku pokretne mreže te ostvaruje vezu s ostalim mrežama. Odgovoran je za dodjelu IP-adrese korisničkim uređajima, naplatu te za pružanje usluga s određenom kvalitetom (QoS). Uslužni prilazni čvor (S-GW) tunelira podatke prema P-GW i prati kretanje korisničkog terminala između čvorova eNodeB pristupne mreže te sadrži ostale funkcije upravljanja pokretljivošću. Osim toga, brine o uspostavi veze s korisnicima drugih mreža kao što su GPRS i UMTS.

U mreži se još nalazi čvor poslužitelj domaćih pretplatnika (HSS) i čvor za upravljanje resursima i terećenjem (engl. *Policy Control and Charging Rules Function*, PCRF). Čvor HSS predstavlja bazu podataka koja sadrži podatke o pretplatnicima, njihovim profilima, uslugama, ograničenjima i ostalim parametrima bitnim za pružanje usluga. Čvor PCRF odgovoran je za terećenje, autorizaciju, pružanje usluge s obzirom na pretplatnički profil, provođenje pravila operatora i sl.

LTE je posljednji standard u nizu 3GPP tehnologija započetom GSM-om, GPRS-om i EDGE-om te nastavljenom kroz UMTS odnosno HSPA. Trenutno je aktualna i u uporabi 3. generacija pokretnih sustava, dakle UMTS i njegova poboljšanja (HSDPA/HSUPA), tako da se LTE dominantno karakterizira kao početak nove, 4. generacije pokretnih sustava. Međutim, prva izdanja LTE sustava ne zadovoljavaju u potpunosti zahtjeve propisane u okviru izdanja *IMT Advanced*, tako da se LTE zapravo označava kao 3.9G, dok se tek naprednija varijanta (*LTE-Advanced*), bez obzira što koriste neke od istih frekvencijskih pojaseva i što LTE-A podržava i LTE sustave, smatra pravom 4G tehnologijom. U Tablici 1.2.2. prikazana je usporedba glavnih karakteristika tih dviju vrlo bliskih generacija pokretnih sustava. Sljedeći korak evolucije LTE sustava je *LTE Advanced* koji se trenutno standardizira u okviru 3GPP izdanja 10.

Tablica 1.2.2. Usporedba karakteristika pokretnih sustava LTE i LTE Advanced

Tehnologija	LTE (3.9G)	LTE-A (4G)
Vršna silazna brzina (<i>peak data rate DL</i>)	150 Mbit/s	1 Gbit/s
Vršna uzlazna brzina (<i>peak data rate UL</i>)	75 Mbit/s	500 Mbit/s

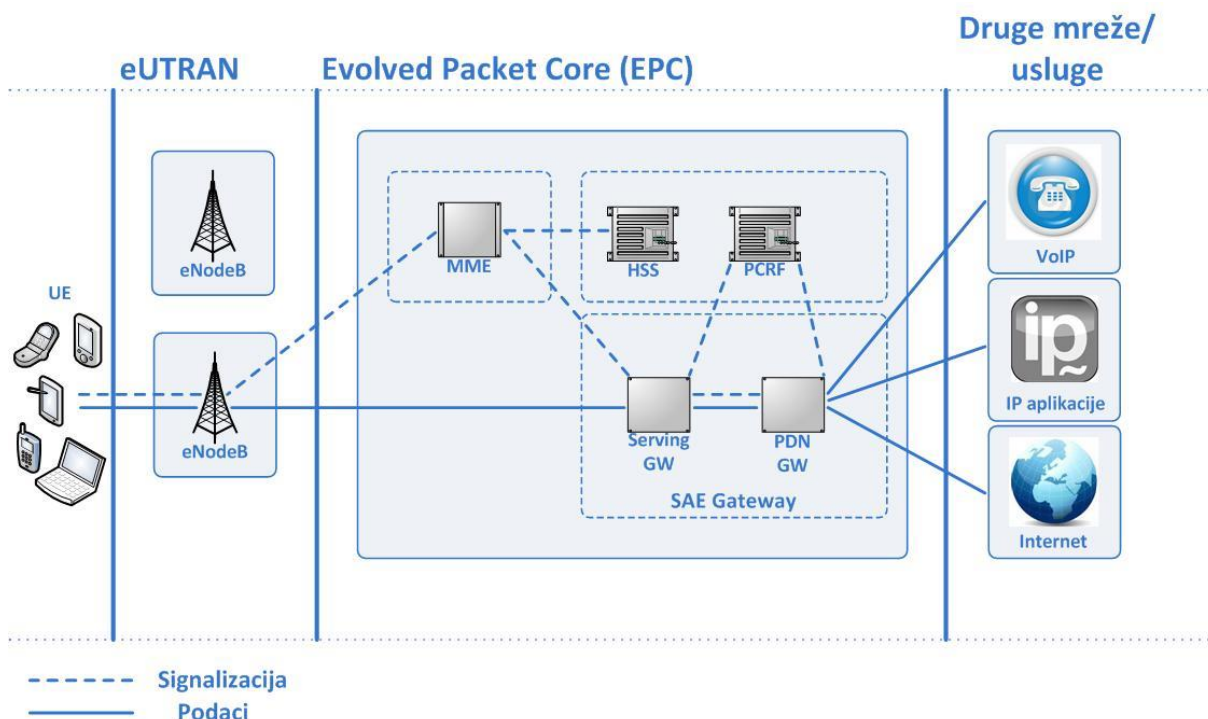
Širina silaznog prijenosnog pojasa (<i>transmission bandwidth DL</i>)	20 MHz	100 MHz
Širina uzlaznog prijenosnog pojasa (<i>transmission bandwidth UL</i>)	20 MHz	40 MHz (zahtjevi definirani od strane ITU-T-a)
Pokretljivost (<i>mobility</i>)	a) optimizirane performanse za brzine < 15 km/s b) visoke performanse za brzine do 120 km/h c) mogućnost uspostave i održavanja veze za brzine do 350 km/h	Isti zahtjevi kao i za LTE
Pokrivanje (<i>coverage</i>)	Potpune performanse do 5 km	a) Isti zahtjevi kao i za LTE b) Očekuje se dodatna optimizacija za slučajeve u lokalnom području (mikročelijama)
Skalabilnost prijenosnih pojaseva (<i>scalable bandwidths</i>)	1.3, 3, 5, 10 i 20 MHz	do 20-100 MHz
Kapacitet (<i>capacity</i>)	200 aktivnih korisnika u ćeliji pri 5 MHz	Podrška za do 3 puta više korisnika nego u LTE

EPC jezgrena mreža pokretnih sustava u potpunosti izvedena na protokolu IP. Svojim visokim performansama i kapacitetom zadovoljava zahtjeve postavljene pred LTE u vidu mogućnosti pružanja naprednih stvarno-vremenskih i medijski sadržajnih usluga, pri tome poštujući visoke standarde kvalitete doživljaja/iskustva (engl. *Quality of Experience*, QoE). LTE odvajanjem kontrolnog od podatkovnog prometa poboljšava mrežne performanse, a zbog svoje orijentacije prema protokolu IP pojednostavljuje sveukupnu složenost mrežne arhitekture. Podatkovni se promet tako na putu prema drugoj mreži nakon baznih stanica eNodeB prosljeđuje još jedino kroz pristupnike/prilaze SGW i PDN GE u okviru prilaza EPC (engl. *EPC gateway*), čime se evidentno pojednostavljuje hijerarhija podatkovnih čvorova. Slika 1.2.12. prikazuje EPC kao jezgreni dio LTE mreža nove generacije.

Uvođenje EPC-a i tzv. *All-IP* mrežne arhitekture ima snažne implikacije na mnoge aspekte pokretnih sustava:

- pokretne se usluge, bilo da je riječ o razgovoru, prijenosu podataka ili video-konferenciji, temelje isključivo na protokolu IP;
- omogućeno je povezivanje nove mrežne arhitekture sa starijim sustavima prošlih generacija pokretnih sustava;
- skalabilnost jezgrenih čvorova dramatično se povećala po pitanju ukupnog broja podržanih veza korisničkih terminala, raspoložive propusnosti i dinamičke pokretljivosti;

- od pojedinih se mrežnih čvorova prilikom izvođenja usluga očekuje snažnija dostupnost i pouzdanost;



Slika 1.2.12. Evolved Packet Core u okviru LTE mreže

Zbog ispunjenja postavljenih zahtjeva EPC napušta tradicionalne mrežne i uslužne paradigme te arhitekturu temelji na IP mreži:

- *kraj kanalske komutacije govornih usluga:* LTE svoj prijenos govorne komunikacije temelji na VoIP paradigmi odnosno prijenosu govora putem IP-a. Time je završeno razdoblje dugo više od dvadeset godina u kojem je jedna usluga diktirala arhitekturu čitave mreže. EPC tretira razgovor kao što to ovdje i je, samo jedna u nizu IP aplikacija, iako naravno jedna od izuzetno bitnih aplikacija. Njeni paketi zahtijevaju izvrsne mrežne performanse i čine jedan od najbitnijih izvora prihoda mrežnih operatora.
- *napredniji bežični širokopoljasni pristup:* LTE mora konkurirati, pa čak i nadjačati performanse i kvalitetu usluga žičnog širokopoljasnog pristupa. Ovakav se pristup poprilično razlikuje od pružanja najbolje dostupne (engl. *best-effort*) usluge pretraživanja weba i slanja SMS (*Short Message Service*) poruka – podatkovnih usluga za koje je optimizirana većina postojećih paketskih jezgri.
- *podrška za pokretljivost u potpunosti izvedena u jezgrenoj mreži:* U LTE mrežama upravljanje pokretljivošću u nadležnosti je jezgrene pokretne mreže u sklopu odgovornosti čvora MME. To je posljedica trenda koji je započet u UMTS-u kada je upravljanje pokretljivošću podijeljeno između RNC-a i NodeB/BTS-a tj. djelomično je prebačeno pod nadležnost jezgrene mreže. Kako bi MME pak bio u stanju izvršiti

dodijeljeno zaduženje, mora omogućiti međusobno povezivanje sa starijim 2G/3G pokretnim sustavima.

- *upravljanje kvalitetom usluge s kraja na kraj mreže postaje nužnost*: LTE mora omogućiti superiorno upravljanje kakvoćom s kraja na kraj mreže kako bi bilo moguće pružati zahtjevne višemedijske i stvarno-vremenske usluge. Stoga se očekuje prelazak s podjele na četiri klase usluga (engl. *Class of Service*, CoS) korištenih u 3G-u na devet QoS profila uz jasno definirane ciljne performanse (Tablica 1.2.3.). Pri tome se mora voditi računa o skalabilnosti korisnika, usluga i podatkovnih sesija.

Tablica 1.2.3. Standardizirani QoS identifikatori klasa (engl. *QoS Class Identifiers*, QCI) u LTE mrežama

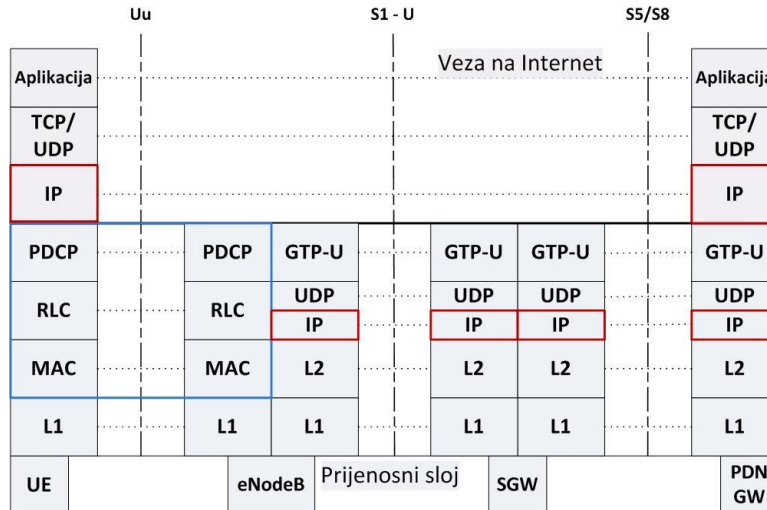
QCI	Tip resursa	Prioritet	Packet delay budget (ms)	Packet error loss rate	Primjer usluge
1	GBR	2	100	10^{-2}	Govorna komunikacija
2	GBR	4	150	10^{-3}	Video s govornom komunikacijom
3	GBR	5	300	10^{-6}	Video bez govorne komunikacije
4	GBR	3	50	10^{-3}	Igranje u stvarnom vremenu
5	ne- GBR	1	100	10^{-6}	IMS signalizacija
6	ne- GBR	7	100	10^{-3}	Govorne usluge, video, interaktivno igranje
7	ne- GBR	6	300	10^{-6}	Video
8	ne- GBR	8	300	10^{-6}	Usluge temeljene na protokolu TCP (npr. WWW, e-mail), chat, FTP, p2p razmjena podataka itd.
9	ne- GBR	9	300	10^{-6}	

- *upravljanje i provođenje politika*: Upravljanje uslugama u LTE-u zadaća je čvora/funkcije PCRF. Ovo se također ubraja u značajne razlike u odnosu na prošle pokretne sustave, gdje je upravljanje uslugama ostvarivano primarno putem autentifikacije pokretnih terminala u mreži. PCRF dinamički kontrolira i upravlja svim sesijama i pruža odgovarajuća sučelja sustavima naplate usluga te omogućuje uvođenje novih poslovnih modela.
- *LTE zahtijeva povećani kapacitet podatkovne i kontrolne protokolne ravnine*: Postojeći 2G/3G jezgri elementi ne mogu u potpunosti zadovoljiti zahtjeve postavljene pred LTE bez ozbiljnijih nadogradnji platforme. Točnije rečeno, ti elementi nisu predviđeni za obradu tako velikih kapaciteta paketa kakvi se očekuju u LTE sustavima. Ako bi se pristupilo skaliranju novonastalih zahtjeva obrade paketa na postojeće platforme, došlo bi do izrazito visoke potrošnje dostupnih kapaciteta, pojave većih kašnjenja, sveukupno nižih performansi uz dramatične kompromise na relaciji performansa i usluga. Primjerice, predviđa se da bi u slučaju usluga naplate očekivano pogoršanje performansi iznosilo i više od 50%. Ovo je samo jedan od razloga zbog

čega je arhitektura jezgrene mreže doživjela tako radikalan zaokret, iako se čak i navedene promjene ne moraju nužno smatrati konačnim rješenjem.

Korisnički protokolni složaj

Osnovna ideja pristupa Internetu ostaje ista: niži slojevi mogu se zajedno promatrati kao prijenosni sloj koji omogućuje UE-u spajanje na Internet (Slika 1.2.13.).



Slika 1.2.13. Korisnička ravnina LTE

U korisničkoj protokolnoj ravnini, protokol PDCP je zadužen za (de)kompresiju zaglavlja korisničkih IP paketa korištenjem postupka ROHC (*Robust Header Compression*), čime je omogućena učinkovita uporaba prijenosnog pojasa na zračnom sučelju. PDCP također provodi i šifriranje prometa kontrolne i korisničke ravnine protokolnog složaja.

Protokol RLC služi za formatiranje i prijenos prometa zračnim sučeljem između korisničkog terminala i čvora B, uz tri moguća različita modela pouzdanosti: režim s potvrdama (engl. *Acknowledged Mode*, AM), režim bez potvrda (engl. *Unacknowledged Mode*, UM) i transparentni režim (engl. *Transparent Mode*, TM). UM način rada pogodan je za prijenos stvarno-vremenskih usluga budući da su takve usluge osjetljive na kašnjenje i ne mogu čekati potvrde. S druge strane, AM način rada najbolje funkcionira za usluge koje se ne izvode u stvarnom vremenu, ali zahtijevaju viši stupanj pouzdanosti, poput primjerice skidanja podataka. Transparentni model se koristi kada su veličine podatkovnih jedinica (engl. *Packet Data Unit*, PDU) poznate, poput primjerice razašiljanja sistemskih informacija. Nadalje, sloj RLC omogućava sekvencijalnu dostavu uslužnih podatkovnih jedinica (engl. *Service Data Unit*, SDU) višim protokolnim slojevima te eliminira duplikate. Može također poslužiti i za njihovu segmentaciju, ovisno o uvjetima na radijskom sučelju.

Postoje dvije razine postupka retransmisije kojim se nastoji ostvariti pouzdanost prometa: hibridni automatski zahtjevi za ponavljanjem (engl. *Hybrid Automatic Repeat reQuest*, HARQ) na sloju MAC te vanjski ARQ na RLC-u. Vanjski ARQ potreban je za obradu preostalih pogrešaka koje promaknu HARQ-u koji je namjerno jednostavan i temelji se na mehanizmu dojava pogrešaka pojedinih bitova. Koristi se N-procesna zaustavi i stani

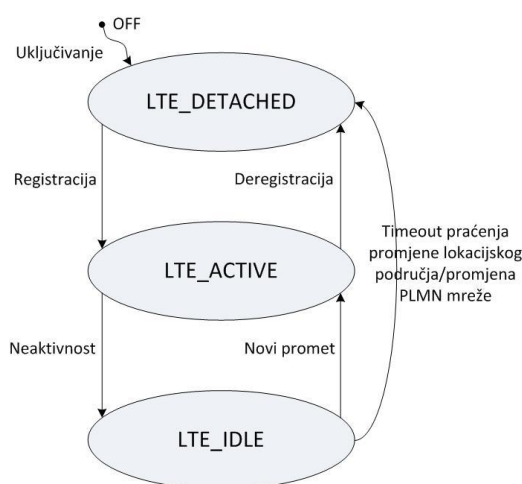
varijanta HARQ-a koja podržava asinkrone retransmisije u silaznom linku te sinkrone retransmisije u uzlaznom linku. Sinkroni HARQ znači da se retransmisije blokova odvijaju u periodičkim intervalima. Stoga, nije potrebna nikakva eksplicitna signalizacija za indicaciju poslužitelju. Asinkroni HARQ nudi fleksibilnost prilikom upravljanja retransmisijama, ovisno o dostupnim uvjetima na radijskom sučelju.

Protokol MAC izvodi preslikavanje između logičkih i transportnih kanala, upravlja korisničkim uređajima u oba smjera ovisno o njihovim relativnim prioritetima te odabire najprikladniji prijenosni format.

Fizički sloj na čvoru eNodeB odgovoran je za zaštitu podataka od pogrešaka u kanalu primjenom adaptivne modulacije i kodiranja. On također vodi računa o frekvenciji i vremenskoj sinkronizaciji te vrši radio-frekvencijsko procesiranje uključujući modulaciju i demodulaciju. Dodatno, obrađuje izvještaje mjerenja koja se provode na UE-ovima (npr. CQI) i šalje upozorenja višim slojevima.

Upravljanje pokretljivošću u LTE mrežama

Sa stanovišta pokretljivosti, UE se može naći u jednom od tri stanja (LTE_DETACHED, LTE_IDLE, i LTE_ACTIVE), kao što to prikazuje Slika 1.2.14.



Slika 1.2.14. Stanja LTE uređaja

Isključeno stanje (LTE_DETACHED) tipično je prijelazno stanje u kojem je UE uključen, ali u procesu pretraživanja mreža i svoje registracije. U aktivnom stanju (LTE_ACTIVE), UE je registriran na mrežu i ima uspostavljenu RRC vezu prema eNodeB-u. U tom stanju mreža zna u kojoj se ćeliji nalazi korisnik i može slati/primati podatke prema/od njega. U stanju mirovanja (LTE_IDLE) UE je, kao što i samo ime kaže, na mirovanju radi štednje baterije te tipično ne može izmjenjivati podatke sa mrežom. Tada se u čvoru eNodeB ne sprema nikakav kontekst o UE-u, što znači da je njegova trenutna lokacija poznata tek MME-u i to na razini područja pretraživanja (engl. *Tracking Area*, TA) koje se tipično sastoji od nekoliko eNodeB-ova. Taj je podatak poznat na temelju posljednje provedene UE-ove registracije, a za pronalaženje korisnika potrebno je provesti pozivanje nad svim ćelijama.

Pokretljivost stanja mirovanja

U stanju mirovanja UE štedi bateriju pa ne obavještava mrežu o svakoj promjeni ćelije, tako da je mreži poznata tek okvirna lokacija korisnika, točnije rečeno lokacija korisnika u okviru područja pretraživanja. Pokušajem uspostave poziva prema UE u mirovanju, mreža započinje proces njegovog pozivanja u okviru poznatog područja praćenja. U 3GPP-u su po pitanju odabira povlaštenog mehanizma traženja korisnika vođene opsežne rasprave. Jedan od kandidata, statičko nepreklapajuće pretraživanje područja, korišteno je u nekim ranijim pokretnim tehnologijama, poput primjerice GSM-a. Međutim, postoje i neke novije tehnike koje izbjegavaju tzv. *ping-pong efekt*, pravilnije raspodjeljuju TA ažuriranje po ćelijama te smanjuju agregirano TA ažuriranje. Tako se u neke od novih kandidata ubrajaju preklapajuća područja pretraživanja, višestruka područja pretraživanja i pretraživanja temeljena na udaljenosti. S vremenom je u okviru 3GPP-a donesen zaključak kako će korisničkoj opremi biti dodijeljeno pretraživanje višestrukih područja, postupak za koji se pretpostavlja da je nepreklapajući. Također odlučeno je da će se područja pretraživanja odvajati u LTE-u i starijim mrežama. Primjerice, eNodeB i UMTS Node-B spadati će pod različita područja pretraživanja kako bi se pojednostavnilo upravljanje pokretljivošću korisničke opreme kada dotična pređe granice između 3GPP pristupnih tehnologija. Mrežni operatori će uvoditi LTE kroz faze i uz postojeće 3GPP tehnologije kao što su HSDPA, UMTS, EDGE i GPRS. Između njih će nužno postojati veze, a 3GPP je razvio načine kako u situacijama prelaska korisničkog terminala, koji podržava različite pristupne tehnologije dok je u stanju mirovanja između različitih pristupnih mreža, smanjiti signalizaciju. Osnovni cilj je zadržati UE u stanju mirovanja na različitim tehnologijama; primjerice, LTE_IDLE u LTE mrežama i PMM_IDLE u UMTS/GPRS mrežama te voditi računa da se prilikom kretanja korisnika između mreža ne provodi ažuriranje područja pretraživanja ili područja usmjeravanja. Kako bi se to postiglo, UE-u se dodjeljuje oznaka i u TA i u RA. Nadalje, dok god se korisnička oprema kreće između ćelija (moguće različitih pristupnih rješenja) koje razasijaju informaciju o ažuriranju TA odnosno RA identiteta, UE to ne provodi. Kada novi promet stigne do UE-a, vrši se njegovo pozivanje u obje tehnologije te ovisno o tome u kojoj se pristupnoj mreži nalazi, podaci mu se prosljeđuju kroz nju. Opisani postupci koordinacije i mogućnosti pozivanja korisnika u različitim tehnologijama istodobno neće biti mogući sa drugim vrstama pristupnih mreža, točnije rečeno sa pristupnim tehnologijama standardiziranim od strane drugih tijela poput 3GPP2 ili IEEE. Stoga će implementacija pokretljivosti između LTE-a i tehnologija koje nisu pod okriljem 3GPP-a uključivati signalizaciju koja će upozoravati na promjenu pristupnih tehnologija.

Pokretljivost u stanju povezanosti

U stanju LTE_ACTIVE, dok se UE kreće između dvije ćelije, pokreće se postupak povratnog ili prediktivnog prekapčanja. U ovoj vrsti prekapčanja izvorišna ćelija na temelju mjerenja provedenih od strane UE-a određuje odredišnu ćeliju i prema njoj šalje upite ukoliko raspolaže s dovoljno resursa za smještaj UE-a. Odredišna ćelija također priprema radijske resurse prije nego li izvorišna ćelija pokrene prekapčanje prema njoj. U LTE-u međupohrana podataka u silaznom linku odvija se na čvoru eNodeB zbog činjenice da se protokol RLC na njemu zaustavlja. Zbog toga su mehanizmi zaduženi za sprečavanje gubitka podataka tijekom prekapčanja unutar eNodeB-a dodatno potrebni u odnosu na UMTS arhitekturu gdje se

međupohrana odvija na centraliziranom radijskom kontroleru RNC te su prekapčanja unutar RNC-a rjeđa. Predložena su dva mehanizma čija je zadaća sprečavanje gubitaka tijekom prekapčanja: prosljeđivanje međuspremnik i *bi-casting*. U postupku prosljeđivanja međuspremnik, kada se donese odluka o provedbi prekapčanja, izvorišni eNodeB prosljeđuje spremljene podatke prema odredišnom eNodeB-u. Tijekom *bi-castinga* SGW prosljeđuje pakete skupu eNodeB-ova koji su kandidati da postanu novi uslužni eNodeB, uključujući i trenutni uslužni eNodeB. Ovakvo rješenje zahtijeva značajno veći prijenosni pojas, no svejedno ne garantira da će se izbjeći gubici. Dapače, odluka o tome kada započeti s *bi-castingom* vrlo je važna, jer ako se započne prerano nužan rezultat je povećana potražnja za prijenosnim kapacitetom. Započne li se prekasno, slijedi neizbježan gubitak podataka. Stoga je 3GPP izabrao prosljeđivanje međuspremnik kao mehanizam zadužen za sprečavanja gubitaka podataka tijekom prekapčanja u okviru LTE-a. Izvorišni eNodeB može odlučiti hoće li ili neće različito tretirati promet, tj. primjerice koristiti prosljeđivanje podataka za nestvarno-vremenske aplikacije odnosno izbjeći ga za stvarno-vremenske primjene. Sljedeće vrlo bitno pitanje je treba li prilikom prekapčanja ostvariti puni prijenos RLC konteksta između ćelija ili je bolje RLC kontekst svaki put vratiti u početno stanje. Zbog kompleksnosti prijenosa RLC konteksta tijekom prekapčanja kao rješenje se nameće resetiranje. Međutim, u tom se slučaju djelomično prenesene RLC podatkovne jedinice moraju ponovno slati što rezultira vrlo neefikasnom uporabom radijskih resursa. Uz pretpostavku da će se resetiranje RLC-a vršiti prilikom svakog postupka prekapčanja, razmatra se novo pitanje, a to je trebaju li se prema odredišnom eNodeB-u prenositi samo nepotvrđene uslužne podatkovne jedinice ili sav sadržaj pohranjen u međuspremniku, počevši od prve nepotvrđene uslužne podatkovne jedinice. U okviru 3GPP-a donesena je odluka da se u konkretnoj situaciji tijekom prekapčanja u silaznom linku prema odredišnom eNodeB-u prenose samo nepotvrđene PDCP uslužne podatkovne jedinice. To isto tako znači da se šifriranje i kompresija zaglavlja uvijek izvode na onom eNodeB-u koji šalje podatke preko radijskog sučelja.

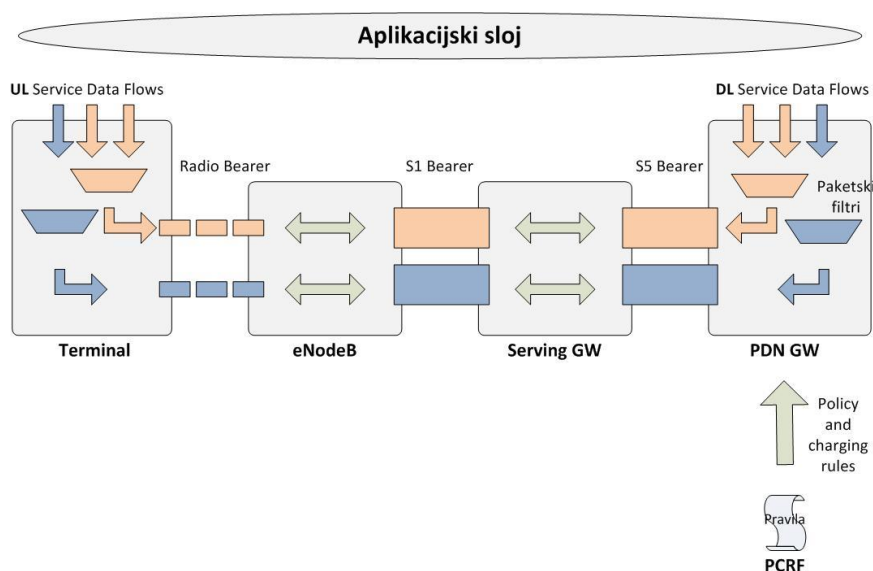
Uspostava komunikacije u mreži LTE

Prilikom uspostave komunikacije potrebno je definirati EPS-nositelja koji odgovara PDP-kontekstu u mrežama 2G/3G. Na UE može biti istodobno pokrenuto nekoliko usluga i aplikacija, svaka s različitim zahtjevima na kvalitetu usluge. Primjerice, UE može istodobno sudjelovati u VoIP pozivu i recimo pregledavati web stranice ili skidati datoteku putem protokola FTP. Usluga poput VoIP-a ima puno strože zahtjeve po pitanju kašnjenja i promjena u kašnjenju od pregledavanja weba ili razmjene podataka, ali zato nije toliko kritično ukoliko se u prijenosu izgubi poneki paket. Kako bi se pružila što bolja podrška za različite zahtjeve kvalitete različitih usluga, moguće je u okviru jednog EPS-nositelja agregirati jedan ili više podatkovnih tokova. Za početak, valja naglasiti kako se EPS-nositelji ugrubo mogu podijeliti u dvije kategorije:

- Minimum GBR (*Guaranteed Bit Rate*) nositelji: Koriste se kod aplikacija kao što je VoIP. Sadrže pridruženu GBR vrijednost po kojoj se trajno dodjeljuju transmisijski resursi namijenjeni za pojedinu uslugu. Naravno, ukoliko su neki resursi dostupni u većim vrijednostima od propisanih također mogu biti prihvaćeni od strane odgovarajućih EPS-nositelja.

- Ne-GBR nositelji: Ne garantiraju nikakve brzine prijenosa. Pogodni su kod aplikacija poput pregledavanja web stranica ili prijenosa podataka putem protokola FTP. Za takve se nositelje nikakvi resursi ne zauzimaju unaprijed.

EPS-nositelj se kao logički koncept odnosi na relaciju između korisničkog terminala i PDN pristupnika/prilaza (GTP S5/S8) odnosno terminala i uslužnog prilaza (PMIP S5/S8). Kao što je već navedeno, EPS-nositelj može uključivati jedan ili više podatkovnih tokova, što je i prikazano na Slici 1.2.15.



Slika 1.2.15. EPS-nositelj

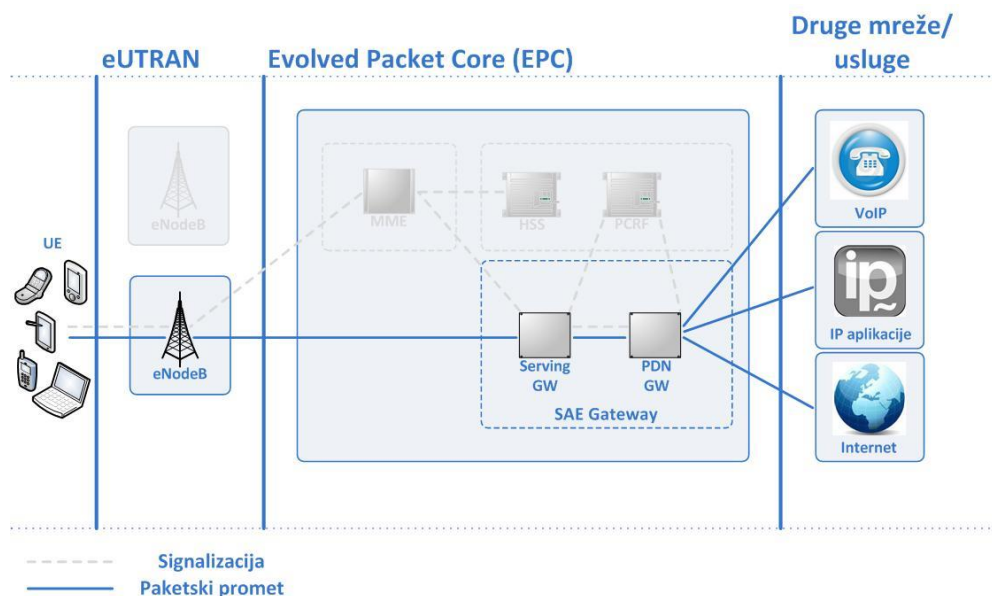
EPS-nositelj sastoji se od sljedeća tri elementa:

- *nositelja S5*: implementiran u okviru tunela kojim se prenose paketi između poslužujućeg (SGW) i podatkovnog (PDN GW) pristupnika/prilaza.
- *nositelja S1*: implementiran u okviru tunela koji prenosi podatke na relaciji eNodeB-SGW.
- *radijskog nositelja*: implementiran u okviru RLC veze između čvora eNodeB i korisničkog terminala. Po jednom radijskom nositelju postoji jedan RLC uređaj.

Osnovni podatkovni tokovi koji se prenose putem EPS-nositelja nazivaju se uslužni podatkovni tokovi (engl. *Service Data Flow*, SDF). Svaki od njih karakteriziran je IP petorkom: *izvorišna IP adresa*, *odredišna IP adresa*, *izvorišna vrata*, *odredišna vrata* i *identifikator protokola iznad IP-a*. Ona pak predstavlja rubne točke IP komunikacije, ali i tip usluge odnosno aplikacije koja se koristi. U praktičnom smislu, SDF može označavati konekciju za spajanje na Internet ili slanje elektroničke pošte.

EPS-nositelj posjeduje podatak o dogovorenoj kvaliteti usluge u okviru jezgrene mreže EPC i pristupne mreže E-UTRAN. To znači da će se na sve uslužne podatkovne tokove koji se prenose preko istog EPS nositelja odnositi ista pravila raspoređivanja paketa, isti prioriteti,

ista RLC konfiguracija E-UTRAN-a itd. Želi li se za dva SDF-a postići različita razna kvalitete usluge potrebno je uspostaviti dva različita EPS-nositelja. Dodatno, PDN GW može propisati politiku po kojoj će funkcionirati paketski filtri na razini SDF-a (u okviru EPS-nositelja) na temelju pravila koja je propisao čvor PCRF. Paketski filtri koji se tiču pojedinog EPS-nositelja nazivaju se uzorci prometnoga toka (engl. *Traffic Flow Template*, TFT). Oni rade tako da pregledavaju informacije iz IP zaglavlja, poput izvorišne i odredišne IP adrese te TCP portova i na temelju toga filtriraju pakete pojedinih usluga. Tako se primjerice može razdvojiti promet VoIP usluge od recimo usluge pregledavanja web stranica, jasno razlikujući njihove postavke po pitanju kvalitete usluge.



Slika 1.2.16. Uspostava komunikacije u mreži 4G

Korisničkom se uređaju tijekom spajanja na mrežu PGW u okviru uspostave podrazumijevanog EPS-nositelja (engl. *default EPS bearer*) dodjeljuje IP adresa. Početni EPS nositelj ostaje uspostavljen tijekom cijelog trajanja veze na podatkovnu mrežu (npr. Internet) kako bi UE-u omogućio trajnu IP konekciju. Inicijalne postavke kvalitete usluge podrazumijevanog EPS nositelja dodjeljuje MME na temelju podataka dohvaćenih iz baze podataka HSS. PCEF te vrijednosti može promijeniti tijekom interakcije sa PCRF-om ili u skladu sa lokalnom konfiguracijom. Nakon povezivanja na mrežu moguće je uspostaviti još nekoliko novih, dediceranih EPS-nositelja (engl. *dedicated EPS bearer*). Oni za razliku od podrazumijevanog, koji može biti samo tipa ne-GBR, mogu ovisno o usluzi na koju se odnose biti ili GBR ili ne-GBR. Razlike između podrazumijevanog i dediceranog EPS nositelja trebale bi biti transparentne u pristupnoj mreži. Opisani postupak dosta podsjeća na uspostavu primarnog i sekundarnih PDP konteksta u mreži UMTS, no bitno je naglasiti kako se optimizacijama u LTE-u broj razmijenjenih signalnih poruka smanjio tako da je ovdje u konačnici brži i jednostavniji.

Bilo koja usluga dostupna u LTE mrežama temelji se na protokolu IP, što znači da su ovdje uspostava poziva ili spajanje na Internet u srži samo različite varijante IP aplikacija. Princip prijenosa podataka i govora ovdje se značajno razlikuje od ranijih generacija pokretnih

sustava. Paketi koji čine podatkovni promet odabrane usluge izmjenjuju se na relaciji UE-eNodeB-SGW-PDN GW te dalje prema računalu u Internetu ili IP telefonskom uređaju (Slika 1.2.16.). Ovisno o tipu usluge i zahtjevima o kvaliteti opisanim postupkom uspostavlja se odgovarajući EPS-nositelj, a u okviru njega adekvatni uslužni podatkovni tokovi.

Literatura

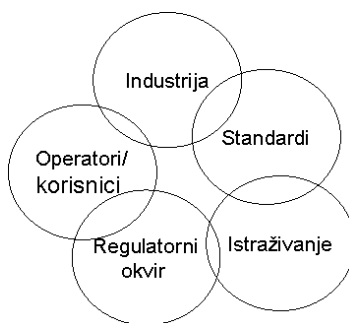
- [1] Bažant, A. i dr. Osnovne arhitekture mreža. 2. izdanje. Zagreb: Element, 2007.
- [2] Skorin-Kapov, L. Mošmondor, M. Matijašević, M. Vilendečić, D. Podrška kvalitete usluge za umreženu virtualnu stvarnost u sustavu UMTS. Ericsson Nikola Tesla Revija. 18(2005), str. 43-45.
- [3] Rumney, M. 3GPP LTE: Introducing Single-Carrier FDMA, Agilent Technologies, 2008.
- [4] Introduction to Evolved Packet Core, White paper, Alcatel Lucent, 2009.
- [5] LTE: An introduction, Ericsson, 2009.
- [6] Long Term Evolution: A technical overview, Technical white paper, Motorola, 2007.
- [7] K. N Shantha Kumar, Madhu Kata, Paruchuri Chaitanya, Dinesh Mukkollu, LTE Advanced: Future of mobile broadband, Tata Consultancy Services, 2009.
- [8] Charting the course for mobile broadband: Heading towards high-performance All-IP with LTE-SAE, Nokia Siemens Networks, 2008.
- [9] Sesia, S., Toufik, I., Baker, M. LTE - The UMTS Long Term Evolution: From theory to practice, Wiley, 2010.
- [10] 3G/UMTS Evolution: towards a new generation of broadband mobile services, UMTS Forum, 2006.
- [11] Mobile broadband evolution: the roadmap from HSPA to LTE, UMTS Forum, 2009.
- [12] Lescuyer, P., Lucidarme, T. Evolved packet system (EPS): the LTE and SAE evolution of 3G UMTS, Wiley, 2008.
- [13] Sudrajat, D. LTE packet services, 2010.
- [14] Walke, B. H., Seidenberg, P., Althoff, M. P. UMTS: The Fundamentals, Wiley, 2002.
- [15] 3GPP, <http://www.3gpp.org/>

1.3. Optička transmisijaska mreža

Optička transmisijaska mreža predstavlja danas dominantni dio telekomunikacijske jezgrene mreže u domeni prijenosa. U pristupnoj mreži optička mreža tek treba izboriti dominantni položaj s vrlo izvjesnom perspektivom da će se to stvarno i dogoditi. Optički se prijenos, gledano evolucijski, najprije uvodio u segmentima jezgrene mreže zbog njezine prednosti i ekonomičnosti u prijenosu velikih kapaciteta koji se mogu postići agregiranjem prometa iz pristupnih mreža. Povećanjem zahtjeva korisnika za pojasom, odnosno za povećanjem brzina prijenosa koje mogu podržati nove širokopojasne usluge, ekonomičnost primjene optičkog prijenosa širi se u pristupnu mrežu sve bliže korisniku odnosno krajnjem korisničkom terminalu. Za jezgrenu i pristupnu mrežu vrijede različiti odnosi primijenjene tehnologije i cijene ovisno o udaljenostima na kojima se prenose informacije, te potrebnom kapacitetu.

Danas se osim jezgrene i pristupne optičke mreže kao poseban segment promatra i metro optička mreža kao mreža koja povezuje jezgrenu i pristupnu mrežu ali s drugačijom tehnološkom argumentacijom. Po funkcionalnosti se metro mreža može smatrati bližom jezgrenoj mreži od koje se bitno razlikuje po reduciranim udaljenostima. S druge strane optička se tehnologija primjenjuje optičkim mrežama kratkog dometa odnosno kućnim mrežama. Iako ove mreže u načelu nisu javne mreže važno je pratiti njihovu tehnologiju i standardizaciju radi kompatibilnosti s optičkim pristupnim mrežama.

Razvoj fotoničkih komponenta i uređaja za optički prijenos i komutaciju, arhitekture i protokoli u optičkoj mreži, izgradnja mreže, kvaliteta i pouzdanost mreže može se analizirati s različitih aspekata odnosno postoji veći broj pogleda koji odražavaju interese pojedinih grupa. Da bi se razumio razvoj mreže i odnosi pojedinih „igrača“ treba razumjeti njihove, često suprotstavljene, interese. Ovisno o specifičnim interesima svaki igrač drugačije doživljava evoluciju mreže (Slika 1.3.1.).

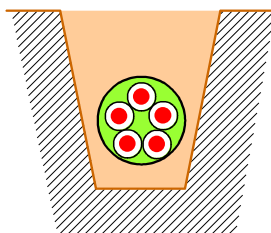


Slika 1.3.1. Faktori koji utječu na evoluciju mreže

Osim navedenih pogleda na razvoj mreže danas se više ne može zanemarivati energetska aspekt odnosno pitanje potrošnje energije za potrebe komunikacija a time i utjecaj na okoliš i emisiju CO₂. Prema podacima iz 2007. uređaji komunikacijske mreže trošili su 22 GW snage odnosno 1% globalne potrošnje, a cijeli ICT sektor 156 GW ili 8% globalne potrošnje električne energije. U 2020. ovi postoci bi narasli na 3% odnosno 15%.

U ovom segmentu izvješća razmotriti će se detaljnije tehnološki aspekti razvoja optičke pristupne mreže, posla sljedećeg desetljeća u telekomunikacijskom sektoru. Razlog tome jest

da današnja optička jezgrena mreža, posao prošla 2 desetljeća, može uglavnom zadovoljiti trenutne potrebe za kapacitetom. Taj je kapacitet, osim u instaliranim optičkim vezama, sadržan i u položenim optičkim nitima (engl. *dark fibres*) ali bez krajnjih uređaja. Višak optičkih niti proizašao je iz visoke cijene zemljanih i ostalih radova polaganja optičkih kabela što je uzrokovalo da je jeftinije položiti jednokratno kabel s viškom niti nego ponovo kopati za proširenje kapaciteta. Postojeće tamne niti, na sreću, mogu se iskoristiti za povećanje kapaciteta dodavanjem novih krajnjih uređaja najnovije generacije. Novi kabeli s novim nitima poboljšanih karakteristikama mogu se do neke mjere instalirati u postojeće cijevi uz racionalno korištenje postojeće infrastrukture (Slika 1.3.2.):



Slika 1.3.2. Optički kabeli uvučeni u PEHD cijevi unutar jedne veće PVC cijevi

Utjecaj razvoja pristupne mreže i povećanje prometa, koji generiraju novi sadržaji širokopoljnih usluga, na agregirani promet u jezgrenoj mreži, dovest će prije ili kasnije u zasićenje postojeće mogućnosti prijenosa. Tada će se postaviti zahtjevi za značajnijim novim kapacitetima jezgrene mreže koja će se temeljiti na novim tehnološkim rješenjima.

1.3.1. Pristupne optičke mreže sljedeće generacije

Razvoj optičke pristupne mreže u RH treba, između ostalog, promatrati u kontekstu činjenice da će RH uskoro pristupiti Europskoj Uniji i da se današnje smjernice EU za razvoj *pristupne mreže sljedeće generacije* (engl. *Next Generation Access Networks*, NGA) odnose i na RH.

Prema nacrtu preporuke Europske komisije o regulatornom pristupu *pristupnim mrežama sljedeće generacije* (engl. *Regulated access to Next Generation Access Networks*) „Pristupne mreže sljedeće generacije su mreže koje povezuju krajnje korisnike i jezgrenu mrežu, a grade se u cijelosti ili u dijelovima koristeći postojeću lokalnu pristupnu infrastrukturu i tehnologije i/ili novu optičku infrastrukturu, a takve mreže su u mogućnosti ponuditi širokopoljne usluge u pristupu s pojasevima značajno većim od onih koji su trenutno široko dostupni.“

Gledano s tehničke strane postoje brojni scenariji razvoja buduće NGA koji variraju čak unutar pojedinih zemalja a još više između različitih zemalja EU. Vjerojatno je da je najefikasnija strategija za izgradnju NGA mješavina tehnologija da bi se isporučivale usluge ovisno o specifičnim lokalnim karakteristikama koje uključuju:

- bakrenu lokalnu petlju i njihove duljine,
- gustoću korisnika i njihovu disperziju,
- prisutnost stambenih zgrada, te

- kvalitetu i topologiju postojeće arhitekture mreže, posebno broj uličnih kabineta po glavnom razdjelniku (MDF) i raspoloživ kapacitet cijevi.

U navedenoj preporuci razlikuju se dva osnovna oblika optičkog pristupa sljedeće generacije (Fibre to the x – FTTx) u ovisnosti koliko je blizu optička nit dovedena krajnjem korisniku:

1. *Fibre to the home* – FTTH koji uključuje *Fibre to the building* – FTTB, gdje je optička nit instalirana do koncentracijske točke blizu zgrade, i
2. *Fibre to the cabinet* – FTTCab ili *Fibre to the node* – FTTN gdje je koncentracijska točka između centrale i korisnika s time da se dio funkcionalnosti iz centrale kao i glavni razdjelnik seli u čvor bliži korisniku.

Glavni pravac izgradnje NGA sastoji se u polaganju optičke niti umjesto fiksne žičane infrastrukture (bakar i kabeli) i novih optičkih mreža. Očekuje se primjena i drugih tehnologija isporuke širokopojasnih usluga kao što su bežične, ali će dominirati prijenos optičkim nitima s daleko većim pojasevima u dvosmjernom prijenosu.

FTTH

FTTH omogućuje silazne brzine do korisnika od 70 Mbit/s i više, s postojećim tehnologijama, a dugoročno s naprednim ftoničkim uređajima za korisnika praktički neograničen spektar. Na raspolaganju će biti različite konfiguracije uključujući simetrični i garantirani pojas velikih brzina.

Tehnička realizacija prijenosa za navedene arhitekture svodi se na dva osnovna oblika: prijenos svjetlovodnom niti *od točke do točke* (P2P) s predodređenom niti za svakog krajnjeg korisnika i prijenos *od točke do više točaka* (P2MP) koji se koristi kod pasivnih optičkih mreža (PON) gdje više krajnjih korisnika dijele istu nit. P2P prijenos osigurava simetričan praktički neograničen pojas za korisnika i neovisnost o prijenosu prema drugim korisnicima. Promjenom krajnjih uređaja kapaciteti se mogu u budućnosti još povećati. PON omogućuje trenutno brzinu do 100 Mbit/s koja se dijeli između krajnjih korisnika, a u budućnosti vjerojatno brzinu do 2 Gbit/s uz primjenu postupka multipleksiranja s valnom podjelom (WDM). Izbor arhitekture je balansiran s obzirom na troškove. Općenito, PON može imati manje operativne troškove radova polaganja svjetlovodnih niti zbog njihovog manjeg broja, nasuprot manjih troškova radova i održavanja u zgradi za P2P. Zasada prevladava prijenos P2P ali se očekuje u budućnosti PON pristup.

FTTN

U FTTN arhitekturi optička se nit proteže do uličnog kabineta dok se do korisnika koristi bakreni vodič. Ova tehnika omogućuje silazne brzine prijenosa prema korisniku tipično od 20 Mbit/s (teorijski maksimum je 100 Mbits), a 5 Mbit/s uzlazne brzine prijenosa po korisniku ovisno o duljini i kvaliteti bakrene korisničke petlje.

Nekoliko glavnih faktora stimuliraju investicije operatora u NGA:

1. Prijelaz na NGA može bitno smanjiti troškove. Oba pristupa, FTTH i FTTN, smanjuju operativne troškove zbog njihove superiornosti u pogledu pouzdanosti i održavanja, u odnosu na bakrenu mrežu. Za FTTH uštede mogu iznositi do 70% postojećih operativnih troškova. Doduše, ovako velike uštede se mogu postići ako se bakrena pristupna mreža isključi i krajnji korisnici migriraju u optičku mrežu. Veliki udio ovih ušteda ostvarit će stari operator.

2. Veliki pojas koji nudi NGA može voditi prema razvoju novih tržišta i povećanju dobiti. Potencijalne usluge su raznovrsne i uključuju zahtjev za simetričnim Internetskim pristupom, većom pouzdanošću kao i većim pojasom i novim uslugama koje uključuju sadržaje visoke definicije (TV, video igre i sadržaji koje generira korisnik).

3. Investicija u NGA može biti strateški odziv na pojavu konkurentskih mreža i potencijalnu mogućnost smanjenja udjela na tržištu. To se posebno odnosi na stare operatore u slučaju jake konkurencije novih operatora s alternativnom infrastrukturom koja koristi LLU ili potpuno alternativnih operatora s kraja na kraj (kabelskih ili bežičnih).

4. Investicija u NGA može omogućiti operatoru kontrolu regulatorne aktivnosti kroz deliberalizaciju izbora i oblikovanja novih mrežnih topologija i pristupnih proizvoda za veleprodaju. Ovakva kontrola može biti primamljiva za operatora kako bi sam mogao odabrati mrežnu arhitekturu i tako utvrditi svoju tržišnu poziciju.

Može se očekivati da mješavina navedenih faktora ili njihove važnosti variraju od zemlje do zemlje EU, između različitih operatora, kao i da se mijenjaju u vremenu. Poticaji investicijama variraju također ovisno o tome radi li se o *greenfield* područjima ili područjima s postojećom mrežom.

Literatura

[1] Commission Staff Working Document, Explanatory Note, Accompanying document to the commission recommendation on regulated access to Next Generation Access Networks, (NGA), draft, Brussels, 2008.

[2] FP7 BONE project, Roadmap of the evolution of photonic networks within Europe, ver. BONERoadmap_update 2.ppt, 2010.

1.4. Širokopojasni pristup u ruralnim područjima

Razvoj suvremenog informacijskog društva temelji se na razvoju novih informacijskih i komunikacijskih (engl. *Information and communication technologies*, ICT) tehnologija, a širokopojasne pristupne tehnologije osiguravaju pretpostavke za široku primjenu novih tehnologija. Kako širokopojasne pristupne tehnologije nedvojbeno potiču gospodarski rast,

Republika Hrvatska, poput svih država čiji je cilj postati konkurentnima na svjetskom tržištu, potiče razvoj takvih tehnologija.

Nedovoljna i neravnomjerna dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu može uzrokovati tzv. digitalni jaz, što za posljedicu može imati značajne razlike u razvoju te zaostajanje razvoja gospodarstava određenih područja. Ovo je posebno izraženo u ruralnim područjima gdje je nedovoljno razvijena mrežna infrastruktura, a broj stanovnika i gustoća naseljenosti te dobna, obrazovna i ekonomska struktura stanovništva dodatno usporavaju razvoj širokopojasnog pristupa Internetu. Stoga je stvaranje uvjeta ravnomjernog razvoja širokopojasnog pristupa Internetu od nacionalnog interesa za Republiku Hrvatsku, a tehnološko-ekonomska analiza temelj za izradu strateškog plana ravnomjernog uvođenja širokopojasnog pristupa u sve dijelove Republike Hrvatske.

1.4.1. Karakteristike ruralnih područja Republike Hrvatske

Ruralna područja su područja koja obuhvaćaju seoska naselja, poljoprivredne površine i šume, kao i sva ostala područja s naglašenim prirodnim karakteristikama pejzaža. U njih se često ubrajaju i naselja s prijelaznim urbano-ruralnim karakteristikama, vezana uz urbana naselja. Ruralna područja u Republici Hrvatskoj nastajala su kao posljedica reljefa, povijesnih zbivanja, demografskog i gospodarskog ustroja.

Za mjerenje ruralnosti određenog prostora najčešće se primjenjuje jedna od sljedećih skupina mjera – kvantitativna ili kvalitativna. Kao kvantitativna mjera uzima se često gustoća naseljenosti određenog područja, a kao kvalitativna stil života stanovništva.

OECD i EU uzimaju za mjeru ruralnosti gustoću stanovništva na određenom području. Prema tim kriterijima ruralna područja su područja s gustoćom naseljenosti ispod:

- 150 stanovnika/km² (KRITERIJ OECD-a), odnosno
- 100 stanovnika/km² (KRITERIJ EU-a).

Ako se na prostor Republike Hrvatske primjene ovi kriteriji, tada se prostor Republike Hrvatske može podijeliti na urbani i ruralni prostor kao što je prikazano u Tablici 1.4.1.

Tablica 1.4.1. Primjena kriterija ruralnosti na prostor Republike Hrvatske

	OECD kriterij		EU kriterij	
	km ²	%	km ²	%
Ruralni prostor	51 872	91,6	47 895	84,6
Urbani prostor	4 731	8,4	8 708	15,4
Ukupno	56 603	100,0	56 603	100,0

Prema EU kriteriju ruralnosti, od ukupno dvadeset i jedne županije u Republici Hrvatskoj, čak petnaest županija je ruralno, kako je prikazano u Tablici 1.4.2.

Tablica 1.4.2. Ruralne hrvatske županije

	Županija	Gustoća naseljenosti (br. stanovnika/km ²)	EU kriterij ruralnosti
1.	LIČKO-SENJSKA	10,0	RURALNA
2.	ŠIBENSKO-KNINSKA	37,8	RURALNA
3.	KARLOVAČKA	39,1	RURALNA
4.	SISAČKO-MOSLAVAČKA	41,5	RURALNA
5.	ZADARSKA	44,4	RURALNA
6.	VIROVITIČKO-PODRAVSKA	46,1	RURALNA
7.	POŽEŠKO-SLAVONSKA	47,1	RURALNA
8.	BJELOVARSKO-BILOGORSKA	50,4	RURALNA
9.	DUBROVAČKO-NERETVANSKA	68,8	RURALNA
10.	KOPRIVNIČKO-KRIŽEVAČKA	71,2	RURALNA
11.	ISTARSKA	73,4	RURALNA
12.	OSJEČKO-BARANJSKA	79,5	RURALNA
13.	VUKOVARSKO-SRIJEMSKA	83,4	RURALNA
14.	PRIMORSKO-GORANSKA	85,2	RURALNA
15.	BRODSKO-POSAVSKA	87,1	RURALNA
16.	ZAGREBAČKA	101,2	URBANA
17.	SPLITSKO-DALMATINSKA	102,1	URBANA
18.	KRAPINSKO-ZAGORSKA	115,9	URBANA
19.	VARAŽDINSKA	146,5	URBANA
20.	MEĐIMURSKA	162,4	URBANA
21.	GRAD ZAGREB	1214,9	URBANA

U šest hrvatskih županija postotak stanovništva koji živi u ruralnim zajednicama kreće se od 15 do 20%, što te županije svrstava u značajno ruralne. Samo je jedna županija – grad Zagreb – pretežno urbana, budući da u njoj manje od 15% stanovništva živi u ruralnim zajednicama [3].

1.4.2. Karakteristike naseljenosti u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska se ističe među europskim zemljama kao jedna od rijetkih koja ima izuzetno velik broj naselja. Prema obliku, veličini i funkcijama naselja se dijele na gradska (ili urbana), prijelazna (ili mješovita) i seoska (ili ruralna).

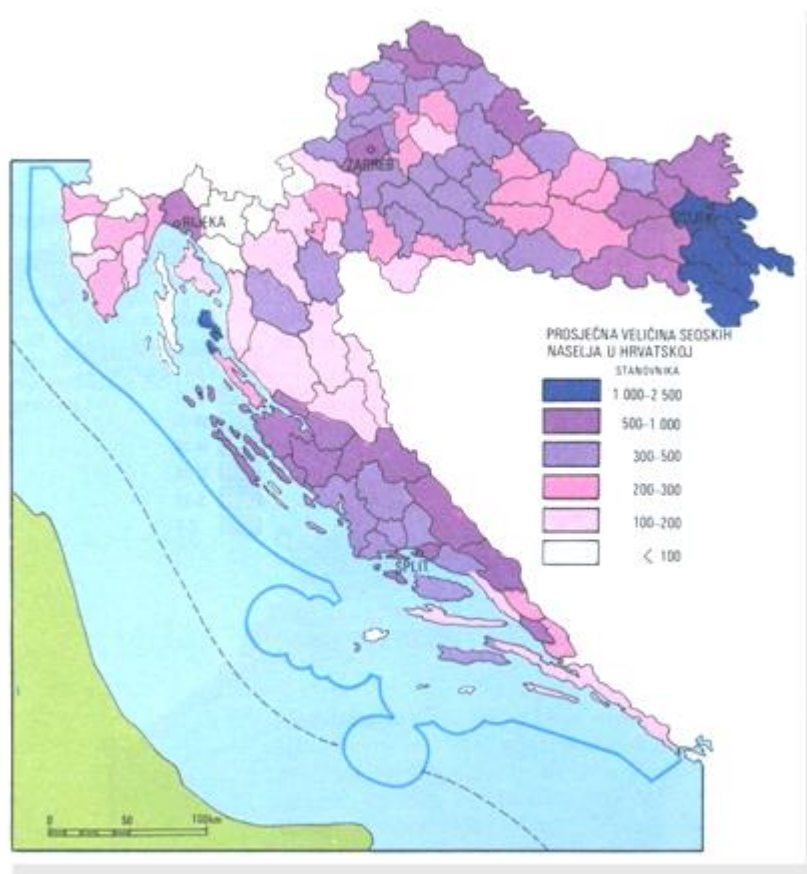
Tijekom prošlog stoljeća u Hrvatskoj su se stihijski naseljavali gradovi, a udio gradskog stanovništva i dalje kontinuirano raste, čime se neprestano povećava stupanj urbanizacije. Istovremeno, javlja se proces deruralizacije, odnosno napuštanja sela kao mjesta stanovanja, čime se smanjuje udio seoskog stanovništva.

Prema statističkim informacijama iz prosinca 2009. godine, u Republici Hrvatskoj postoji 6 753 naselja, a od toga su 127 grada [9]. Najbrojnija su seoska naselja, ali u njima živi mali postotak stanovništva, dok najveći postotak stanovnika živi u gradovima. Danas postoje jako velike razlike između snažno urbaniziranih prostora oko velikih gradova i većine izrazito ruralnog prostora države.

1.4.3. Obilježja ruralnih prostora

Prema statističkim informacijama (prosinac 2009.) sela su činila 98% od ukupno 6 753 naselja [9]. Prosječni broj stanovnika sela bio je nešto manji od 300. Iako je udio sela u ukupnom broju naselja vrlo velik, u njima ipak živi manje od polovine ukupnog broja stanovnika, pa su sela u Republici Hrvatskoj prema broju stanovnika znatno ispod prosjeka većine europskih zemalja.

Za Republiku Hrvatsku je karakteristična usitnjenost sela i to je jedna od temeljnih značajki karte naseljenosti. Tome u prilog govore podaci kako 30% sela ima manje od sto stanovnika, a 80% seoskih i mješovitih naselja ima manje od petsto stanovnika. Dakle, u Republici Hrvatskoj prevladavaju mala seoska naselja. Ova karakteristična usitnjenost sela posljedica je procesa deagrarnizacije, deruralizacije i starenja seoskog stanovništva. To su procesi koji će se nastaviti odvijati i u budućnosti, pa je potrebno provoditi ciljanu revitalizaciju tih naselja.



Slika 1.4.1. Prikaz prosječne veličine hrvatskih seoskih naselja

Mnoga povijesna zbivanja uvjetovala su razlike u prosječnim veličinama i tipovima ruralnih naselja. U Republici Hrvatskoj prevladavaju uglavnom stalna sela, dok je malo privremenih ili periodičnih. Zastupljeni su sljedeći oblici seoskih naselja: osamljena gospodarstva, disperzna sela (*raštrkana, raspršena*) i zbijena ili grupirana sela (*kružna, izdužena, pravokutna i dr.*). U sastavu naselja ruralnih županija postoje različiti tipovi ruralnih naselja - prigradska naselja, raštrkana naselja i seoska gospodarstva.

Prigradska naselja obuhvaćaju zbijena naselja udaljena najviše desetak kilometara od većih gradskih središta. Većina potencijalnih korisnika određene širokopojasne pristupne usluge nalazi se u blizini mjesta pristupa mreži.

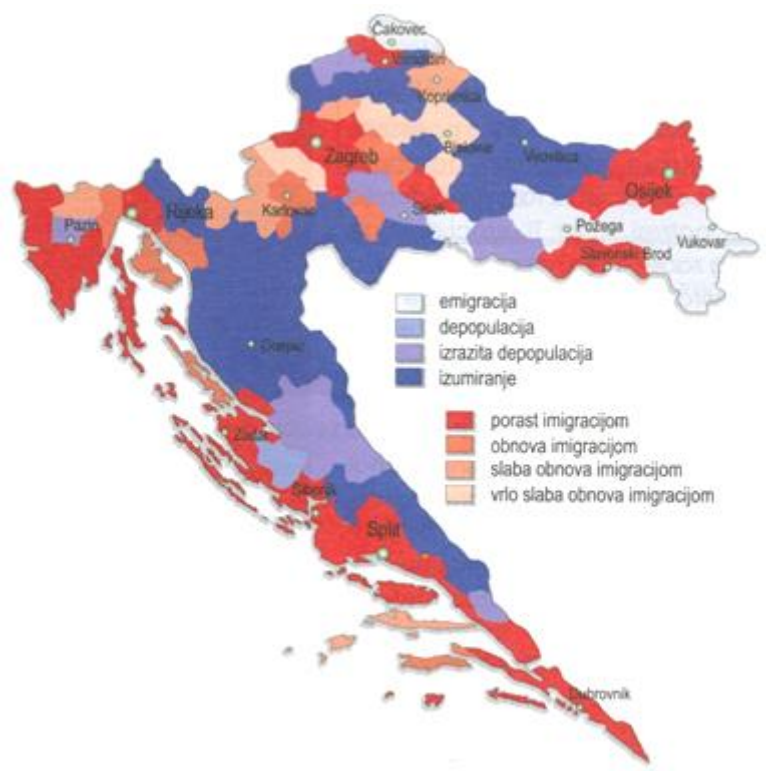
Raštrkana naselja ili disperzna sela nalaze se na udaljenosti tridesetak kilometara od većih gradova. Raštrkano naselje čini više zaselaka, a njegova prostorna površina je velika u odnosu na ukupan broj kućanstava. Krajnji korisnici su međusobno dosta udaljeni, a samo manji dio potencijalnih korisnika nalazi se u blizini mjesta pristupa mreži.

Seoska gospodarstva su osamljena gospodarstva udaljena pedesetak kilometara od većih gradskih središta. U njima su krajnji korisnici dosta udaljeni od mjesta pristupa mreži.

1.4.4. Problemi ruralnih područja

Ruralna područja danas se suočavaju s brojnim problemima, od kojih je najizraženiji izloženost degradacijskim procesima, odnosno izumiranje sela kao osnovnog čimbenika ruralnog prostora. Depopulacija je, s obzirom na svoju raširenost i trajanje, postala demografsko obilježje ruralnih prostora Republike Hrvatske, njenih otoka i brdsko-planinskih prostora. Cijela Gorska Hrvatska, Kordun, Banovina, Podravina i zapadna Slavonija danas bilježe smanjenje broja stanovnika, negativnu migracijsku bilancu i izumiranje stanovništva.

Promjene u hrvatskome gospodarstvu su u ruralnim područjima utjecale na smanjenje broja radnih mjesta u poljoprivredi i industriji. Zanemarivanje razvojne komponente ruralnih područja dovelo je do ekonomskog i socijalnog pada. To je uvjetovalo daljnja iseljavanja mladog i obrazovanog, odnosno radno aktivnog stanovništva. U nekim je ruralnim regijama broj aktivnog radnog stanovništva jako smanjen, pa se sela suočavaju s izraženom nezaposlenošću stanovništva.



Slika 1.4.2. Tipovi općeg kretanja stanovništva [8]

Suvremena su očekivanja usmjerena prema ravnomjernijem prostornom razvitku zemlje i obnovi ruralnih područja. Stoga su doneseni brojni programi za poticanje revitalizacije ruralnih područja te izjednačavanje kvalitete života u urbanim i ruralnim područjima. Dio tih programa vezan je uz poticanje svjesnosti o važnosti dostupnosti informacija kroz primjenu naprednih informacijskih i komunikacijskih tehnologija u svim područjima (kako urbanim, tako i ruralnim) te poticanje investicija vezanih uz implementaciju novih tehnoloških rješenja.

1.4.5. Programi razvoja ruralnih područja

Prostorno planiranje, složen i sveobuhvatan proces planskog razvoja prostora, važna je komponenta državnog razvoja budući da određuje organizaciju i izgled određenog prostora. U Republici Hrvatskoj program prostornog uređenja daje smjernice koje se odnose na revitalizaciju ruralnih područja, otoka i brdsko-planinskih područja.

U ruralnim područjima, otocima i brdsko-planinskim područjima novu kvalitetu života moguće je postići kroz nov odnos prema hrvatskom selu. Nova uloga ovih dijelova Republike Hrvatske bi u gospodarskom razvoju, kroz novi pristup prostornog planiranja i novu strategiju razvoja, zaustavila depopulaciju kao demografsko obilježje ovih krajeva. Posljedice depopulacije su izuzetno teške te je nužno poduzeti učinkovite mjere koje će biti dugotrajne i sustavne. Ravnomjerniji regionalni razvoj i decentralizacija gospodarskih funkcija u Republici Hrvatskoj, vratili bi život hrvatskom selu, jer bi se zaustavilo smanjenje broja stanovnika, a time i negativna prirodna promjena, odnosno negativna migracijska bilanca.

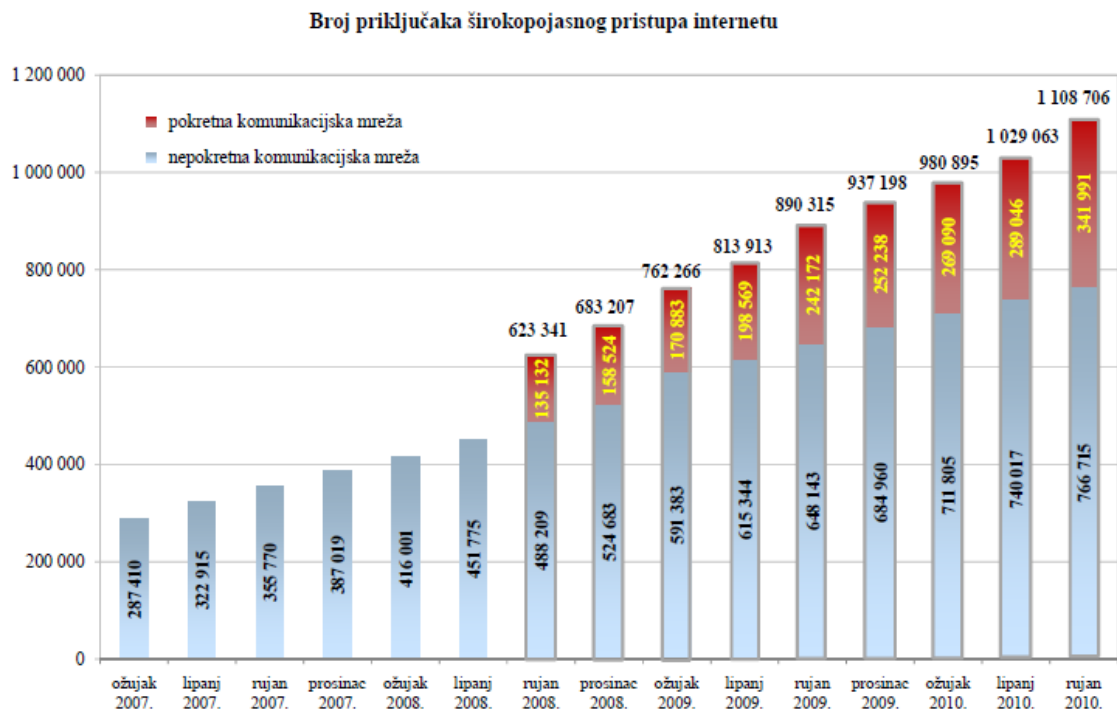
Isto tako, dio programa vezan uz poticanje primjene naprednih informacijskih i komunikacijskih tehnologija poput širokopojasnog pristupa u ruralnim područjima te poticanje investicija vezanih uz implementaciju širokopojasnih pristupnih rješenja u tim područjima doprinosi boljitku i revitalizaciji slabije napučenih hrvatskih prostora. Primjena širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim područjima može značajno doprinijeti jačanju tehnološke platforme elektroničkog poslovanja i time potaknuti značajan razvoj ruralnih područja u gospodarskom i ostalim područjima života njenih građana.

1.4.6. Razvoj širokopojasne pristupne mreže u Republici Hrvatskoj

Budući da je cilj suvremenog hrvatskog društva poticati informatizaciju, učinjen je veliki napredak u ostvarenju povećanja broja korisnika širokopojasnog pristupa te je između Republike Hrvatske i zemalja Europske unije smanjen jaz u pogledu stope gustoće širokopojasnih priključaka.

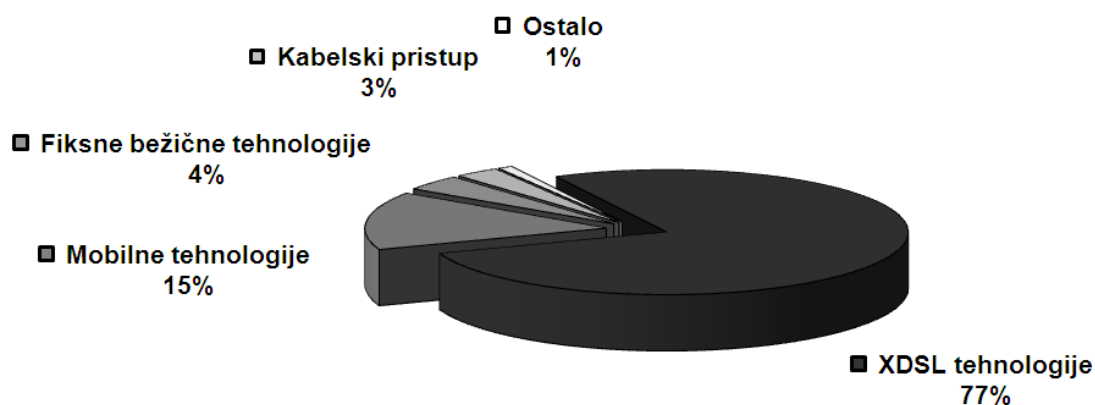
U lipnju 2010. godine u Republici Hrvatskoj bilo je ukupno 1 029 063 priključaka širokopojasnog pristupa Internetu. Od tog broja, 740 017 priključaka ostvareno je putem nepokretnih, a 289 046 putem pokretnih mreža kako je prikazano na Slici 1.4.3. Pri tome je gustoća širokopojasnih priključaka bila 23,21% u odnosu na ukupan broj stanovnika Republike Hrvatske (16,69% u nepokretnoj komunikacijskoj mreži te 6,52% u pokretnoj komunikacijskoj mreži) [5].

U Republici Hrvatskoj jača popularizacija primjene informacijskih tehnologija, a informatizacija obuhvaća sve razine društva: upravu (*e-Uprava*), pravosuđe (*e-Pravosuđe*), obrazovanje (*e-Obrazovanje*), zdravstvo (*e-Zdravstvo*), poslovanje (*e-Poslovanje*) te kulturu (*e-Kultura*).



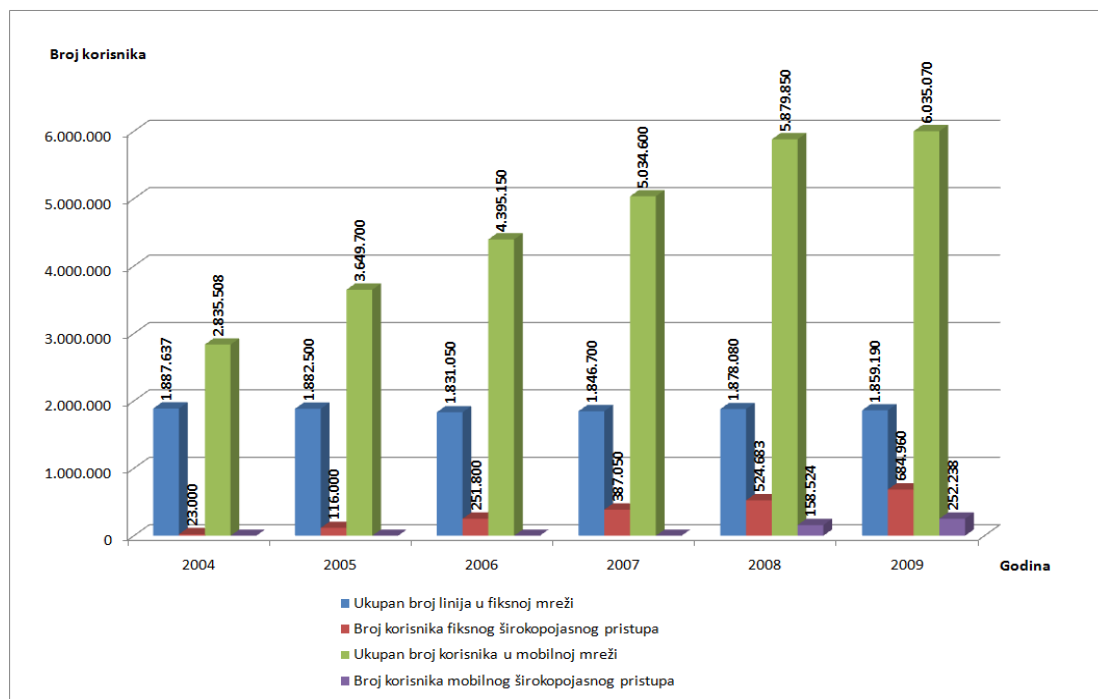
Slika 1.4.3. Broj priključaka širokopojsnog pristupa Internetu od početka 2007. do rujna 2010. godine [5]

Tržište usluga širokopojsnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj je u razvoju. Danas najveći broj korisnika širokopojsnog pristupa koristi xDSL tehnologije, dok su alternativni načini pristupa širokopojsnoj Internet mreži kabelski, satelitski, fiksni bežični i mobilni pristup. Trenutno stanje na tržištu širokopojsnih tehnologija u Republici Hrvatskoj prikazano je na Slici 1.4.4.

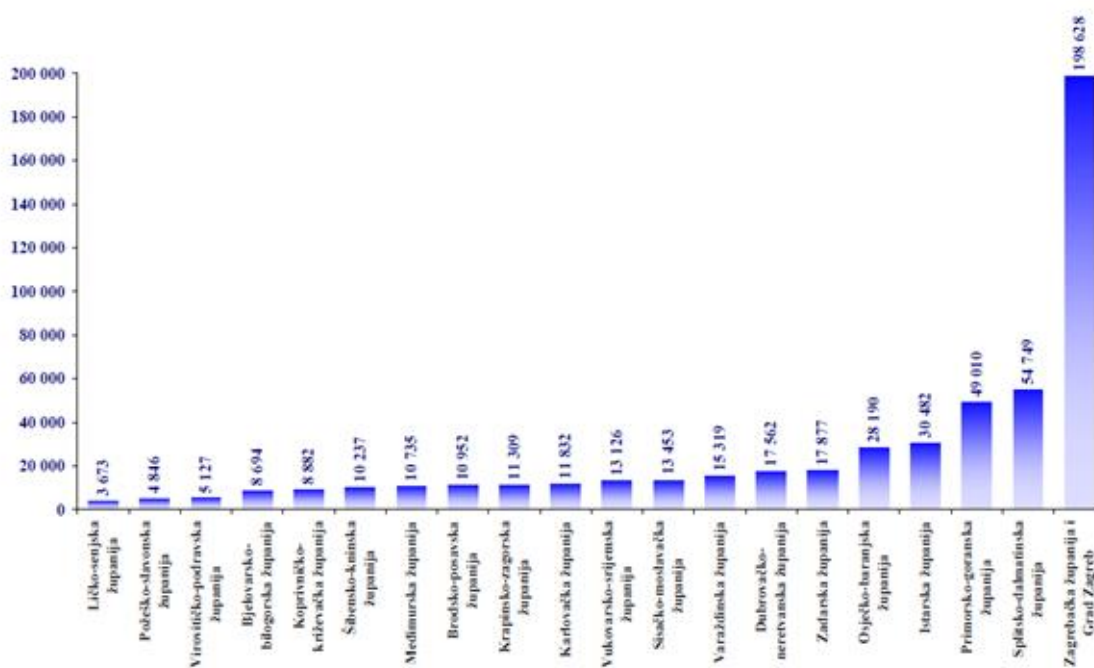


Slika 1.4.4. Primjena širokopojsnih pristupnih tehnologija u Republici Hrvatskoj [5]

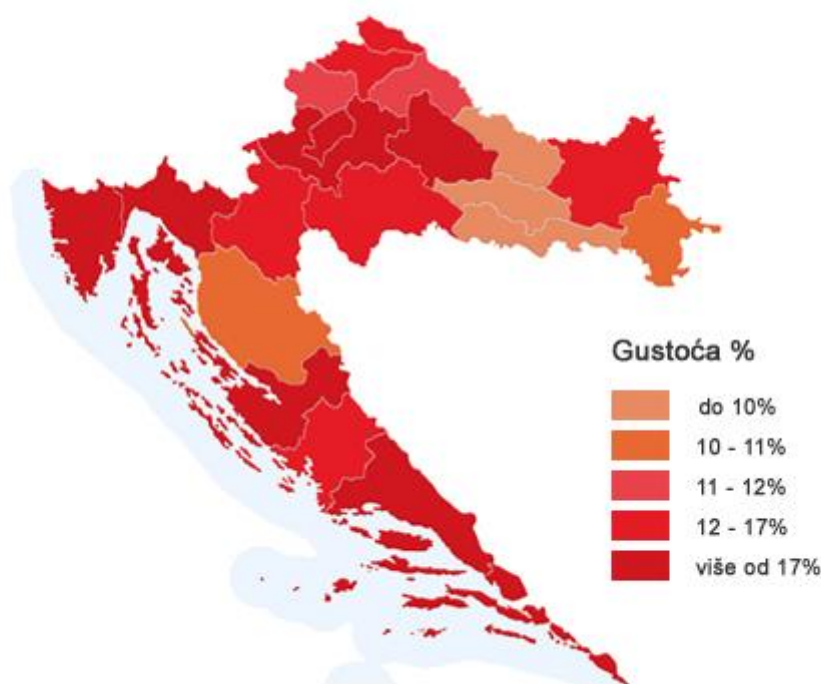
Porast broja korisnika fiksnog i mobilnog širokopojasnog pristupa Internetu prikazan je na Slici 1.4.5.



Slika 1.4.5. Broj korisnika fiksnog i mobilnog širokopojasnog pristupa [5]



Slika 1.4.6. Broj širokopojasnih priključaka po županijama Republike Hrvatske – stanje na kraju 2008. godine [5]



Slika 1.4.7. Pristup širokopojasnom Internetu (nepokretna komunikacijska mreža) u drugom kvartalu 2010. godine [5]

Prijedlog Strategije razvoja širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2011. do 2015. godine stavlja naglasak na izgradnju i razvoj širokopojasne infrastrukture u slabije naseljenim ruralnim područjima, otocima te brdsko-planinskim područjima, jer u tim područjima ne postoji dovoljan interes za ulaganja u širokopojasnu infrastrukturu.

1.4.7. Implementacija širokopojasnih tehnologija u ruralnim područjima Republike Hrvatske

Širokopojasne tehnologije nove generacije pružaju niz novih tehnoloških i poslovnih mogućnosti koje pospješuju konkurentnost. Budući da su mreže nove generacije namijenjene pružanju komunikacijskih usluga temeljenih na širokopojasnim prijenosnim tehnologijama s garantiranom kvalitetom usluga, one moraju imati povećani kapacitet u svom pristupnom dijelu. Upravo je sve veća potreba za kvalitetom pruženih usluga te povezanost između mogućnosti pružanja kvalitete i dostupne infrastrukture dovela do potrebe za kvalitetnom analizom tehničkih, ekonomskih i tržišnih aspekata poslovnih prilika, kako u urbanim, tako i u ruralnim područjima u Republici Hrvatskoj.

Analiza mogućnosti implementacije širokopojasnih pristupnih tehnologija ima za cilj ukazivanje na svrhovitost te isplativost uvođenja širokopojasnog pristupa Internetu u ruralna područja Republike Hrvatske. Temeljne metode analize obuhvaćaju kvalitativne i kvantitativne pokazatelje opravdanosti i isplativosti uvođenja novih tehnologija, uzimajući u obzir potrebu ravnomjernog razvoja svih područja u Republici Hrvatskoj.

Kvalitativna analiza podataka od kojih zavisi mogućnost i isplativost uvođenja širokopojasnog Interneta u Republici Hrvatskoj, ukazuje na koristi koje proizlaze iz širokopojasnog pristupa. Koristi koje imaju ruralni korisnici širokopojasnog pristupa Internetu mogu se podijeliti u sljedeće kategorije:

- koristi za rezidencijalne korisnike:

Brži pristup Internetu potreban mnogim aplikacijama koje zahtijevaju širokopojasne kapacitete pri prijenosu podataka;

- mrežne eksternalije:

Povećanje broja novih kućanstava koja se priključuju na određenu mrežu donosi koristi već postojećim korisnicima te mreže – oni tako mogu komunicirati s većim brojem korisnika, iako ne plaćaju za troškove priključenja novih kućanstava;

- povećanje produktivnosti tvrtki:

Tvrtke koje koriste širokopojasne komunikacijske usluge pri proizvodnom procesu povećavaju svoju produktivnost. Pri tome neke tvrtke imaju jako veliku korist, dok kod drugih korist može biti zanemariva. Posebno značajno povećanje produktivnosti, kao povećanje količine proizvedenog učinka u jedinici vremena, vezano je uz cjelokupan proces kreiranja i stvaranja proizvoda i usluga, pri čemu ušteda u vremenu ima vrlo bitnu ulogu. Širokopojasni pristup Internetu pruža neograničene mogućnosti primjene u nizu aktivnosti koje mogu pomoći pri stvaranju kvalitetnog proizvoda, tržišno prihvatljive cijene, prodaje i distribucije primjerene potrebama potrošača. U komunikaciji s kupcem posebno mjesto ima direktni marketing, pri čemu komunikacije telekomunikacijskim sredstvima, koja su u obliku informatičkog, kompjuterskog, elektronskog, digitalnog ili sličnog oblika djelovanja, postaju nezamjenjive. Širokopojasni Internet omogućuje brzo i učinkovito komuniciranje pri čemu su informacije pregledne, troškovi niži, marketinški postupci brži, a time značenje Interneta kao tehnološke platforme elektroničkog poslovanja veće.

Kvantitativna analiza tehničkih te ekonomskih aspekata poslovnih mogućnosti, ima značajnu ulogu u modernom poslovanju telekomunikacijskog sektora. Sve veća potreba za kvalitetom usluga te povezanost između dostupne infrastrukture i mogućnosti pružanja odgovarajuće kvalitete, dovodi do potrebe za detaljnom analizom tehničkih, ekonomskih i tržišnih aspekata poslovnih prilika.

Širokopojasni pristup Internetu u ruralnim područjima Republike Hrvatske može se vrednovati uvažavajući bitne tehničke i ekonomske aspekte širokopojasnih pristupnih tehnologija te primjenu postojećih metoda za donošenje odluka o isplativosti investiranja u pristupne telekomunikacijske širokopojasne mreže te uzimajući u obzir važnost ravnomjernog razvoja cijelog teritorija Republike Hrvatske.

1.4.8. Zaključna razmatranja

Ruralna područja u Republici Hrvatskoj zauzimaju većinu prostora države, ali u njima živi mali postotak ukupnog stanovništva. Današnja ruralna područja suočavaju se s brojnim problemima – s izloženošću degradacijskim procesima, s velikim razlikama između snažno urbaniziranih prostora i većine izrazito seoskog prostora države, s usitnjenošću sela kao posljedicom procesa deagrarijacije, deruralizacije i starenja seoskog stanovništva te s depopulacijom otoka i brdsko-planinskih prostora. Ti procesi će se nastaviti odvijati u budućnosti, pa se za njihovo zaustavljanje potrebno provoditi mjere decentralizacije gospodarskih funkcija, prostorno planiranje i ciljanu revitalizaciju ruralnih prostora.

Ravnomjerna dostupnost suvremenih širokopojasnih tehnologija također može biti jedan od bitnih čimbenika za zaustavljanje procesa deruralizacije. Primjena novih informacijskih i komunikacijskih tehnologija, poput širokopojasnih pristupnih tehnologija, potiče gospodarski rast i konkurentnost ruralnih područja na tržištu.

Na dostupnost širokopojasnih usluga utječe izrazito puno čimbenika, među kojima je i cijena širokopojasnog pristupa. Cijena širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim područjima je iz nekoliko razloga viša od cijene pristupa u urbanim područjima. Jedan od razloga je i činjenica da je udaljenost korisnika od mjesta pristupa mreži u ruralnim područjima veća nego što je to slučaj u urbanim područjima. Udaljene zajednice tada moraju snositi troškove postavljanja dodatnih pristupnih veza korištenih za povezivanje u srednjoj milji. Osim toga, budući da su širokopojasne tehnologije često ovisne o skupim platformama koje poslužuju do nekoliko stotina priključaka, u ruralnim se područjima, zbog manjeg broja korisnika po platformi, često ne može ostvariti isti ekonomski omjer isplativosti uvođenja određene širokopojasne tehnologije kao u urbanim područjima.

Iako je ekonomski omjer isplativosti prilikom implementacije širokopojasnih pristupnih tehnologija u ruralnim područjima manji u odnosu na onaj u urbanim područjima, pravilnim izborom odgovarajuće pristupne tehnologije u ruralnim područjima njegov se iznos može povećati, a tada primijenjena tehnologija postaje dostupna širem korisničkom krugu.

Suvremena očekivanja usmjerena prema ravnomjernom prostornom razvoju Republike Hrvatske, kao i potrebu revitalizacije ruralnih područja te smanjenja digitalnog jaza između urbanih i ruralnih područja u Republici Hrvatskoj, trebali bi pratiti odgovarajući državni poticaji, mjere i programi koji bi potaknuli implementaciju i razvoj novih tehnoloških rješenja u ruralnim područjima te tako doprinijeli izjednačavanju kvalitete života u urbanim i ruralnim sredinama.

Literatura

[1] „Strategija razvoja širokopojasnog pristupa internetu u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2011. do 2015. godin“, Vlada Republike Hrvatske, Zagreb, listopad 2010.

[2] „Strategija razvoja širokopojasnog pristupa internetu u Republici Hrvatskoj do 2008. godine“, Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka, Zagreb, rujna 2006.

- [3] „Strategija razvoja ruralnih područja u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2008 do 2013 godine“, Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja Republike Hrvatske, 2007.
- [4] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, <http://www.dzs.hr/>
- [5] Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije, <http://www.hakom.hr>
- [6] Središnji državni ured za e-Hrvatsku, <http://www.e-hrvatska.hr>
- [7] Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka, <http://www.mmtpr.hr/default.asp>
- [8] Filipčić, A., Marković, G., Vuk, R., „Geografija Hrvatske“, Znanje, Zagreb, 2003.
- [9] 2010. - statistički ljetopis Državnog zavoda za statistiku RH:
http://www.dzs.hr/Hrv_Eng/ljetopis/2010/SLJH2010.pdf
- [10] „A Digital Agenda for Europe“, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2010) 245, Europska komisija, Brisel, 19. svibnja 2010.
- [11] „A strategy for smart, sustainable and inclusive growth“, Communication from the Commission – EUROPE 2020, COM(2010) 2020, Europska komisija, Brisel, ožujak 2010.
- [12] „The Impact of Broadband on Growth and Productivity“, MICUS Management Consulting GmbH, Düsseldorf, 2008.
- [13] „The impact of broadband in Eastern and Southeast Europe“, Frontier Economics Ltd, London, svibanj 2010.
- [14] Strategija „Informacijska i komunikacijska tehnologija – Hrvatska u 21. stoljeću“, „Narodne novine“, br. 109/2002., Zagreb

1.5. Digitalna televizija

1.5.1. Značajke televizijskog signala

Televizija je tehnički sustav koji omogućuje stvaranje, obradu, prijenos, odašiljanje i prijam električnih signala koji prenose pokretne slike, što je praćeno i pripadnim zvukom. U tu se svrhu u kameri prostorni raspored svjetlosnih jakosti, koji predstavlja sliku, pretvara u vremenski slijed električnih impulsa (optoelektrička pretvorba). Takva pretvorba svjetlosnih jakosti u električne impulse u točno utvrđenom redoslijedu, koji određuje kako sliku podijeliti u linije, naziva se analiziranjem. Kamera sadrži fotoosjetljivi senzor (aktivni element) pomoću kojeg se provodi analiziranje i optoelektrička pretvorba. Nastali impulsi na izlazu iz senzora svojom amplitudom odgovaraju svjetlosnoj jakosti trenutno analiziranog površinskog elementa slike u liniji i zajedno čine električni signal koji se naziva videosignal. Videosignal zajedno s pratećim audiosignalom čini televizijski signal.

Optička slika, koja pada na fotoosjetljivi sloj senzora, analizira se po linijama, odozgo prema dolje. Postupak se ponavlja sve dok cijela slika ne bude analizirana. Između aktivnog vremena analiziranja dviju uzastopnih slika nalazi se vertikalni potisni interval za vrijeme kojeg se događa promjena slike. Proces analiziranja je kontinuiran i ponavlja se s lijeva na desno s frekvencijom izmjene linija (horizontalna frekvencija), a odozgo prema dolje s frekvencijom izmjene slika (vertikalna frekvencija). Povećanjem broja analizirajućih linija povećava se kvaliteta slike zbog mogućnosti točnijeg prikazivanja sitnih detalja u vertikalnom smjeru. Međutim, time raste i cijena prijenosnog sustava, jer potrebna frekvencijska širina kanala postaje veća.

U akromatskoj (crno-bijeloj) televiziji, prenosi se luminantni signal, E'_Y , koji prenosi informaciju o luminanciji snimane scene, dok se u kromatskoj televiziji (televiziji u boji), osim luminantnog, prenose i komponente krominantnog signala, koje daju informaciju o boji. Televizija u boji temelji se na činjenici da se sve boje mogu dobiti miješanjem triju osnovnih monokromatskih boja (primarne boje): crvene, zelene i plave. U kromatskoj kameri ulazna svjetlost se razdvaja na spektralne komponente za crvenu, zelenu i plavu boju. Svaka od njih usmjerava se na vlastiti senzor, u kojem se slika analizira, pa se tako dobiju tri signala za tri primarne boje: signal za crvenu boju – E'_R , signal za zelenu boju – E'_G i signal za plavu boju – E'_B . Međutim, signali se ne prenose izravno, već se preoblikuju u luminantni signal (koji postoji i u akromatskoj televiziji) te u dva signala razlike za boju (signali za primarne boje od kojih je oduzet luminantni signal). Luminantni signal televizije u boji nastaje zbrajanjem određenih udjela signala za primarne boje: $E'_Y = 0,30 E'_R + 0,59 E'_G + 0,11 E'_B$. Stoga je, uz luminantni signal, dovoljno prenositi dva signala razlike za boju ($E'_R - E'_Y$ i $E'_B - E'_Y$), jer se treći signal ($E'_G - E'_Y$) može iz njih rekonstruirati. Za prijenos su odabrani signali razlike za crvenu i za plavu boju, jer im je amplitudni raspon veći nego signalu razlike za zelenu boju, što omogućava kvalitetniji prijenos. Komponenti signal sastavljen od signala E'_Y , $E'_R - E'_Y$ i $E'_B - E'_Y$, prenosi se u svim televizijskim sustavima jer se takvim načinom prijenosa ostvaruje ušteda frekvencijskog pojasa, [1].

Kao i u filmskoj tehnici, i u televizijskoj se tehnici dojam kretanja dobiva brzim slijedom pojedinačnih slika, od kojih svaka sadrži jednu fazu pokreta. Najniža frekvencija potrebna za doživljaj kontinuiteta pokreta iznosi 10 slika u sekundi (10 Hz), za prikaz brzih pokreta i više. Osim toga, u obzir treba uzeti i nestajanje slike za vrijeme vertikalnog potisnog intervala koje može do pojave efekta treptanja (gledatelj vidi kao zatamnjenje umetnuto između dvije slike), [2]. Za izbjegavanje treptanja potrebno je povećati frekvenciju pojavljivanja zatamnjenja na više od 50 Hz. Povećanjem frekvencije izmjene slika povećava se i horizontalna frekvencija te je zbog toga potrebno povećati i širinu frekvencijskog kanala za prijenos videosignala. To se može izbjeći primjenom analiziranja slike s proredom kod kojega se povećava frekvencija pojavljivanja zatamnjenja (vertikalna frekvencija), bez povećavanja horizontalne frekvencije. Naime, za razliku od progresivnog analiziranja, u kojem se slika analizira kao cjelina, pri analiziranju s proredom slika se dijeli u dvije poluslike. Prva poluslika sadrži neparne, druga parne linije, a između poluslika ubacuje se zatamnjenje. Na taj način se postiže udvostručenje frekvencije izmjene poluslika u odnosu na frekvenciju izmjene slika što vodi uklanjanju „efekta treptanja“ tj. vidljivosti intervala zatamnjenja koji postoji između slika ili poluslika.

Analiziranjem s proredom ostvaruje se ušteda frekvencijskog pojasa i zato je i danas u televizijskim sustavima to najčešće korišten način analiziranja čak i kada se radi o televizijskim sustavima visoke kvalitete.

1.5.2. SDTV norme za analiziranje slike

Norme za analiziranje slike određuju postupak analiziranja, broj linija na koji se slika razlaže, frekvenciju izmjene poluslika i slika te razine i vremenske odnose u videosignalu, [3]. Parametri analognog televizijskog signala standardne kvalitete (engl. *Standard Definition Television*, SDTV) propisani su u preporuci Međunarodne telekomunikacijske unije ITU-R BT.470: Konvencionalni televizijski sustavi (engl. *Conventional Television Systems*), [4]. Iz navedene preporuke vidljivo je da su danas u svijetu u uporabi dvije temeljne SDTV norme za analiziranje slike. Te norme su:

- 525/60 norma za analiziranje slike,
- 625/50 norma za analiziranje slike.

U prvoj normi slika se dijeli u 525 linija, a frekvencija izmjene poluslika je 59,94 Hz. U drugoj normi, koja se rabi u svim europskim zemljama, broj linija za analiziranje slike je 625, a frekvencija izmjene poluslika iznosi 50 Hz. U svim SDTV sustavima rabi se analiziranje s proredom. U normi 625/50 u analognim sustavima frekvencijska širina pojasa za videosignal ograničena je na 5 MHz, što bi bez primjene analiziranja s proredom bilo dvostruko više. U svim SDTV sustavima omjer je širine i visine televizijske slike 4:3 (engl. *Aspect Ratio*, AR).

Parametri SDTV signala utvrđeni u analognim sustavima prenose se u digitalne sustave. Sustavi digitalne televizije utemeljeni su parametrima analiziranja uspostavljenim u analognim televizijskim sustavima tako da analogna i digitalna televizija čine nerazdvojivu cjelinu. Postupak analogno-digitalne pretvorbe videosignala blisko je povezan s parametrima analognog signala pa se npr. frekvencija uzorkovanja u digitalnom televizijskom sustavu definira u odnosu na horizontalnu frekvenciju analognog videosignala, [3].

1.5.3. HDTV norme za analiziranje slike

Osim televizije standardne kvalitete, razvijena je i televizija visoke kvalitete (engl. *High Definition Television*, HDTV), kojoj je osnovna značajka veći broj analiziranih linija. U HDTV sustavima rabi se i analiziranje s proredom i progresivno analiziranje uz različite vertikalne frekvencije, proširenje slike (omjer stranica slike 16:9) i poboljšanje kvalitete reprodukcije boja, [1]. Značajke HDTV sustava određuje preporuka ITU-R BT.709: Vrijednosti parametara HDTV normi za produkciju i međunarodnu razmjenu programa - 2. dio: HDTV sustavi s zajedničkim formatom slike u kome su elementi slike kvadratični (*Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange - PART 2: HDTV SYSTEMS WITH SQUARE PIXEL COMMON IMAGE FORMAT*), [5]. Pored preporuke ITU-R BT.709, značajke HDTV sustava su propisane i sljedećim SMPTE (Society for Motion Pictures and Television Engineers) normama, [6, 7]:

- SMPTE 296M: 1280 x 720 *Progressive Image Sample Structure – Analogue and Digital Representation and Analogue Interface* (iz 2001. godine),
- SMPTE 274M: 1920 x 1080 *Image Sample Structure, Digital Representation and Digital Timing Reference Sequences for Multiple Picture Rates* (iz 2003. godine).

Parametri analiziranja HDTV signala koji su pojavljuju u normi SMPTE 274M su jednaki parametrima iz drugog dijela preporuke ITU-R BT.709 (Part 2), [5]. Iz navedene preporuke i SMPTE normi vidljivo je da su danas u svijetu u uporabi dva prostorna formata HDTV slike: 1280 x 720 (ukupan broj linija je 750) i 1920 x 1080 720 (ukupan broj linija je 1125). U HDTV sustavima može se rabiti i progresivno analiziranje (P) i analiziranje s proredom (I) što rezultira u većem broju mogućih vremenskih formata koji su određeni frekvencijom izmjene slika: 60 Hz, 59,94 Hz, 50 Hz, 30 Hz, 29,97 Hz, 25 Hz i 24 Hz. Preporuka ITU-R BT.709 i norme SMPTE 296M i SMPTE 274M određuju parametre kako analognog HDTV signala povezane s različitim načinima analiziranja, prostornim i vremenskim formatima slike tako i parametre digitalnog HDTV signala povezanog s frekvencijama i formatima uzorkovanja.

1.5.4. Digitalni SDTV i HDTV signali

Digitalna televizija logičan je nastavak razvoja televizije. Točnost analogno-digitalne pretvorbe ovisi o frekvenciji kojom se iz kontinuiranog signala uzimaju diskretni uzorci (frekvencija uzorkovanja) te duljini kodne riječi koja određuje i broj diskretnih razina amplitude koji može poprimiti uzorak signala. Porastom obiju veličina povećava se točnost analogno-digitalne pretvorbe, ali i frekvencijska širina kanala potrebna za prijenos digitalnog nekomprimiranog signala.

Analogno-digitalna pretvorba videosignala je definirana različitim preporukama međunarodne normizacije ovisno o namjeni videosignala. ITU-R preporuka BT.601: Parametri kodiranja digitalnog televizijskog signala za studijsku primjenu uz omjer stranica ekrana 4:3 i 16:9 (*Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios*) je temeljna norma za digitalno kodiranje televizijskog signala standardne kvalitete i neovisna je o tome da li se radi o sustavima s 525 linija i 60 Hz ili sa 625 linija i 50 Hz, [8]. Najveće postignuće ove preporuke je isti oblik digitalne linije videosignala u sustavima 525/60 i 625/50 pri čemu digitalna linija sadrži 720 uzoraka u aktivnom dijelu linije (dio linije vidljiv na ekranu). Ulazni format analognog signala je komponentni u dva moguća oblika: (E'_R, E'_G, E'_B) ili $[E'_Y, (E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)]$, [1].

ITU-R preporuka BT.601 uključuje dvije temeljne skupine normi koje se razlikuju u odnosu na frekvenciju uzorkovanja luminantnog signala:

- 13,5 MHz skupina normi za omjer stranica 4:3 i 16:9,
- 18 MHz skupina normi za omjer stranica 16:9.

Svaka skupina sadrži dvije strukture uzorkovanja:

- 4:4:4 u kojoj su komponente signala $[E'_Y, (E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)]$ ili (E'_R, E'_G, E'_B) , a frekvencija uzorkovanja iznosi 13,5 MHz ili 18 MHz za svaku komponentu,

- 4:2:2 u kojoj su komponente signala $[E'_Y, (E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)]$, a frekvencija uzorkovanja za E'_Y je 13,5 MHz ili 18 MHz, a za $(E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)$ 6,75 MHz ili 9 MHz (poduzorkovanje s faktorom 2).

Kodira se ravnomjernom impulsno-kodnom modulacijom s 8 ili 10 bita po uzorku. Kao ulazni format u sustave za kompresiju videosignala rabi se i format 4:2:0 u kome su u jednoj liniji frekvencije uzorkovanja signala razlike za crvenu boju i za plavu boju niže dva puta od frekvencije uzorkovanja luminantnog signala, a u sljedećoj liniji se ne prenose komponente krominantnog signala, [3]. Svrha poduzorkovanja komponenti krominantnog signala je postizanje kompresije u odnosu na sustav u kome bi se one uzorkovale istom frekvencijom kao luminantna komponenta. Brzina prijenosa potrebna za svaku komponentu signala dobiva se kao umnožak frekvencije uzorkovanja i broja bita po uzorku, a ukupna brzina prijenosa kao zbroj brzina prijenosa svih triju komponenata. Brzine prijenosa za SDTV navedene su u Tablici 1.5.1. i Tablici 1.5.2. Format iz Tablice 1.5.2. je ulazni format u postupcima kompresije videosignala i dobije se preoblikovanjem formata 4:2:2 i njegovom rekvantizacijom s 10 bita/uzorku na 8 bita/uzorku. Vidi se da poduzorkovanje i rekvantizacija djeluju na smanjenje brzine prijenosa.

Tablica 1.5.1. Brzine prijenosa digitalnog komponentnog SDTV signala u formatu 4:2:2

Sustav	Parametri	Ukupan broj Y uzoraka u liniji	Ukupan broj linija u slici	Ukupna brzina prijenosa (4:2:2, n=10)	Korisna brzina prijenosa (4:2:2, n=10)
625/50	720x576/I/25	864	625	270 Mbit/s	207,26 Mbit/s

Tablica 1.5.2. Brzine prijenosa digitalnog komponentnog SDTV signala u formatu 4:2:0

Sustav	Parametri	Ukupan broj Y uzoraka u liniji	Ukupan broj linija u slici	Ukupna brzina prijenosa (4:2:0, n=8)	Korisna brzina prijenosa (4:2:0, n=8)
625/50	720x576/I/25	864	625	162 Mbit/s	124,42 Mbit/s

Mogući formati HDTV signala za proizvodnju TV programa u europskim zemljama određeni su dokumentom EBU Tech 3299: High Definition (HD) Image Formats for Television Production, [9]. Dokument predviđa 4 vrste sustava:

- Sustav 1 (S1) s 1280 horizontalnih uzoraka i 720 linija u aktivnom dijelu slike uz progresivno (P) analiziranje s frekvencijom izmjene slika 50 Hz i omjer stranica 16:9,

- Sustav 2 (S2) s 1920 horizontalnih uzoraka i 1080 linija u aktivnom dijelu slike uz analiziranje s proredom (I) s frekvencijom izmjene slika 25 Hz i omjer stranica 16:9,
- Sustav 3 (S3) s 1920 horizontalnih uzoraka i 1080 linija u aktivnom dijelu slike uz progresivno analiziranje s frekvencijom izmjene slika 25 Hz i omjer stranica 16:9,
- Sustav 4 (S4) s 1920 horizontalnih uzoraka i 1080 linija u aktivnom dijelu slike uz progresivno analiziranje s frekvencijom izmjene slika 50 Hz i omjer stranica 16:9.

Frekvencije uzorkovanja i zahtijevane širine pojasa za pojedine komponente signala navedenih sustava su prikazane Tablicom 1.5.3. Ukupne brzine prijenosa i brzine prijenosa za aktivni dio slike su navedene u Tablici 1.5.4. Brzine prijenosa su previsoke za djelotvoran prijenos bilo kojom vrstom komunikacijskog sustava te je potrebno rabiti djelotvorne postupke kompresije čiji je cilj smanjenje brzine prijenosa i ušteda na širini frekvencijskog pojasa koji je potreban za prijenos HDTV signala.

Tablica 1.5.3. Frekvencije uzorkovanja i širine pojasa za komponente HDTV signala

Parametar sustava	Komponente signala	Sustavi 1, 2 i 3	Sustav 4
Širina pojasa	E'_R, E'_G, E'_B	30 MHz	60 MHz
	E'_Y	30 MHz	60 MHz
	$(E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)$	15 MHz	35 MHz
Frekvencija uzorkovanja	E'_R, E'_G, E'_B	74,25 MHz	148,5 MHz
	E'_Y	74,25 MHz	148,5 MHz
	$(E'_R - E'_Y), (E'_B - E'_Y)$	37,125 MHz	74,25 MHz

Tablica 1.5.4. Brzine prijenosa digitalnog komponentnog HDTV signala u formatu 4:2:2

Sustav	Parametri	Ukupan broj Y uzoraka u liniji	Ukupan broj linija u slici	Ukupna brzina prijenosa (4:2:2, n=10)	Netto brzina prijenosa (4:2:2, n=10)
1	1280x720/P/50	1980	750	1,485 Gbit/s	921,6 Mbit/s
2	1920x1080/I/25	2640	1125	1,485 Gbit/s	1036,8 Mbit/s
3	1920x1080/P/25	2640	1125	1,485 Gbit/s	1036,8 Mbit/s
4	1920x1080/P/50	2640	1125	2,970 Gbit/s	2073,6 Mbit/s

1.5.5. Kompresija videosignala

Koncepcijski je digitalna televizija postala moguća nakon pojave impulsno-kodne modulacije (engl. *Pulse Code Modulation*, PCM) koju je izumio Alec Reeves još 1937. godine i patentirao 1938. godine u Velikoj Britaniji. Međutim, trebalo je proći više od 5 desetljeća da bi PCM postao atraktivno rješenje za televizijske primjene. Postupak analogno-digitalne pretvorbe videosignala rezultira u visokoj brzini prijenosa neupotrebljivoj za praktične primjene uz postojeća ograničenja koja su postavljena na širinu televizijskog kanala (7 MHz u VHF području i 8 MHz u UHF području). Nakon usvajanja preporuke ITU-R BT. 601 (1986. godine) pojačala su znanstvena istraživanja postupaka kompresije (sažimanja) čiji cilj je smanjenje brzine prijenosa digitalnog videosignala. Istraživanja statističkih osobina videosignala su pokazala da oni posjeduju redundanciju (zalihost, suvišne informacije) koja je posljedica korelacije (međuvisnosti) između uzoraka slike u prostornoj i vremenskoj domeni. Postupci kompresije uzimaju u obzir i subjektivnu redundanciju koja je određena svojstvima ljudskog vizualnog sustava. Postupcima kompresije moguće je znatno smanjiti brzinu prijenosa digitalnog videosignala i širinu kanala za njegov prijenos. Pri kompresiji videosignala potrebno je postići optimalan odnos vremena procesiranja, stupnja kompresije i kvalitete slike nakon rekonstrukcije. Stupanj kompresije definira se kao omjer brzina prijenosa prije i nakon provedenog postupka kompresije.

Veliki utjecaj na razvoj digitalne televizije imalo je usvajanje norme ISO/IEC 13818-2: Generičko kodiranje pokretnih slika i pratećih audiosignala - 2. dio: Video (*Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 2: Video*), koja je poznata kao norma MPEG-2, [10]. Norma specificira skup postupaka kodiranja s jezgrom sustava koja sadrži algoritam kodiranja standardnih televizijskih formata kako su definirani ITU-R preporukom BT.601 za brzine prijenosa od 4-10 Mbit/s kojima se može postići kvaliteta prijamnih signala slična kao u analognim NTSC/PAL sustavima (4 Mbit/s) ili vrhunska kvaliteta slike kod koje nije moguće zamijetiti razliku između dekodirane i izvorne slike (9 Mbit/s). Predloženi postupci kodiranja imaju takva svojstva da ih je moguće primijeniti i na televiziju visoke kvalitete (engl. *High Definition Television*, HDTV) uz brzine prijenosa oko 20 Mbit/s.

U prvom dijelu navedene norme ISO/IEC IS 13818-1: *Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 1: Systems*, određen je način oblikovanja MPEG-2 prijenosnog toka podataka (engl. *Transport Stream*, TS) čime je otvorena mogućnost kombiniranja više osnovnih tokova podataka (video, audio, tekst, grafika, mirne slike i dr.), u jedan ili više tokova pogodnih za prijenos i pohranjivanje, [11]. Oblikovanjem prijenosnog toka podataka više televizijskih programa može se multipleksirati u jedan tok podataka i prenositi jednim televizijskim kanalom.

Razvoj normi za kodiranje videosignala nije prestao usvajanjem norme MPEG-2 već je nastavljen s ciljem povećanja djelotvornosti kodiranja. Od normi razvijenih nakon MPEG-2 norme, za digitalnu televiziju posebno značenje ima norma ISO/IEC IS 14496-10: Kodiranje audiovizualnih objekata - 10. dio: Poboľšano kodiranje videosignala (*Coding of Audiovisual Objects - Part 10: Advanced Video Coding*), usvojena 2002. godine. Norma je uključena u ITU-T preporuke kao preporuka ITU-T H.264 pod nazivom *Advanced Video Coding for*

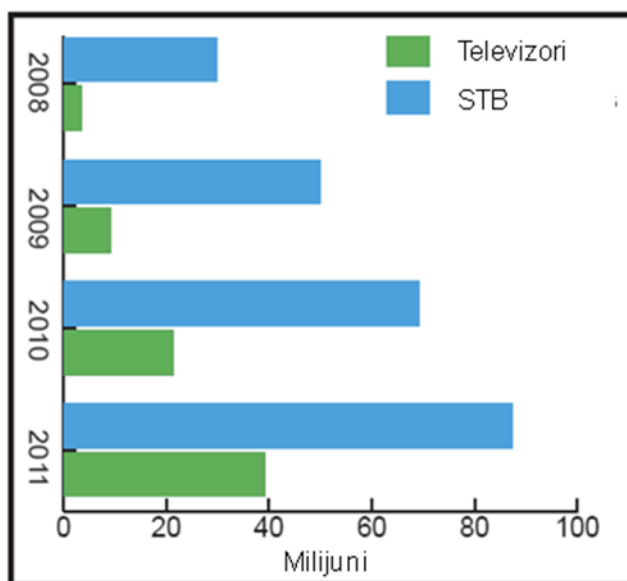
Generic Audiovisual Services, [12]. Norma je poznata i pod nazivom H.264/AVC (engl. *Advanced Video Coding*, AVC) ili MPEG-4 Part 10. Algoritam kompresije složeniji je u odnosu na MPEG-2, ali pruža mogućnost postizanja jednake kvalitete slike uz dvostruko nižu brzinu prijenosa u odnosu na MPEG-2, što je posebno važno za HDTV. Tablica 1.5.5. prikazuje tipične raspone brzina prijenosa nekomprimiranog digitalnog videosignala, te brzina nakon provedenog postupka kompresije za SDTV i HDTV. Veći stupnjevi kompresije, postignuti primjenom H.264/AVC kodiranja, doprinose boljem iskorištenju radiofrekvencijskog spektra (8-10 SDTV programa unutar TV kanala) te otvaraju mogućnost djelotvorne implementacije televizije visoke kvalitete (3-4 HDTV programa unutar TV kanala). Temeljni nedostatak H.264/AVC u odnosu na MPEG-2 je povećana složenost koodera (do 8 puta složeniji od MPEG-2 koodera, ovisno o profilu) i dekoodera (do 5 puta složeniji od MPEG-2 dekoodera, ovisno o profilu), [13, 14].

Uzmu li se u razmatranje mogući prostorni i vremenski formati HDTV slike te postupci kompresije primijenjeni na HDTV signal, HDTV sustave možemo razvrstati u tri generacije:

- prva generacija - formati slike: 1280x720/P/50, 1920x1080/I/25 uz MPEG-2, uporaba u sustavima DVB-S (*Digital Video Broadcasting-Satellite*) i ATSC (*Advanced Television System Committee*);
- druga generacija - formati slike: 1280x720/P/50, 1920x1080/I/25 uz H.264/AVC, uporaba u sustavima DVB-S2, DVB-C/C2 (*DVB-Cable*), DVB-T/T2 (*DVB-Terrestrial*);
- treća generacija - formati slike: 1920x1080/P/50, H.264/AVC kompresija, uporaba u budućim sustavima.

Tablica 1.5.5. Brzine prijenosa SDTV i HDTV signala prije i nakon kompresije

Nekomprimirani digitalni videosignal	Brzina prijenosa
SDTV (ITU-R BT.601, omjer stranica 4:3)	270 Mbit/s
HDTV (1080i ili 720p)	1,485 Gbit/s
HDTV (1080p preko HD-SDI)	2,97 Gbit/s
MPEG-2 komprimirani videosignali	
SDTV – radiodifuzija	3-6 Mbit/s
HDTV – radiodifuzija	12-20 Mbit/s
H.264/AVC komprimirani videosignali	
SDTV – radiodifuzija	1,5-3 Mbit/s
HDTV – radiodifuzija	6-12 Mbit/s



Slika 1.5.1. Broj prodanih hibridnih MPEG-2/H.264 AVC dekodera u televizorima i STB-ima u 2008. i 2009. godini te predviđanje broja prodanih hibridnih MPEG-2/H.264 AVC dekodera u 2010. i 2011. godini (izvor: Digital Tech Consulting, www.dtreports.com)

H.264/AVC postupak kompresije postepeno zamjenjuje MPEG-2 u radiodifuzijskim sustavima ali ta zamjena nije trenutna već će trajati duži vremenski period. To pokazuje i broj televizora i samostalnih digitalnih prijemnika (engl. *Set Top Box*, STB) koji sadrže hibridne MPEG-2/H.264 AVC dekodere, Slika 1.5.1. Istraživanja koje je 2009. godine provela DTC (*Digital Tech Consulting*) pokazuje da je broj televizora i STB-a koji sadrže samo H.264/AVC dekodere zanemariv, te da većina uređaja koji sadrže H.264/AVC dekodere sadrže i MPEG-2 dekodere, [15]. MPEG-2 postupak kodiranja se rabi u različitim vrstama radiodifuzijskih sustava više od 10 godina, a neki od velikih proizvođača koda (kao što su npr. Harmonic i Tandberg TV) još uvijek investiraju sredstva u poboljšanja MPEG-2 koda. Zamjena MPEG-2 kodiranja H.264/AVC kodiranjem u radiodifuzijskim sustavima može trajati i više od desetak godina i trajat će do onoga trenutka dok većina prijemnika u određenom sustavu ne bude imala mogućnost dekodiranja H.264/AVC signala.

1.5.6. Razvoj digitalne radiodifuzije

Glavne su prednosti digitalne televizije u odnosu na analognu televiziju su otpornost na šum, interferenciju i izobličenja u prijenosu, manja snaga odašiljača za isto područje pokrivanja, mogućnost mobilnog prijama, prijenos dodatnih informacija, uvođenje elektroničkog programskog vodiča, dvosmjerna komunikacija i interaktivnost te bolje iskorištenje radiofrekvencijskog spektra.

U analognim televizijskim sustavima za odašiljanje TV signala mrežom zemaljskih odašiljača (radijska služba radiodifuzije televizijskog signala) rabila su se četiri frekvencijska pojasa: VHF I (*Very High Frequency*), VHF III, UHF IV (*Ultra High Frequency*) i UHF V. Širina kanala je 7 MHz u području VHF te 8 MHz u području UHF. Granice frekvencijskih pojaseva za Regiju 1 su sljedeće:

- 47 – 68 MHz za VHF I,
- 174 – 230 MHz za VHF III,
- 470 – 582 MHz za UHF IV,
- 582 – 862 MHz za UHF V.

U Hrvatskoj je prema Pravilniku o namjeni radiofrekvencijskog spektra (NN 136/08) u pojasu VHF I samo jedan kanal (61-68 MHz) namijenjen televiziji, u pojasu VHF III 8 kanala te u pojasu UHF 49 kanala. Svi kanali nisu stvarno raspoloživi za televiziju jer ih koriste i druge službe. Tako, na primjer, kanale u pojasu VHF III može rabiti i sustav za zemaljsku radiodifuziju digitalnog audiosignala (engl. *Terrestrial Digital Audio Broadcasting*, T-DAB).

Analogni televizijski sustavi su navedene frekvencijske pojaseve koristili na neučinkovit način. Mreže odašiljača planirane su kao višefrekvencijske mreže (engl. *Multi-frequency Network*, MFN) u kojima odašiljači, koji pokrivaju određeno područje, rade na različitim kanalima, [16]. U MFN mrežama glavni ograničavajući faktor je istokanalna smetnja uzrokovana uporabom istog kanala u prostorno bliskim odašiljačima. Pojedini kanal može se ponovno koristiti tek kada se istokanalna smetnja smanji ispod razine određene zaštitnim omjerom. Zaštitni omjer definiran kao odnos minimalne vrijednosti željenog signala i vrijednosti smetajućeg signala na ulazu u prijamnik za postizanje određene kvalitete prijama. Zbog visokih istokanalnih zaštitnih omjera isti kanal smio se ponovno rabiti tek na vrlo udaljenim lokacijama što je izazivalo poteškoće u frekvencijskom planiranju. Pod takvim uvjetima na određenom području moglo se distribuirati 5-7 TV programa (npr. 2-4 TV programa na nacionalnoj razini + nekoliko TV programa na lokalnoj razini). Intenzivnija uporaba radiofrekvencijskog spektra imala je za posljedicu opadanje kvalitete prijamnog televizijskog signala zbog interferencije.

Uvođenjem digitalne zemaljske radiodifuzije televizijskog signala, rad susjednih odašiljača na istoj frekvenciji više nije zabranjen već je poželjan. Mreže odašiljača smiju se planirati kao jednofrekvencijske mreže (engl. *Single Frequency Network*, SFN). To su mreže sinkroniziranih odašiljača koji rade na istoj frekvenciji i prenose iste programe, [16]. Uspostavljanje SFN mreža doprinosi boljoj iskorištenosti frekvencijskog spektra jer je omogućen veći broj pokrivanja određenog područja u odnosu na MFN. Sve to su razlozi za zamjenu analogne televizijske tehnologije digitalnom, koja bi se u većini europskih zemalja trebala dogoditi do početka 2012. godine.

Rad na Projektu za radiodifuziju digitalnog videosignala (engl. *Digital Video Broadcasting Project*, DVB Project) započeo je u Europi 1993. godine i imao je za cilj odrediti okvir za primjenu MPEG-2 televizijskih usluga. U okviru DVB projekta su se udružili vodeći proizvođači televizijske opreme, operatori mreža, radiodifuzijske organizacije, regulatorna tijela, proizvođači softvera i ostali zainteresirani, kako bi razvili specifikacije za prijenos MPEG-2 prijenosnog podataka do krajnjih korisnika. DVB projektu su se pridružili i brojni sudionici s Dalekog Istoka i iz Australije. Rad u okviru DVB projekta je rezultirao ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) normama za radiodifuziju digitalnog videosignala putem satelitskih komunikacija (DVB-S, DVB-Satellite) [17], sustava kabela

televizije (DVB-C, DVB-Cable) [18], i sustava zemaljske radiodifuzije (DVB-T, DVB-Terrestrial), [19].

Radiodifuzija digitalnih TV signala svoju je prvu primjenu imala u satelitskim sustavima. Satelitska radiodifuzija videosignala (DVB-S) definirana je ETSI normom ETSI EN 300 421: *Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services*, koja je usvojena 1994. godine. Iste godine usvojena je i norma ETSI EN 300 429: *Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for cable systems*, za radiodifuziju digitalnog videosignala putem kabelskih sustava (DVB-C), dok je norma ETSI EN 300 744: *Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*, za radiodifuziju digitalnog videosignala putem mreže zemaljskih odašiljača (DVB-T) usvojena 1996. godine. Navedene tri norme pripadaju prvoj generaciji ETSI normi za radiodifuziju.

Razlike u navedenim normama za radiodifuziju televizijskog signala su uzrokovane različitim svojstvima prijenosnog medija, a odnose se na modulacijske postupke, način ispravljanja pogrešaka i frekvencijska područja za distribuciju signala. Kanalno kodiranje i modulacijski postupak prilagođeni su značajkama prijenosnog medija.

U satelitskoj radiodifuziji rabe se geostacionarni sateliti smješteni u geostacionarnoj orbiti na visini 35 784 km zbog čega pojedini satelit stalno pokriva određeno područje na Zemlji. Uzlazna veza prema satelitu (engl. *up-link*) i silazna veza od satelita (engl. *down-link*) prema zemaljskoj satelitskoj postaji rabe različite frekvencijske pojaseve za prijenos signala. U Europi su za satelitsku radiodifuziju u uporabi frekvencijska područja u K_u -pojasu kako slijedi:

- 14,0-14,5 GHz za uzlaznu vezu,
- 10,7-12,75 GHz za silaznu vezu.

Unutar određenog frekvencijskog područja svaki satelit prenosi signale s dvije ortogonalne polarizacije (linearne polarizacije horizontalna i vertikalna ili kružne polarizacije lijeva i desna kružna polarizacija) čime se udvostručuje kapacitet prijenosa. Svaki satelit može u K_u -pojasu emitirati signale u širini pojasa približno 4 GHz.

DVB-S sustav rabi QPSK (engl. *Quadrature Phase Shift Keying*, QPSK) modulacijski postupak koji osigurava visoku djelotvornost po snazi, što je važno u satelitskim komunikacijama, u kojima je odašiljačka snaga sa satelita mala, a gušenje signala pri prijenosu veliko.

DVB-S norma ubrzo je nakon usvajanja postala u svijetu najviše korištena norma za satelitsku radiodifuziju, a do 2004. godine u svijetu je bilo u uporabi preko 100 milijuna DVB-S prijamnika. Deset godina nakon usvajanja norme DVB-S usvojena je nova inačica norme – DVB-S2, koja je trebala uvažiti tehnološki napredak postignut u međuvremenu.

DVB-C sustav rabi QAM (engl. *Quadrature Amplitude Modulation*, QAM) modulacijski postupak s 16, 32 ili 64 diskretna stanja, koji rezultira u visokoj spektralnoj djelotvornosti i omogućava distribuciju signala kanalima čija je širina ograničena na 7 ili 8 MHz. Za

distribuciju TV signala u sustavima kabelaške televizije na raspolaganju su, pored kanala u pojasevima VHF I, VHF III, UHF IV i UHF V, i posebni kanali (S-kanali), koji se ne mogu rabiti zemaljskim sustavima jer su namijenjeni drugim službama. To povećava broj raspoloživih kanala u odnosu na zemaljsku radiodifuziju. U DVB-C sustavu zbog povoljnijih uvjeta u kanalu nije potrebno implementirati sve elemente zaštite od pogrešaka koje se rabe u sustavima DVB-T i DVB-S čime je poboljšava omjer između ukupne i korisne brzine prijenosa te spektralna djelotvornost.

DVB-T sustav se temelji na primjeni frekvencijskog multipleksa kodiranih ortogonalnih podnositelja (engl. *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*, COFDM) u kome se rabi veliki broj frekvencijski bliskih podnositelja (2k ili 8k), pri čemu pojedini podnositelji mogu biti modulirani QPSK, 16-QAM ili 64-QAM postupkom. OFDM pokazuje dobra svojstva u uvjetima izraženoga višestaznog prostiranja, povoljne osobine u uvjetima kad su smetnje koncentrirane na uski pojas frekvencija (selektivni fading) te dobra svojstva u slučaju višestrukog prijama. Kašnjenje primljenog signala, koji je stigao do prijavnika neizravnim stazom, uzrokom je smetnji (višestazno prostiranje) jer kraj jednog simbola može zahvatiti početak idućeg simbola. Nepovoljni učinci kašnjenja pojedinih signala uklanjaju se dodavanjem zaštitnog intervala na početak OFDM-simbola. Kada je najveće kašnjenje signala manje od veličine zaštitnog intervala ne nastaju smetnje. Veličinu zaštitnog intervala treba prilagoditi topologiji SFN mreže jer veličina zaštitnog intervala određuje najveće dopušteno kašnjenje reflektiranih signala i najveću udaljenost odašiljača u SFN mreži.

Nakon usvajanja norme za digitalnu zemaljsku televiziju, idući važan korak u implementaciji sustava digitalne zemaljske televizije bio je usvajanje frekvencijskog plana za digitalnu televiziju. Naime, od 15.05.-16.06.2006. održana je u Ženevi Regionalna radiokomunikacijska konferencija za planiranje usluga digitalne zemaljske radiodifuzije u dijelovima Regija 1 i 3 u frekvencijskim područjima 174-230 MHz i 470-862 MHz (RRC-06) na kojoj je sudjelovalo 118 država i na kojoj je utvrđen novi frekvencijski plan za digitalnu televiziju (GE-06), [20]. Time je prestao vrijediti Frekvencijski plan za analognu televiziju (*Regional Agreement for the European Broadcasting Area – Stockholm 1961*), [21] utvrđen na Europskoj VHF/UHF radiodifuzijskoj konferenciji (European VHF/UHF Broadcasting Conference), održanoj u Stockholmu 1961. Republika Hrvatska je na RRC-06 dobila jedno nacionalno DVB-T pokrivanje u VHF području i sedam nacionalnih DVB-T pokrivanja u UHF području uz dodatna lokalna i regionalna pokrivanja.

Tablica 1.5.6. Stanje implementacije DVB-T sustava u europskim zemljama (izvor: DigiTAG <http://www.digitag.org/>)

Država	Početak digitalnog emitiranja	Postupak kompresije	Gašenje analognih odašiljača
Ujedinjeno Kraljevstvo	1998.	MPEG-2	2012.
Švedska	1999.	MPEG-2	29. listopada 2007.
Španjolska	2000./ 2005.	MPEG-2	3. travnja 2010.
Finska	2001.	MPEG-2	1. rujna 2007.
Švicarska	2001.	MPEG-2	26. studenog 2007.
Njemačka	2002.	MPEG-2	25. studenog 2008.
Belgija	2002.	MPEG-2	1. ožujka 2010.
Nizozemska	2003.	MPEG-2	11. prosinca 2006.
Italija	2004.	MPEG-2	2012.
Francuska	2005.	MPEG-2/MPEG-4 AVC	2011.
Češka Republika	2005.	MPEG-2	2011.
Danska	2006.	MPEG-2/MPEG-4 AVC	1. studenoga 2009.
Estonija	2006.	MPEG-4 AVC	1. srpnja 2010.
Austrija	2006.	MPEG-2	2010.
Slovenija	2006.	MPEG-4 AVC (TBC)	2011.
Norveška	2007.	MPEG-4 AVC	1. prosinca 2009.
Litva	2008.	MPEG-4 AVC	2012.
Mađarska	2008.	MPEG-4 AVC	2011.
Ukrajina	2008.	MPEG-4 AVC	2014.
Latvija	2009.	MPEG-4 AVC	1. lipnja 2010.
Portugal	2009.	MPEG-4 AVC	2012.
Hrvatska	2009.	MPEG-2	5. listopada 2010.
Poljska	2009.	MPEG-4 AVC	2013.
Slovačka	2009.	MPEG-2	2012.
Irska	2010.	MPEG-4 AVC	2012.
Rusija	--	MPEG-4 AVC	2015.

Preporukom Europske komisije [22], početak 2012. godine određen je kao krajnji rok za prestanak analognog emitiranja televizijskih programa u svim zemljama članicama EU-a. Prestanak rada analognih TV odašiljača u ostalim zemljama sudionicama RRC-06 planiran je do 2015. godine. Tablica 1.5.6. prikazuje podatke o stanju implementacije DVB-T sustava u europskim zemljama.

Uz normu DVB-T, koja se rabi u digitalnim zemaljskim radiodifuzijskim sustavima u Europi i Australiji, u svijetu danas postoje tri norme za zemaljsku radiodifuziju:

- ATSC (*Advanced Television System Committee*) u SAD, u kojoj je širina kanala 6 MHz, namijenjena je prijenosu HDTV signala, a temeljni postupak kompresije videosignala je MPEG-2, pri čemu je razlika u odnosu na DVB-T u modulacijskom postupku, [23];
- ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) u Japanu, koja radi sa širinama kanala 6, 7 i 8 MHz i omogućava prijenos SDTV i HDTV signala, [24];

- DMB-T/H (*Digital Multimedia Broadcast-Terrestrial/Handheld*) u Kini, u kojoj je širina kanala 8 MHz i omogućava prijenos SDTV i HDTV signala, [25].

Četiri norme za radiodifuziju digitalnog videosignala putem mreže zemaljskih odašiljača manje se međusobno razlikuju nego što su se razlikovali analogni televizijski sustavi (NTSC, PAL i SECAM). Sve tri norme rabe MPEG-2 prijenosni tok podataka i u svim normama rabe se isti postupci kompresije (za SDTV u implementaciji sustava prevladava MPEG-2 postupak kompresije videosignala, a za HDTV u implementaciji sustava prevladava H.264/AVC postupak kompresije videosignala). Sustavi se razlikuju u odnosu na širinu kanala i modulacijski postupak.

1.5.7. Druga generacija normi za radiodifuziju

DVB projekt nastavlja sa svojim radom tako da je razvijena druga generacija ETSI normi za radiodifuziju u koju pripadaju:

- ETSI EN 302 304: *Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)*, iz 2004. godine koja definira prijenosni sustav za mobilne uređaje i dlanovnike, [26];
- ETSI EN 302 307: *Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*, iz 2004. godine koja definira drugu generaciju satelitskih sustava, [27];
- ETSI EN 302 583: *Framing Structure, channel coding and modulation for Satellite Services to Handheld devices (SH) below 3 GHz (DVB-SH)*, iz 2008. godine koja definira hibridni zemaljsko/satelitski sustav za mobilne uređaje i dlanovnike, [28];
- ETSI EN 302 755: *Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)* iz 2009. godine koja definira drugu generaciju sustava za zemaljsku radiodifuziju, [29];
- ETSI EN 302 769: *Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2)* iz 2010. godine koja definira drugu generaciju sustava digitalne kabelaške televizije (DVB-C2), [30].

Poboljšanja druge generacije ETSI normi u odnosu na prvu generaciju sastoje se u sljedećem:

- povećana je spektralna djelotvornost uporabom složenijih modulacijskih postupaka što ima za posljedicu povećanje korisne brzine prijenosa i bolje iskorištenje raspoložive širine frekvencijskog pojasa (u pojedinom kanalu može se prenositi veći broj TV programa);
- poboljšane su tehnike zaštite od pogrešaka tako da je moguće postići izvrsnu kvalitetu prijamnog signala i u uvjetima djelovanja visokih razina šuma i interferencije u kanalu;
- povećan je broj parametara sustava koji mogu biti odabrani u postupku zaštite od pogrešaka i modulacije čime se postiže veća fleksibilnost sustava i mogućnost prilagodbe različitim namjenama, uvjetima u kanalu i vrstama usluga.

DVB-H uvažava postignuća DVB-T sustava i provodi njegovu prilagodbu prijama na mobilnim uređajima. Temeljni cilj u razvoju norme DVB-H bio je smanjenje potrošnje snage prijamnog terminala te poboljšanje značajki prijenosa za mobilni kanal. U istom multipleksu mogu se prenositi DVB-T i DVB-H usluge. Podaci iz koderu oblikuju se u IP (*Internet Protocol*) pakete nakon čega se rabi postupak omatanja IP paketa i njihov prijenos putem MPEG-2 prijenosnog toka podataka. Omatanje IP paketa uključuje višeprotokolno omatanje (engl. *Multi-Protocol Encapsulation*, MPE), unaprijedno ispravljanje pogrešaka (MPE-FEC) i podjelu na vremenske odsječke (engl. *Time Slicing*). Naprednim tehnikama zaštite od pogrešaka rješava se problem pogrešaka pri prijenosu signala, smanjuje utjecaj Dopplerova efekta i povećava tolerancija na impulsne smetnje. Dubinskim ispreplitanjem bitova kroz dva ili četiri simbola OFDM-a kod inačica 2k i 4k povećava se otpornost na impulsne smetnje i pouzdanost prijama signala u pokretu. Prijenosom podataka pojedinog programa u vremenskim odsječcima smanjenje se potrošnja energije. Podaci pojedinog televizijskog programa šalju se u kraćim vremenskim intervalima visokim brzinama prijenosa (engl. *bursts*). Prijamnik je aktivan samo za vrijeme prijama snopova podataka koji pripadaju željenom programu, a ostatak vremena je neaktivan. Tako se postiže ušteda energije i smanjuje potrošnja baterije.

Kako bi se ostvarila što niža brzina prijenosa podataka, broj elemenata slike reduciran je približno na četvrtinu broja elemenata korištenih u televizijskoj slici standardne kvalitete. Za kompresiju ulaznog signala upotrebljavaju se napredni algoritmi, najčešće MPEG-4 *Part 10*, tj. H.264/AVC za sliku, [12] i AAC+ (*Advanced Audio Coding*) za zvuk, [31]. Moguće je i smanjenje broja prikazanih slika u sekundi. Rabi se OFDM, a pored 2k i 8k sustava uvodi se i mogućnost odabira 4k sustava. Ovisno o odabranim parametrima sustava koji određuju korisnu brzinu prijenosa, korisnicima na raspolaganju može biti dvadeset do četrdeset TV programa po multipleksu. Uobičajena brzina prijenosa jednog televizijskog programa iznosi 200 kbit/s, a maksimalna je ograničena na 384 kbit/s.

U cijeloj Europi bilo bi poželjno osigurati zajednički frekvencijski pojas koji bi se koristio isključivo za mobilnu televiziju. Takvo stanje već je uspostavljeno u Sjedinjenim Američkim Državama, a u Europi se mobilna televizija mora boriti za spektar s ostalim formatima televizije. Neujednačeni način uporabe spektra u različitim zemljama može dovesti i do interferencije u graničnim područjima između država.

Ograničenje koje spada u samu srž sustava DVB-H je to što je televizijski program namijenjen mobilnim uređajima samo preoblikovani zemaljski program. Ne postoji mogućnost personalizacije i gledanja točno određenog videomaterijala na zahtjev, kao što je to moguće u sustavima temeljenim na prijenosu podataka mobilnim mrežama treće generacije. Prednost pred 3G mobilnim sustavima je u korištenju radiodifuzijskog prijenosa gdje TV programi mogu biti dostupni neograničenom broju korisnika unutar područja pokrivanja.

U ožujku 2008. godine Europska Unija je, zbog jedinstvenosti tržišta, podržala je DVB-H kao jedini standard radiodifuzije televizijskog signala namijenjen mobilnom prijama. U nekim europskim zemljama DVB-H mreže su u komercijalnom radu (Finska, Švicarska, Austrija,

Albanija, Francuska, Mađarska, Italija, Nizozemska, Poljska). Afirmacija standarda DVB-H i komercijalno emitiranje omogućeni su gašenjem analogne televizije i otvaranjem novih multipleksa. Napredak u tehnologiji postignut je, ali dolazi do opadanja optimizma oko raširenosti i financijske isplativosti mobilne televizije.

Ispitivanja tržišta provedena u europskim zemljama 2007. godine pokazala su da 95% Europljana nije iskazalo interes za gledanje televizije na mobilnim telefonima u idućoj 2008. godini. U nekim je državama mobilna televizija besplatna dok drugima nije. Više se ne računa na neupitni uspjeh i postavljaju se pitanja o potrebama tržišta i načinu komercijalizacije. Konačni oblik komercijalizacije nije definiran, a postoji više mogućnosti, od one da se samo reemitira zemaljski televizijski program, do one da nastanu novi televizijski nakladnici. Postoji mogućnost da pružatelji usluge mobilne televizije neće biti zainteresirani za nacionalnu koncesiju, već samo za regionalne koncesije koje bi pokrivale veće gradove.

DVB-S2 norma omogućava radiodifuzijske, interaktivne i profesionalne primjene, a u zajednici s H.264/AVC postupkom kodiranja predstavlja temelj satelitske radiodifuzije HDTV signala. Pored modulacijskog postupka QPSK moguće se odabrati i modulacijske postupke 8-PSK, 16-APSK, 32-PSK s većom spektralnom djelotvornošću, ali i većom osjetljivošću na šum u kanalu. Da bi se povećala otpornost signala na pogreške koriste se poboljšane tehnike zaštite od pogrešaka. Reed-Solomonovo (RS) vanjsko kodiranje u zajednici s konvolucijskim unutarnjim kodiranjem zamijenjeno je BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) vanjskim kodiranjem u kombinaciji s LDPC (*Low Density Parity Check*) unutarnjim kodiranjem. Sve to dovodi do povećanja broja SDTV ili HDTV programa koji su mogu prenositi u jednom satelitskom kanalu (transponderu), Tablica 1.5.7.

Tablica 1.5.7. Usporedba DVB-S i DVB-S2 sustava

Izračena snaga sa satelita (P) i C/N	$P = 51$ dBW, $C/N = 5,1$ dB		$P = 53,7$ dBW, $C/N = 7,8$ dB	
	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Sustav	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulacijski postupak i omjer koda	QPSK, 2/3	QPSK, 3/4	QPSK, 7/8	8-PSK, 2/3
Korisna brzina prijenosa (Mbit/s)	33,8	46 (36%)	44,4	58,8 (32% više)
Broj SDTV programa	7 MPEG-2 15 H.264/AVC	10 MPEG-2 20 H.264/AVC	10 MPEG-2 20 H.264/AVC	13 MPEG-2 26 H.264/AVC
Broja HDTV programa	1-2 MPEG-2 3-4 H.264/AVC	2 MPEG-2 5 H.264/AVC	2 MPEG-2 5 H.264/AVC	3 MPEG-2 6 H.264/AVC

DVB-S2 postiže izvrsne prijenosne karakteristike približavajući se Shannonovoj granici koja predstavlja teorijski maksimum kapaciteta kanala (brzine prijenosa podataka) u kanalu s određenom razinom šuma. Sustav može raditi s omjerom C/N od -2 dB uz QPSK modulaciju do +16 dB uz 32-APSK modulaciju i omogućava povećanje korisne brzine prijenosa za više od 30% u odnosu na DVB-S.

U SAD-u i Europi veliki broj satelitskih operatora rabi DVB-S2 u zajednici s H.264/AVC kodiranjem videosignala za distribuciju HDTV usluga (npr. Premiere u Njemačkoj, BSkyB u Ujedinjenom Kraljevstvu, Sky u Italiji, DirecTV u SAD-u). DVB-S2 je usvojen i u

profesionalnim primjenama pa tako europska mreža javnih televizija (Eurovizija) svoju kontribucijsku mrežu za razmjenu sadržaja temelji na sustavu DVB-S2.

DVB-SH sustav proširuje mogućnosti DVB-H sustava uvođenjem distribucije signala putem satelita čime se osigurava pokrivanje velikih područja pa i cijelih država. Rabi se frekvencijsko područje ispod 3 GHz, najčešće oko 2,2 GHz (S-pojas). U onim područjima u kojima nije moguć izravan prijam sa satelita rabe se zemaljski repetitori (engl. *gap filler*). Slično kao u sustavima DVB-T i DVB-H, u zemaljskoj komponenti sustava rabi se OFDM dok se za satelitski prijenos uvodi i multipleksiranje po vremenu (engl. *Time Division Multiplexing*, TDM) čijim kombiniranjem nastaju dvije referentne arhitekture:

- SH-A koja rabi OFDM u satelitskoj i zemaljskoj vezi,
- SH-B koja rabi TDM u satelitskoj vezi, a OFDM u zemaljskoj vezi.

Pokrivanje željenog područja signalom teže je postići u S-pojasu nego u UHF-pojasu tako da je u zemaljskoj mreži potrebno rabiti veliki broj repetitora u gusto naseljenim područjima. Cijene izvedbe ovakve mreže se može znatno smanjiti ako je zahtijevani odnos C/N nizak, što se postiže naprednim tehnikama zaštite od pogreške koje čine signal otpornim na pogreške u lošim prijamnim uvjetima. Stoga se u sustavu DVB-SH za unaprijedno ispravljanje pogrešaka rabi 3GPP2 turbokodiranje u kombinaciji s fleksibilnim tehnikama ispreplitanja. Sustav je u uporabi u SAD-u, dok je u Europi u fazi ispitivanja.

DVB-T2 kao druga generacija DVB-T sustava postiže slična poboljšanja kao DVB-S2 sustav u odnosu na DVB-S te omogućava djelotvornu distribuciju HDTV signala u zemaljskim radiodifuzijskim sustavima. DVB-T2 sustav nije dizajniran radi zamjene sustava DVB-T u kratkoročnom ili srednjoročnom periodu, već će dva sustava koegzistirati u dužem vremenskom periodu, a u onim zemljama u kojima je DVB-T sustav u uporabi, zamjena sustava DVB-T sustavom DVB-T2 će biti postepena i dugotrajna. U zemljama u kojima je proveden prijelaz s analogne na digitalnu zemaljsku radiodifuziju, uporabom DVB-T2 tehnologije mogu biti uvedene nove usluge. Na taj način, na primjer, mogu biti uvedene HDTV usluge na nacionalnoj razini. Međutim, treba napomenuti da za uvođenje HDTV usluga nije neophodna DVB-T2 tehnologija, već se HDTV može uvesti i na DVB-T platformi.

DVB-T2 temelji se na primjeni OFDM-a i tehnika kodiranja radi zaštite od pogrešaka koje se rabe u DVB-S2 sustavu (LDPC/BCH). Norma je fleksibilnija i omogućava rad s većim brojem podnositelja, veću slobodu u odabiru zaštitnog intervala te smanjenje broja pilotskih podnositelja potrebnih za ispravan rad sustava. Značajna razlika u odnosu na DVB-T je primjena multi-PLP (*Physical Layer Pipes*) mehanizma koji omogućava odabir stupnja zaštite od pogrešaka posebno za svaku uslugu u multipleksu, dok su se u DVB-T sustavu odabrani parametri primjenjivali na sve usluge u multipleksu. Taj mehanizam dopušta dekodiranje pojedine usluge iz multipleksa, a ne svih usluga u multipleksu istodobno kao što je to bilo u DVB-T, što doprinosi uštedi energije prijarnika. Tablica 1.5.8. prikazuje usporedbu DVB-T i DVB-T2 sustava.

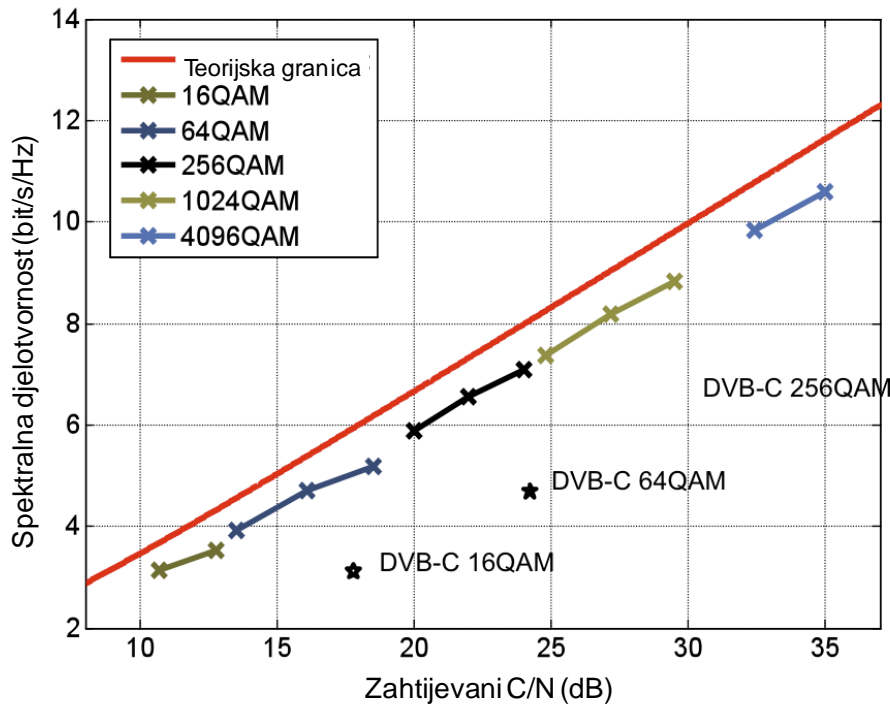
Tablica 1.5.8. Usporedba parametara DVB-T i DVB-T2 sustava

	DVB-T	DVB-T2
FEC	RS + konvolucijsko	BCH + LDPC
Omjer koda	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modulacijski postupak	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
Broj podnositelja	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Brzina prijenosa uz $C/N \approx 20$ dB	29 Mbit/s	47,8 Mbit/s
C/N za brzinu prijenosa ≈ 22 Mbit/s	16,7 dB	8,9 dB

DVB-T2 omogućava povećanje kapaciteta multipleksa do 50% u odnosu na DVB-T i veću fleksibilnost u izgradnji SFN mreža. Uporabom H.264/AVC kodera omogućena je distribucija 4-5 HDTV programa u jednom multipleksu. Sustav je u uporabi u Ujedinjenom Kraljevstvu (četiri HDTV programa), Italiji (dvanaest HDTV programa) i Švedskoj (devet HDTV programa).

DVB-C2 omogućava povećanje spektralne djelotvornosti u digitalnim kabljskim sustavima te uvođenje novih usluga kao što su video na zahtjev (engl. *Video on Demand*, VoD) i HDTV. U odnosu na DVB-C sustav, DVB-C2 omogućava povećanje korisne brzine prijenosa za više od 30%. te omogućava veću fleksibilnost u odabiru parametara sustava radi prilagodbe načina rada različitim vrstama mreža, usluga i posebnim zahtjevima korisnika. Prijelaz sa DVB-C na DVB-C2 će biti postepen i dugotrajan i očekuje se da će dva sustava koegzistirati u sustavima kabljske televizije dugi niz godina.

DVB-C2 se temelji na primjeni OFDM-a i tehnika kodiranja radi zaštite od pogrešaka koje se rabe u DVB-S2 i DVB-T2 sustavima (LDPC/BCH). Pojedini OFDM podnositelji mogu biti modulirani s 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM i 4096-QAM postupcima, a prijenosne karakteristike se približavaju Shannonovoj granici koja predstavlja teorijski maksimum kapaciteta kanala, Slika 1.5.2.



Slika 1.5.2. Spektralna djelotvornost sustava DVB-C i DVB-C2

1.5.8. IPTV

Pored radiodifuzijskih mreža digitalni televizijski signali se mogu distribuirati do korisnika putem IPTV (engl. *Internet Protocol Television*, IPTV) sustava. Televizija putem protokola IP sustav je u kome se digitalni SDTV i HDTV signali prenose do korisnika uz uporabu protokola IP koristeći širokopojasnu mrežnu infrastrukturu telekomunikacijskih operatora i/ili davatelja internetskih usluga (engl. *Internet Service Provider*, ISP), [32]. Davatelj IPTV usluge najčešće rabi zatvorenu mrežnu infrastrukturu u kojoj je usluga dostupna samo pretplatnicima. Davatelj usluge jamči korisnicima visoku razinu kvalitete usluge. Pored usluge prijama velikog broja televizijskih i radijskih programa, u IPTV sustavu mogu biti dostupne dodatne usluge kao što su video na zahtjev (VOD), osobni videorekorder (engl. *Personal Video Recorder*, PVR), gledanje TV s vremenskim pomakom (engl. *Time Shifted TV*, TSTV), igre i sl. Velika prednost IPTV sustava u odnosu na radiodifuzijske sustave su upravo usluge koje zahtijevaju dvosmjernu komunikaciju i interaktivnost.

Združivanjem IPTV-a, širokopojasnog pristupa Internetu i telefonije nastaje „*Triple Play*“ usluga. Razlozi za uvođenje „*Triple Play*“ usluge sa stajališta pretplatnika su zadržavanje postojećih i uvođenje novih usluga, jedan račun za sve usluge i bolja kvaliteta usluge, a sa stajališta davatelja usluge uporaba istih uređaja i opreme za pružanje više usluga, eliminacija zastarjelih mrežnih tehnologija i jedinstveno upravljanje i nadzor nad sustavom.

Mreže temeljene na protokolu IP nisu idealna tehnologija za prijenos digitalnog videosignala. U digitalnom videosignalu potrebno je održavati točne vremenske odnose radi omogućavanja sinkronizacije i ispravnog i neprekinutog prikazivanja sadržaja. Digitalni videosignal posebno je osjetljiv na promjenjivost kašnjenja u prijenosu. U prošlosti mreže za distribuciju

televizijskog signala razvijale su se kao sustavi posebno projektirani i izgrađeni tako da budu prilagođeni značajkama i posebnostima videosignala. U mrežama temeljenim na protokolu IP prenose se različite vrste podataka iz različitih izvora u obliku paketa bez jamčenja održavanja redoslijeda i vremenskih odnosa između paketa pri dolasku na odredište. Unatoč suštinskoj nekompatibilnosti tržište IPTV usluga u stalnom je porastu.

Dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu velikom broju građana strateška je odrednica u mnogim europskim zemljama, a ista mreža može biti iskorištena i za dostavljanje videosadržaja. Cijene mrežnih uređaja i opreme padaju iz godine u godinu zbog masovne proizvodnje i postojanja općeprihvaćenih normi na svjetskoj razini. IP mreže postoje u svim zemljama svijeta pri čemu broj širokopojasnih priključaka na Internet ubrzano raste. IP je idealna tehnologija za druge aplikacije kao što su prijenos podataka, umrežavanje LAN-ova, pristup datotekama i sl. Upravo to pogoduje razvoju i porastu broja korisnika IPTV sustava.

Prednosti IPTV u odnosu na konkurentske tehnologije (kabelska i satelitska televizija) za distribuciju televizijskog signala su fleksibilnost mreža temeljenih na protokolu IP, pristupačne cijene mrežnih uređaja i opreme, općeprihvaćenost protokola IP te mogućnost dvosmjernе komunikacije i interaktivnosti.

Nedostaci IPTV u odnosu na konkurentske tehnologije su očekivanje korisnika da su svi sadržaji na Internetu besplatni (usluge u IPTV sustavu nisu besplatne), potreba za promjenom navika gledatelja, mrežni „jitter“ te uporaba relativno novih i nedovoljno provjerenih tehnologija. U radiodifuzijskim sustavima svi televizijski programi su stalno na raspolaganju svim gledateljima, a gledatelj odabire koji program će gledati. U IPTV sustavu programi se nalaze „na mreži“, a do gledatelja se prenosi samo onaj program koji je gledatelj odabrao za gledanje. Najčešće korišteni protokol za izbor kanala u IPTV sustavu je IGMP (*Internet Group Management Protocol*).

U pristupnoj mreži se za ostvarivanje širokopojasne veze između davatelja usluge i korisnika može koristiti nekoliko tehnologija:

- tehnologije digitalne pretplatničke linije (engl. *Digital Subscriber Line*), tj. različite inačice ADSL-a (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) kao što su ADSL, ADSL2, ADSL2+ te inačice VDSL-a (*Very High Data Rate Digital Subscriber Line*),
- pasivna optička mreža (engl. *Passive Optical Network*, PON).

Ispravnim projektiranjem mreže tako da uključuje mehanizme za dodjelu prioriteta u prijenosu paketa i mogućnost višedredišnog odašiljanja (engl. *multicast*), IP mrežna infrastruktura postaje atraktivno rješenje za distribuciju televizijskih programa i realizaciju „triple play“ usluge. Najčešće korištene norme za kodiranje videosignala su MPEG-2, H.264/AVC i VC-1, a za kodiranje audiosignala MPEG-1 Layer II, MPEG-2 Layer II, AC-3 (Dolby Digital). Potrebne širine pojasa za „Triple Play“ uslugu su:

- televizija standardne kvalitete – 3-6 Mbit/s po kanalu s MPEG-2 kompresijom i 1,5-3 Mbit/s po kanalu s H.264/AVC (ili VC-1) kompresijom;

- televizija visoke kvalitete – 12-20 Mbit/s po kanalu s MPEG-2 kompresijom i 6-10 Mbit/s po kanalu očekivano s H.264/AVC kompresijom;
- elektronički programski vodič – do 0,5 Mbit/s u silaznom smjeru prema domu korisnika;
- širokopojasni Internet – tipično do 3 Mbit/s u silaznom i 1 Mbit/s u uzlaznom smjeru;
- VoIP i video-konferencija – 100 kbit/s do 1 Mbit/s simetrično u oba smjera;
- mrežne igre – do 1 Mbit/s simetrično u oba smjera.

1.5.9. 3DTV

Pojam trodimenzijska televizija (engl. *Three-Dimensional Television*, 3DTV) prirodno je proširenje pojma dvodimenzijske televizije (2DTV) kojoj se dodaje opažanje dubine u slici. 3D fotografija i 3D video nisu novi pojmovi. Povijest stereoskopije i stereoskopskih 3D slika seže još od davne 1838. godine, kada je fizičar Sir Charles Wheatstone razvio prvi stereoskopski sustav sa zrcalima, kojim je uspio projicirati dvije slike dobivene iz različitih perspektiva u jednu 3D sliku. U prošlosti se pojam 3DTV povezivao sa stereoskopskim slikama i 3D kinematografijom gdje su za gledanje slike bile potrebne posebne naočale. Najveći broj sustava koji omogućavaju doživljaj dubine u slici i volumena objekata nisu „istinski 3D“ već se temelje na postavkama stereoskopije i značajkama ljudskog vizualnog sustava koje omogućavaju opažanje dubine, [33]. Mogućnost da vidimo treću dimenziju imamo zbog toga što su nam oči malo razmaknute (u prosjeku 75mm) i zbog toga lijevom i desnim okom vidimo malo različite slike na temelju kojih procjenjujemo udaljenosti. Mozak te dvije slike spaja u jednu i u isto vrijeme uočava razlike te njih interpretira kao treću dimenziju.

U 3DTV sustavima potrebno je pronaći način kako dvije slike, koje čine stereoskopski par, prikazati odvojeno tako da svako oko vidi samo jednu sliku iz para. Tehnike koje su danas u komercijalnoj uporabi temelje se na tome da korisnik nosi naočale koje pomažu u razdvajanju slika. Tehnike za prikazivanje stereoskopskih slika pomoću naočala možemo podijeliti na dvije skupine. U prvoj se obje slike koje oči trebaju vidjeti prikazuju istodobno, dok se u drugoj slike prikazuju naizmjenice za svako oko posebno.

U tehnikama u kojima se slike prikazuju istodobno najčešće se slike multipleksiraju po boji ili po polarizaciji. Kod multipleksiranje po boji, lijeva i desna slika filtriraju se filtrima koji uklanjaju određeno područje boja iz slike. Promatrač mora nositi pasivne naočale s odgovarajućim filtrima, usklađenim s filtrima koji se rabe za dobivanje stereoskopskog para, obojenim tako da svako oko vidi samo jednu sliku. Ovo je jedna od najjeftinijih i kroz prošlo stoljeće najčešće korištenih tehnika za prikazivanje stereoskopskih slika. Glavni nedostatak ove tehnike je to što se korištenjem filtera u boji smanjuje kontrast slike i zasićenje boja. Najčešće upotrebljavani filtri u boji na naočalima su crveno-plavi ili crveno-zeleni filtri.

Multipleksiranje po polarizaciji tehnika je koja se služi polarizacijom svjetlosti za prikaz pojedinih slika na ekranu. Konfiguracija za prikazivanje tako polariziranih slika zahtijeva dva projektora od kojih će jedan prikazivati lijevu, a drugi desnu polariziranu sliku. Za polariziranje slike upotrebljavaju se linearne polarizacije koje su međusobno okomite, a može

se koristiti i kružna polarizacija. Prolaskom svjetlosti iz projektora kroz filtar, ona postaje polarizirana. Dva projekcijska uređaja proizvode dvije slike na platnu sačinjene od svjetlosti različitih polarizacija. Nakon odbijanja svjetlosti od platna, slika stiže do pasivnih naočala gledatelja, koje razdvajaju slike za lijevo i desno oko, zbog polarizacijskih filtra koji propuštaju samo željenu sliku. Za primjenu ovakve tehnike projekcije platno mora biti izrađeno od posebnog materijala s ugrađenim srebrnim česticama koje jako reflektiraju svjetlost ne mijenjajući pritom njezinu polarizaciju.

Kod metode gdje se dvije slike prikazuju naizmjenice koristi se zaslon koji u vrlo kratkim intervalima prikazuje prvo lijevu, pa onda desnu sliku. Ova tehnika iskorištava tromost ljudskog oka koje ne vidi dvije slike kao odvojene veće se one stapaju u cjelinu. Stoga će se vrlo brze promjene s dovoljnim brojem slika u sekundi doživjeti kao kontinuirane. U idealnom slučaju jedna poluslika ne bi smjela trajati duže od 8,3 ms (što je ekvivalent frekvencije izmjene poluslika od 120 Hz), odnosno potpuna stereoskopska slika ne bi smjela trajati duže od 16,7 ms (što odgovara frekvenciji izmjene slika od 60 Hz). U kino-industriji za ovakav tip prikazivanja najčešće se koristi frekvencija izmjene poluslika od 144 Hz. Brzo promjenjivi parovi slika koji se prikazuju na ekranu promatraju se kroz aktivne naočale. Takve naočale imaju male „zaslone“ koji se u odgovarajućem trenutku otvaraju i zatvaraju, tako da svako oko vidi odgovarajuću sliku. Za ovu tehniku prikazivanja potreban je i odgovarajući elektronski sklop obično ugrađen u same naočale, koji će dobro sinkronizirati projekcijsku sliku sa otvorima na naočalama. Ovakva konfiguracija predstavlja nešto skuplju i složeniju izvedbu, ali nudi bolju kvalitetu stereoskopske slike od prijašnjih metoda. Osim aktivnih naočala, ova metoda također dozvoljava i upotrebu pasivno polariziranih naočala. Gledanjem kroz dva odgovarajuća polarizacijska filtra moguće je potpuno zabraniti prolazak svjetlosti do oka jer prvi filtar propušta samo svjetlost određene polarizacije, dok se drugi filtar može podesiti tako da propušta samo svjetlost polarizacije okomite na onu koju propušta prvi filtar. Ovakav način reprodukcije zadržava zadovoljavajuću razinu kvalitete slike, bez obzira što se koriste pasivne naočale za gledanje. Ubrzo se ova metoda pokazala vrlo uspješnom i već se nekoliko zadnjih godina prakticira kinima koja reproduciraju 3D filmove, pogotovo zato jer za ovakav način reprodukcije nisu potrebna srebrna reflektirajuća platna.

U kućnom okruženju potreba za nabavom i korištenjem naočala može biti nepraktična i prije svega ograničavati gledatelja na slobodu gledanja iz različitih kutova i udaljenosti. Stoga se radi na razvoju autostereoskopskih sustava koji dozvoljavaju gledanje stereoskopskih slika bez ikakvih pomagala.

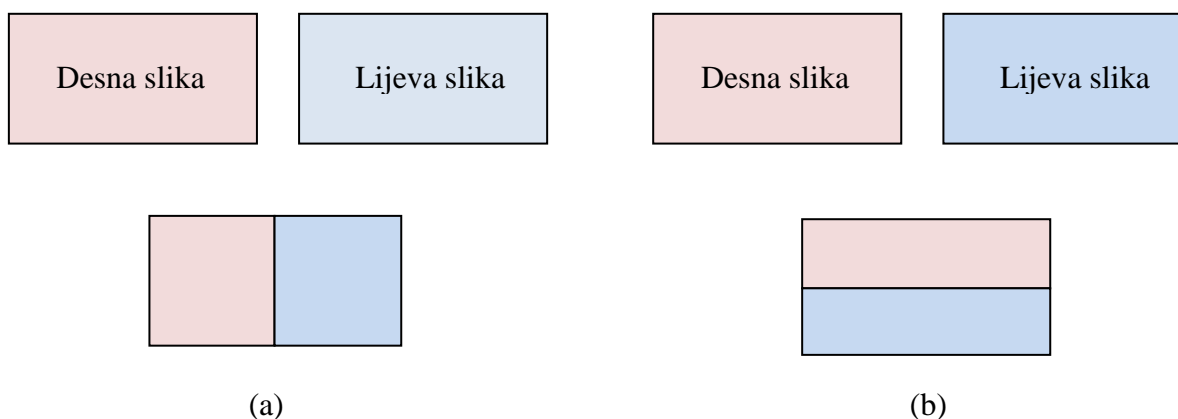
U modernim 3DTV sustavima značenje pojma 3D proširuje se na percepciju objekata u trodimenzijskom prostoru. U današnje vrijeme radi se na razvoju različitih 3DTV tehnologija, a uspjeh bilo koje tehnologije zahtijeva interdisciplinarni rad. Ono što se može uočiti razmatranjem različitih 3DTV tehnologija je, da sastavni dijelovi pojedinih 3DTV tehnologija počinju konvergirati prema sličnim rješenjima što doprinosi komercijalizaciji 3DTV sustava. Početkom 2010. godine u okviru DVB projekta započeo je rad na definiranju komercijalnih zahtjeva za implementaciju 3DTV sustava [34], a nakon njihova usvajanja započeo je rad na razvoju specifikacije za DVB-3DTV sustav. Za omogućavanje distribucije 3DTV signala postojećim radiodifuzijskim sustavima važan komercijalni zahtjev je bio omogućavanje

prijama 3DTV signala uporabom postojećih HDTV prijamnika (engl. *High Definition Television Set Top Box*, HDTV STB). Rješenje mora biti takvo da je potrebna samo softverska nadogradnja postojećih HDTV prijamnika. Navedeno rješenje naziva se „kompatibilnim na razini slike“ (engl. *frame compatible*) i znači da je potrebno zadržati kompatibilnost između prostornih formata slike postojećih HDTV signala i novih 3DTV signala.

DVB specifikacije ograničavaju se na prijam i dekodiranje signala, a ne bave se načinom prikazivanja slike. Za prikazivanje 3DTV slike gledatelj mora posjedovati odgovarajući uređaj koji može prikazati 3DTV sliku. Postojeći komercijalni HDTV televizori, u većini slučajeva neće imati tu mogućnost, ali će 3DTV televizori imati mogućnost prikazivanja 2D HDTV slike.

Postoji više 3DTV formata kojima se može osigurati kompatibilnost na razini slike kao što su *Side by Side* (SbS) format i *Top and Bottom* (TaB) format. U SbS formatu dvije slike koje čine stereopar prenose se unutar jedne HDTV slike, tako da svaka zauzima pola horizontalnog formata HDTV slike. Lijeva i desna slika iz stereopara su horizontalno skalirane tako da svaka sadrži upola manje elemenata slike u horizontalnom smjeru od cijele HDTV slike. Na primjer, u HDTV formatu 1280x720 lijeva slika (engl. *left*, L) će imati veličinu 640x720 i desna slika (engl. *right*, R) će imati veličinu 640x720, a prenosit će se jedna pored druge unutar jedne HDTV slike. U ovakvom prijenosu dolazi do smanjenja horizontalne rezolucije za svaku sliku u paru, Slika 1.5.3.(a). Nakon dekodiranja, 3DTV prijamnik će provesti horizontalno skaliranje svake slike iz para do veličine 1280x720.

U TaB formatu dvije slike koje čine stereopar prenose se unutar jedne HDTV slike, tako da svaka zauzima pola vertikalnog formata HDTV slike. Lijeva i desna slika iz stereopara su vertikalno skalirane tako da svaka sadrži upola manje elemenata slike u vertikalnom smjeru od cijele HDTV slike. Na primjer, u HDTV formatu 1280x720 gornja slika (engl. *top*, T) će imati veličinu 1280x360 i donja slika (engl. *bottom*, B) će imati veličinu 1280x360, a prenosit će se jedna ispod druge unutar jedne HDTV slike, Slika 1.5.3.(b). U ovakvom prijenosu dolazi do smanjenja vertikalne rezolucije za svaku sliku u paru. Nakon dekodiranja, 3DTV prijamnik će provesti vertikalno skaliranje svake slike iz para do veličine 1280x720.



Slika 1.5.3. 3DTV formati kompatibilnim na razini slike s HDTV formatima (a) *Side by Side* (SbS) format, (b) *Top and Bottom* (TaB) format

U svibnju 2010. godine u Australiji je započela radiodifuzija 3DTV signala u DVB-T mreži uz uporabu SbS formata i H.264/AVC kompresije videosignala.

1.5.10. Uporaba DTV normi u svijetu

U rujnu 2010. godine na web-stranicama DVB projekta objavljeno je izvješće o uporabi DVB- normi u svijetu, koje je za DVB projekt izradio Screen Digest, [35]. To izvješće pokazuje da je u svijetu krajem 2009. godine bilo u uporabi bilo oko 900 milijuna digitalnih prijamnika (satelitskih, kabljskih, zemaljskih i IPTV) te da od navedenog broja 52% čine DVB prijamnici (486 milijuna DVB prijamnika), 25% ATSC, 11% ISDB, 1% DMB, 4% (36 milijuna) IPTV te 7% ostale vrste prijamnika. Od ukupnog broja DVB-prijamnika 46% su DVB-S/S2 prijamnici, 30% DVB-T/T2 prijamnici i 24 % DVB-C/C2 prijamnici.

Literatura

- [1] C. Poynton: Digital Video and HDTV Algorithms and Interfaces, Morgan Kaufmann, 2003.
- [2] Y. Wang, J. Ostermann, Y. Zhang: Video Processing and Communications, Prentice-Hall, 2001.
- [3] M. Robin, M. Poulin: Digital Television Fundamentals, McGraw-Hill, 2000.
- [4] ITU-R Recommendation BT.470-6: Conventional analogue television systems, 1998.
- [5] ITU-R Recommendation BT.709-5: Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange, 2002.
- [6] SMPTE ST 296: Television - 1280 X 720 Progressive Image Sample Structure - Analog And Digital Representation And Analog Interface, 2001.
- [7] SMPTE ST 274: Television - 1920 x 1080 Image Sample Structure, Digital Representation and Digital Timing Reference Sequences for Multiple Picture Rates, 2003.
- [8] ITU-R Recommendation BT.601-6: Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios, 2007.
- [9] EBU – TECH 3299: High Definition (HD) Image Formats for Television Production, Geneva, 2010.
- [10] ISO/IEC 13818-2: Information Technology - Generic Coding of moving pictures and associated audio information: Video, 1996.
- [11] ISO/IEC 13818-1: Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems, 1996.
- [12] ITU-T Recommendation H.264 / ISO/IEC 14496-10: Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding, 2004.

- [13] R. Schäfer, T. Wiegand, H. Schwarz: The emerging H.264/AVC standard, EBU Technical review, str. 1-12, siječanj 2003.
- [14] J. Ostermann, J. Bormans, P. List, D. Marpe, M. Narroschke, F. Pereira, T. Stockhammer, T. Wedi: Video coding with H.264/AVC: tools, performance, and complexity, IEEE Circuits and Systems Magazine, Vol. 4, Issue 1, str. 7-28, 2004.
- [15] M. Moore: Playing it old school, DVB - Scene, No. 31, str. 13, rujan 2009.
- [16] ITU-R DTTB Handbook - Digital terrestrial television broadcasting in the VHF/UHF bands, ITU publications, Geneva, 2002.
- [17] ETSI EN 300 421 V1.1.2 (1997-08): Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services
- [18] EN 300 429 V1.2.1 (1998-04): Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for cable systems
- [19] EN 300 744 V1.6.1 (2009-01): Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television
- [20] ITU - Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06), Geneva, 2006.
- [21] ITU - Final Acts of the European Broadcasting Conference in the VHF and UHF bands, Stockholm, 1961.
- [22] COM(2005) 204 final, Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social committee and the Committee of the Regions on accelerating the transition from analogue to digital broadcasting, 2005.
- [23] A/53: ATSC Digital Television Standard, Parts 1 - 6, 2007.
- [24] ARIB STD-B31: Transmission system for digital terrestrial television broadcasting, Version 1.6, 2005.
- [25] GB 20600-2006: Framing structure, Channel coding and modulation for digital television terrestrial broadcasting system, 2006.
- [26] ETSI EN 302 304 V1.1.1 (2004-11): Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)
- [27] ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08): Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)

- [28] ETSI EN 302 583 V1.1.2 (2010-02): Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, channel coding and modulation for Satellite Services to Handheld devices (SH) below 3 GHz
- [29] ETSI EN 302 755 V1.1.1 (2009-09): Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)
- [30] ETSI EN 302 769 V1.1.1 (2010-04): Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2)
- [31] ETSI TS 102 005 V1.4.1 (2010-03): Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in DVB services delivered directly over IP protocols
- [32] G. O'Driscoll, Next generation IPTV services and technologies, John Wiley & Sons, 2008.
- [33] H. M. Ozaktas, L. Onural (Eds.), Three-Dimensional Television - Capture, Transmission, Display, Springer, 2008.
- [34] DVB BlueBook A151, Commercial Requirements for 3D-TV, 2010.
- [35] Screen Digest Reports for DVB,
http://www.dvb.org/about_dvb/dvb_worldwide/Screen_Digest_10_08_dvb.pdf

1.6. Digitalni radio

U ovom poglavlju razmatraju se mogućnosti radiodifuzije u budućnosti. Tehnološki napredak omogućuje nove metode emitiranja radijskog programa, prije svega digitalnim modulacijskim postupcima, pomoću Interneta i mobilne mreže. Pretpostavlja se da će dominantnu ulogu u budućnosti i dalje imati zemaljska radiodifuzija koja s dobro projektiranom odašiljačkom mrežom pokriva najveći broj potencijalnih korisnika radijskih usluga. Unatoč razvoju drugih tehnologija (televizija, Internet), uloga radija u svakodnevnom životu ljudi vrlo je značajna jer se radio sluša i dok se rade neki drugi poslovi (kućanski poslovi, vožnja automobilom). U posljednje vrijeme razvoj radija prati nove, digitalne tehnologije u koje se uključuje i emitiranje radijskog programa. Postoji sve više radijskih postaja, a i pristup njima može se odvijati klasičnom zemaljskom radiodifuzijom i novim načinima (putem Interneta, digitalne televizije i mobilnog telefona).

Digitalna tehnologija radiodifuzije već nudi brojne prednosti u odnosu na analognu. Osnovne njene prednosti su: mnogo lakše prebacivanje i navigacija između radijskih postaja, mogućnost pauziranja i naknadnog slušanja propuštenog radijskog programa, mogućnost skidanja pjesama ili programskog sadržaja na vlastite medije korisnika.

Buduće usluge bi trebale uz osnovni radijski program uključivati i video isječke, mnoštvo dodatnih informacija u tekstualnom obliku te mnogo širu funkcionalnost i fleksibilnost (npr. sadržaj programa u elektroničkom obliku, dodatne informacije o emisijama). Vrlo bitna mogućnost biti će trenutačni pristup nekim zanimljivim događajima poput sportskih aktivnosti. Emitiranjem digitalnim modulacijskim postupcima svakako će se poboljšati dostupnost radijskog programa s obzirom na vremenske uvjete i položaj određene lokacije prijama radijskog programa u prostoru. Poboljšava se i mogućnost pronalaženja različitih programskih sadržaja s obzirom na to što slušatelj preferira te se povećava broj specijaliziranih radijskih programa.

Distributeri radijskog programa ciljaju na specifične grupe slušatelja. One se mogu odrediti prema geografskom području na kojem se nalaze, ili prema zanimanju za određeni tip programa koji se emitira. U budućnosti će biti potrebno obratiti posebnu pozornost na sadržaj radijskog programa kad se razmatraju nacionalne i regionalne javne radijske postaje te privatne radijske postaje koje financijski opstaju uglavnom od emitiranja reklamnog sadržaja. Kod planiranja odašiljačke mreže, posebnu pozornost je potrebno usmjeriti na način prijama fiksni položaj u zatvorenom prostoru ili mobilni prijam u automobilima). Uz načine prijama i geografski uvjeti (gusta gradska naselja, seoska područja, planine ili velike vodene površine) su ključni parametri prilikom određivanja vjerojatnosti pokrivanja neke lokacije na različitim područjima. Usklađivanje programskog sadržaja s geografskim položajem regije u kojoj se emitira jedan je od važnijih zahtjeva davatelju radijskog programa.

U samim počecima radiodifuzije slušanje radija bila je aktivnost sama za sebe dok danas slušatelji najčešće rade druge poslove slušajući svoje omiljene programe. Taj trend će se zadržati i kod slušanja radijskog programa putem Interneta. Većina slušatelja ima svoje omiljene radijske programe, a za promjene radijskih postaja se rijetko odlučuju. Uvođenjem novog pristupnog medija (Internet) može se očekivati veći broj mlađe populacije koja se odlučuje na slušanje specijaliziranih radijskih programa (emisije o znanosti, sportu, društvenim zbivanjima i sl.).

Radijski program u budućnosti mora zadovoljiti sve raznolikije potrebe slušatelja. Rješenje za to uvođenje je novih tematskih radijskih postaja s multimedijским sadržajem te radijskih programa namijenjenih ciljanoj publici, ovisno o regiji koju radijska postaja pokriva. Radijski program emitiran na Internetu ili putem mobilne mreže mora uključivati i dodatne informacije kao što su slike, video isječci, tekst. Specijalizirani zahtjevi na sadržaj i mogućnost vremenski pomaknutog praćenja programa definitivno zahtijevaju prelazak na digitalne modulacijske postupke i postojanje povratnog kanala od slušatelja prema davatelju radijskog programa u realnom vremenu.

U budućnosti će se radiodifuzija odvijati na dva različita načina. Prvi način je klasični način u kojem se signal prenosi elektromagnetskim valovima digitalnim modulacijskim postupcima od odašiljača do prijarnika. Drugi je prijenos radijskog signala putem Interneta i mobilne mreže. U prvom načinu prijenosa najvažniji je parametar pristup raspoloživom slobodnom spektralnom području i osiguravanje većeg broja emitiranih kanala u što užem spektralnom pojasu. Pristup slušateljima u prvom načinu prijenosa je izravan, bez posrednika, dok je u

širokopojasnom načinu prijenosa radijskog signala pomoću Interneta ili mobilne mreže posrednik prisutan i njegova prisutnost može povećati cijenu usluge.

Usluga se kod zemaljske radiodifuzije istovremeno pruža većem broju korisnika i potrebna je stroga regulacija programskog sadržaja. Kvaliteta usluge je točno definirana te je u digitalnom načinu prijenosa slabo ovisna o vremenskim prilikama na području na kojem se program emitira. Najveća opasnost prijeti od interferencije različitih kanala koji se emitiraju na istim frekvencijama u graničnim područjima Republike Hrvatske sa drugim zemljama. Kod širokopojasnog emitiranja radijskog programa (Internet, mobilna mreža) osnovne karakteristike su promjenjiva kvaliteta usluge koja može ovisiti o trenutnom prometu na mreži. Kod ovakvog načina prijenosa moguće je pokriti puno šire područje, ali je potrebna pretplata davatelju usluge kako bi se informacija primila. Ovim načinom je moguće postići apsolutnu kontrolu programa te veću fleksibilnost i interaktivnost (dvosmjerna komunikacija).

Neki radijski distributeri u svijetu danas funkcioniraju u hibridnom načinu emitiranja u kojem se razlikuje radijski program emitiran konvencionalno (analognim ili digitalnim načinom prijenosa) u odnosu na radijski program distribuiran putem Interneta. U budućnosti je potrebno zadržati jednostavnost korištenja radijskog prijamnika, uvesti ograničavajuće zahtjeve na izbor standarda emitiranja radijskog programa, smanjiti troškove digitalnih radijskih prijamnika te uklopiti digitalni način prijenosa u već postojeći analogni sustav.

1.6.1. Pregled digitalnih sustava i njihovi osnovni parametri

Ovisno o zahtjevima slušatelja, potrebno je odabrati digitalne tehnike prijenosa koje će se koristiti kao i njihove osnovne parametre koji određuju kvalitetu odabranog sustava [1]. To su: troškovi za distributera i slušatelja s obzirom na odabrani način prijenosa, dostupnost opreme (odašiljača i prijamnika), postignuta funkcionalnost (mono, stereo, višekanalno, slanje dodatnih podataka u obliku slike ili videa), područje pokrivanja (međunarodno, nacionalno, regionalno, lokalno), kvaliteta usluga, kapacitet kanala (brzina prijenosa po kanalu, broj kanala u multipleksu) i fleksibilnost (mogućnost poboljšanja kvalitete prijenosa s ciljem povećanja kvalitete usluge). Ukoliko se planira zemaljska ili satelitska distribucija, tada se postavljaju pitanja da li je digitalni način prijenosa spreman za uporabu, kakva je raspoloživost spektra za primjenu novih tehnologija digitalnog prijenosa, da li je sustav kompatibilan sa drugim korisnicima spektra u susjednim pojasevima, da li je tehnologija standardizirana u Europi i svijetu i da li ima podršku proizvođača opreme i regulatornih agencija.

Radijski distributeri moraju osigurati mehanizme koji zadovoljavaju zahtjeve na kvalitetu usluge, pokrivenost i različitost sadržaja u njihovom programu. Troškovi distribucije moraju biti predvidivi i pod kontrolom davatelja usluga. S obzirom da se i u budućnosti očekuje kako će većina slušatelja radijski program primati radiodifuzijom, poseban naglasak u izvještaju se stavlja na digitalni način prijenosa signala zemaljskom radiodifuzijom. Razmotrit će se mogući sustavi analogne i digitalne radiodifuzije po svim frekvencijskim pojasevima s obzirom na definirane parametre.

Analogni način prijenosa sa frekvencijskom modulacijom (FM) u VHF Pojasu 2 (frekvencijsko područje od 87,5 MHz-108 MHz-a) trenutno je u Hrvatskoj dominantan u radiodifuziji zvuka. Prijenos dodatnih podataka uz osnovni radijski program ograničen je s obzirom na mali kapacitet kanala kojim se takvi drugi tipovi podataka kao što su RDS (*Radio Data System*) mogu prenijeti. U daljnjem dijelu izvještaja razmatra se korištenje sustava digitalne radiodifuzije koji postoje u Europi i svijetu (DRM, DRM+, DAB, HD Radio i RAVIS sustav) [2]. Osim navedenim radijskim sustavima, radijski programi se mogu emitirati korištenjem digitalne zemaljske televizijske mreže (DVB-T, DVB-T2). Za sada se tim sustavima emitira samo televizijski program. DVB-T2 sustav ima veći kapacitet od klasičnog DVB sustava i to omogućuje bolju zaštitu podataka te rad u različitim frekvencijskim područjima i različitim širinama kanala što ga potencijalno čini dostupnim i za prijenos audio signala. Problem je što se taj sustav teško može optimizirati za istovremeni fiksni i mobilni prijenos.

Isporuka radijskih usluga preko mobilne mreže treće generacije (*Third generation partner project, 3GPP*) također predstavlja novi način emitiranja radijskog programa. Integrirana mobilna difuzija (*Integrated Mobile Broadcast, IMB*) je novi standard za pružanje usluge „jedan prema više korisnika“ (engl. *multicast*) unutar TDD (*Time Division Duplex*) signala koji se koristi u mobilnim mrežama. Osim navedenim bežičnim prijenosom radijskog programa, on se može isporučivati i putem kabelskih usluga. Kabelski operatori nude dva tipa usluga. Prva je difuzija radijskih i televizijskih programa, a druga je pružanje telekomunikacijskih usluga (telefonija i Internet). Ova usluga je prostorno ograničena unutar objekta u kojemu se korisnik nalazi. Kako se internet usluga raširila tako je počelo emitiranje i radijskog programa na Internetu. Projekt RadioDNS omogućuje učinkovitu vezu između radio distributera i IP platformi. Radio distributeri moraju razviti strategije koje će omogućiti hibridni način rada i emitiranje putem različitih platformi. Internet je pogodan za interakciju između slušatelja i radio operatera. Kod ovakvog načina emitiranja potrebno je točno identificirati radijsku stanicu (s dodatnim podacima koji se emitiraju). Zvuk se također može emitirati i satelitskim sustavima ili hibridnim načinima kombinacijom satelitskih i zemaljskih sustava radiodifuzije. Satelitski sustavi su osobito pogodni za distribuciju usluga kojima se želi pokriti cijelo područje na nacionalnoj razini, time kompenzirajući ograničenja u spektru ili dostupnost infrastrukture. Distribucija preko satelita je moguća u L-pojasu (frekvencijsko područje od 1452MHz-a do 1492 MHz-a) dok se za prijenos multimedijskog sadržaja koristi S pojas. Problem sa satelitskim prijenosom je u tome da ga teško mogu koristiti mobilni korisnici koji se nalaze u automobilima.

Zemaljska distribucija radijskog programa omogućuje mnoštvo prednosti i za slušatelje i za davatelje radijskih usluga u odnosu na distribuciju preko Interneta.

Takvim načinom emitiranja moguće je točno specificirati područje pokrivanje nekog operatera na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini. Omogućen je fiksni, prijenosni prijam u pokretu (engl. *portable*, unutar zatvorenog i otvorenog prostora do brzine kretanja čovjeka) i mobilni prijam. Radijski prijammnici su jednostavni za korištenje i radijske postaje se lako pronalaze. Radijski program lako se prilagođava slušateljima u izvanrednim okolnostima

(krize i prirodne katastrofe) te je izvrstan izvor informacija o stanju u prometu. Kvaliteta radijske usluge neovisna je o trenutnom broju slušatelja.

1.6.2. Sustavi digitalne zemaljske radiodifuzije

DRM (*Digital Radio Mondiale*) je sustav primarno namijenjen zamjeni analognih tehnika u krakovalnom području (LF, MF i HF) sa mogućnošću proširenja u VHF pojasevima I, II i potencijalno III (mod E ili pod nazivom DRM+) [3]. DRM sustav nudi bolju kvalitetu signala i lakše pronalaženje postaja uz pokrivanje većeg područja s manjim brojem odašiljača. Ovo čini DRM sustav osobito pogodnim za emitiranje na međunarodnoj ili nacionalnoj razini za pokrivanje većeg područja. Obično se DRM sustavom prenose audio i multimedijски sadržaji jednog radijskog operatera. Zbog naprednih metoda audio kodiranja moguće je postići veću kvalitetu signala u usporedbi s analognim sustavom. DRM+ sustav je namijenjen za emitiranje u FM pojasu s kapacitetom od 185kb/s. DRM+ je sustav osobito pogodan za male radio-distributere koji ne mogu biti dio većeg nacionalnog multipleksa.

DAB (*Digital Audio Broadcasting*) je sustav radio difuzije namijenjen emitiranju u pojasu III [4]. DAB platforma koristi se za emitiranje nekoliko radijskih programa unutar jednog multipleksa sa širinom pojasa od 1,536MHz. DAB predstavlja efikasno rješenje za više davatelja radijskih usluga koji emitiraju svoje programe unutar jednog multipleksa. DAB sustav dopušta veliku razinu fleksibilnosti u odabiru tehnologije zaštite od pogrešaka za različite primjene i parametre prijenosnog kanala. Unutar DAB platforme postoje tri sustava (DAB, DAB+ i T-DMB) s različitim načinima kodiranja. DAB sustav koristi MPEG-2 kodiranje i ima kapacitet od 6 do 9 kanala unutar jednog multipleksa ovisno o željenoj kvaliteti audio signala i količini dodatnih multimedijских usluga. DAB+ sustav koristi MPEG 4 HE-AACv2 audio kodiranje i ima kapacitet od 12 do 18 kanala unutar multipleksa. T-DMB sustav se koristi za mobilni televizijski prijenos i koristi MPEG 4 H.264 kodiranje za video signal te MPEG4 HE AACv2 za audio signal. Koristeći kompatibilne konvolucijske kodere moguće je postići različitu redundanciju uz primjenu istih dekodera. DRM i DAB platforme omogućuju emitiranje radijskih programa koristeći Internet [5].

HD radio je digitalni način prijenosa razvijen u SAD-u koji omogućuje simultano emitiranje digitalnim i analognim načinom. Namijenjen je postepenom prijelazu iz analognih k digitalnim sustavima.

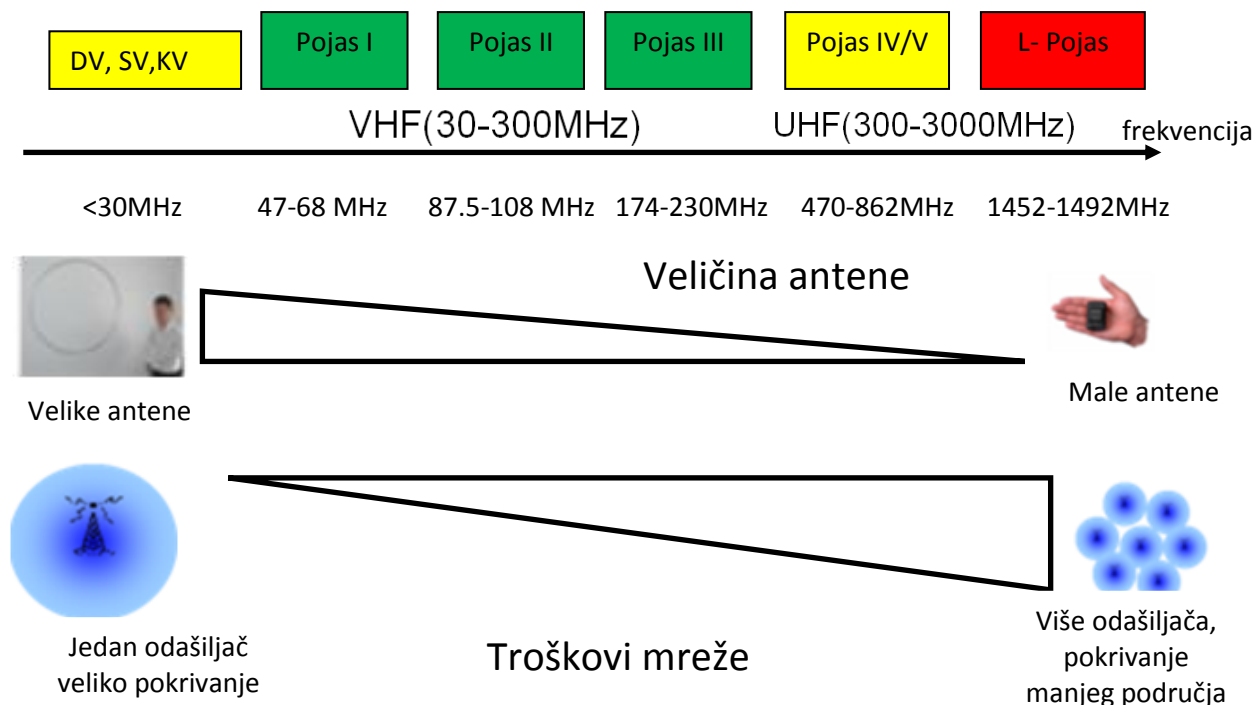
RAVIS sustav je digitalni način radiodifuzije koji se koristi u Rusiji.

Potencijalni načini zemaljske digitalne radio difuzije se razmatraju kroz postojeće frekvencijske pojaseve u kojima je radiodifuzija moguća. Regulacija spektralnog pojasa namijenjena radijskim uslugama mora osigurati zadovoljavajuću uslugu i potrebe svih sudionika u komunikacijskom lancu (distributeri, proizvođači usluge, kupci i svi korisnici drugih usluga).

1.6.3. Pregled postojećih sustava po frekvencijskim pojasevima

U sustavima radiodifuzije koristi se nekoliko frekvencijskih pojaseva. Ti frekvencijski pojasevi imaju različite karakteristike koje ih čine prikladnima za različite tipove usluga. Veće

područje pokrivanja može se postići u nižim frekvencijskim pojasevima, ali je kapacitet tih pojasa ograničen (manji broj kanala). Viši frekvencijski pojasevi imaju veći kapacitet kanala ali je zbog većeg gušenja elektromagnetskog vala teže postići pokrivanje šireg geografskog područja (Slika 1.6.1.).



Slika 1.6.1. Korišteni frekvencijski pojasevi u radiodifuziji

Razmatra se uvođenje novih digitalnih sustava radiodifuzije s obzirom na tražene parametre (funkcionalnost, kvaliteta usluge, pokrivanje, troškovi, regulativa i ostalo) [6], u pojasevima od interesa za Republiku Hrvatsku (LF, MF i HF pojasevima, i pojasevima I, II, III u VHF području te L-pojas u UHF području). Neke navedene platforme mogu raditi samo u jednom frekvencijskom pojasu dok su drugi sustavi fleksibilni i mogu raditi i u drugim frekvencijskim pojasevima.

LF/MF/HF pojasevi od 148,5kHz do 30MHz

Ovi frekvencijski pojasevi tradicionalno se koriste za analognu AM radiodifuziju. Napredniji sustavi koji se mogu uključiti u ovaj pojas frekvencija su DRM i HD Radio. HF i MF pojasevi koriste se za odašiljanje na nacionalnoj i regionalnoj razini dok se LF pojas koristi za odašiljanje na međunarodnoj razini. Zbog promjena uvjeta propagacije dolazi do promjena u području pokrivanja. Ovo postaje problem u digitalnim sustavima radiodifuzije jer slušatelji mogu izgubiti prijam.

S obzirom na funkcionalnost, analogni AM prijenos radiosignala u ovom pojasu omogućuje fiksni, prijenosni (unutrašnji i vanjski do brzine kretanja čovjeka) i mobilni prijam uz jednokanalni (mono) prijenos zvuka. DRM sustav koji se koristi u ovom pojasu frekvencija također omogućuje fiksni, prijenosni i mobilni dvokanalni (stereo) prijam. DRM sustav

podržava standardizirane multimedijske i podatkovne usluge (slike, informacije o prometu). HD Radio koji može emitirati i u analognom i digitalnom načinu rada u MF pojasu omogućuje prijam dvokanalnog (stereo) zvuka. Pokrivanje kod analognog AM načina odašiljanja kao i kod DRM te HD radio sustava može obuhvaćati manju lokalnu zajednicu sa ograničenim područjem pokrivanja, lokalno, regionalno, državno i internacionalno područje. Kod pokrivanja manjeg područja može doći do problema zbog toga što se ne isplati instalirati odašiljač male snage sa velikom antenom za pokrivanje malog područja. Za emitiranje na nacionalnoj razini može se koristiti mreža sa jednom frekvencijom (engl. *Single frequency network*, SFN) kao i mreža sa ponavljanjem više frekvencija (engl. *Multi frequency network*, MFN) ovisno o raspoloživosti frekvencija i željenom području pokrivanja [7].

S obzirom na kvalitetu usluge, analogni AM prijenos u ovom pojasu daje lošiju kvalitetu signala s obzirom na širinu pojasa od 9kHz. Kod DRM sustava se može očekivati kvaliteta kao kod FM načina odašiljanja u VHF pojasu, uz moguće pojavljivanje fedinga. Kod HD Radio sustava kvaliteta usluge također je ekvivalentna onoj dobivenoj kod FM načina prijena.

Dostupnost opreme na odašiljačkoj i prijamnoj strani je dobra kod analogne AM radiodifuzije. Kod DRM sustava je dostupnost opreme dobra na odašiljačkoj strani dok se na prijamnoj strani tek sada razvijaju prijamnici za masovnu prodaju. Troškovi sustava koji se koristi u analognom prijenosu su veliki dok su korištenjem DRM sustava ti troškovi manji. Postojeća infrastruktura se lako nadograđuje na digitalni način prijena.

U analognom načinu prijena kapacitet kanala odgovara jednoj usluzi po kanalu dok kod DRM digitalnog načina prijena kapacitet kanala odgovara 4 audio usluge po kanalu. Tok podataka u europskim jednostrukim kanalima je 35kbit/s dok je u dvostrukim kanalima 72kbit/s. Kod HD radija može se koristiti 2 audio usluge po kanalu uz dodatne podatke. DRM sustav omogućava prijenos dodatnih podataka uz mijenjanje toka podataka i robustnosti signala.

U analognom načinu prijena koristi se MFN mrežna topologija i mogućnost sinkronizacije više odašiljača na jednoj frekvenciji čime se postiže manja istokanalna interferencija. Kod DRM i HD tehnologija koristi se SFN i MFN mrežna topologija [8, 9].

Pojas I, u području frekvencija od 47 MHz do 68MHz

Pojas I (engl. *Band I*) uglavnom se koristi za emitiranje kanala analogne televizije i nije planiran za digitalnu televiziju. Sustavi digitalnog radija DRM+ i RAVIS mogu se koristiti unutar pojasa I. Usluge u ovom pojasu su izložene interferenciji zbog različitih putova dolaska direktnog i reflektiranog vala i zbog toga je pojas I namijenjen pružanju radijskih usluga na lokalnoj razini [10].

Analogno FM radijsko emitiranje u ovome pojasu omogućuje fiksni, prijenosni (unutarnji i vanjski) i mobilni prijam jednog ili dva audio kanala. Kod DRM+ sustava omogućen je prijam višekanalnog zvuka sa dodatnim multimedijskim i tekstualnim uslugama (koji su kompatibilni sa DAB sustavom). U ovom sustavu je omogućeno automatsko prebacivanje

stanice kod znaka upozorenja (ovisno o tipu programskog sadržaja). RAVIS sustav omogućuje fiksni, prijenosni i mobilni prijam uz emitiranje većeg broja programa unutar jednog kanala (multipleksa). Svaki emitirani program u RAVIS sustavu može sadržavati audio i video signal uz tekstualne poruke, statičke slike i druge multimedijske informacije.

Pokrivanje u sva tri navedena sustava koja su raspoloživa u ovome pojasu može biti lokalno, regionalno ili nacionalno. Kod FM prijenosa u ovom pojasu kvaliteta audio signala je dobra za fiksni prijam dok se u mobilnom pojavljuju problemi. Kod DRM+ sustava je kvaliteta signala vrlo dobra (CD-kvaliteta), moguće je pojavljivanje mekog fedinga. Kod RAVIS sustava kvaliteta audio signala nezavisna je od načina prijama.

Dostupnost opreme je nedostatna i za analogni FM način prijenosa i za digitalni DRM+ (i na odašiljačkoj i na prijamoj strani). Kod sustava RAVIS planirana je masovna produkcija odašiljača i prijarnika u 2011. godini.

Troškovi distribucije su umjereni te su kod analogne FM radiodifuzije najveći u ovome pojasu. Kod RAVIS sustava planirana je proizvodnja različitih tipova prijarnika uključujući i vrlo jeftine.

Kod analognog FM načina prijenosa kapacitet kanala je ograničen na jednu audio uslugu po kanalu. Kod DRM+ sustava omogućeno je emitiranje 4 audio usluge po kanalu uz kapacitet od 186 kbit/s. Kod RAVIS sustava tok podataka je od 80 do 900 kbit/s u jednom kanalu uz mogućnost emitiranja od 2 do 20 stereo audio programa u multipleksu.

Fleksibilnost analognog sustava ograničena je dok je u digitalnom sustavu DRM+ omogućeno emitiranje dodatnih usluga i to promjenom brzine toka audio podataka. DRM+ sustav omogućuje fleksibilni kompromis između kapaciteta kanala i robusnosti signala. RAVIS sustav omogućuje prijenos audio, video i drugih multimedijskih usluga s kontroliranom kvantitetom i kvalitetom usluga u svakom programu.

Kod analognog FM načina emitiranja u ovom pojasu primjećuje se smanjenje broja operatera, proizvođača i regulatornih agencija. DRM sustav u ovom pojasu najviše se koristi u Francuskoj, dok je u Rusiji zastupljen sustav RAVIS.

Što se tiče mrežne topologije analogni način prijenosa podržava i višefrekvencijsku mrežu (MFN) te jednofrekvencijsku mrežu (SFN). DRM i RAVIS sustav podržavaju SFN i MFN mrežnu topologiju [11].

VHF pojas I još je uvijek korišten za analognu TV u susjednim zemljama (Italija), ali se najviše razmatra korištenja DRM+ i RAVIS sustava u većini europskih zemalja. Kod odabira digitalnog načina emitiranja u pojasu I na području Republike Hrvatske potrebno je obratiti posebnu pažnju na tehnologije koje će koristiti susjedne zemlje.

Pojas II, u području frekvencija od 87,5 MHz do 108 MHz

Ovaj pojas se uglavnom koristi za FM analognu radiodifuziju. DRM+ sustav, HD radio i sustav RAVIS su kandidati za korištenje u pojasu II unutar Europe [12].

Što se tiče analognog FM načina prijenosa on omogućuje fiksni, prijenosni (unutarnji i vanjski) i mobilni prijam. Prenosi se jednokanalni ili dvokanalni audio signal uz dodatne podatke (RDS). DRM+ sustav omogućuje i prijenos višekanalnog zvuka sa standardiziranim multimedijским sadržajima i podatkovnim uslugama (kompatibilnih sa sustavom DAB). DRM+ sustav podržava i prijenos slika, prometnih informacija, te na znak upozorenja vrši automatsko prebacivanje prijamnika na frekvenciju gdje se izvodi emitiranje važnog programa. Sustav HD radija omogućuje fiksni, prijenosni i mobilni prijam uz emitiranje dvokanalnog zvuka uz dodatne podatke o prometu, vremenu i dionicama. RAVIS sustav omogućuje emitiranje većeg broja radijskih programa unutar jednog multipleksa.

Područje pokrivanja sva četiri sustava (analogni FM, DRM+, HD Radio i RAVIS) može biti na lokalnoj, regionalnoj ili nacionalnoj razini.

Kvaliteta usluge dobra je za analogni FM način prijenosa uz moguće smanjenje kvalitete zbog vremenskih neprilika i sl. Kod DRM+ sustava kvaliteta audio signala je vrlo dobra (CD). Moguća je prisutnost mekog fedinga u audio signalu. Kod HD radijskog sustava kvaliteta signala je dobra uz mogućnost smanjenja kvalitete usluge. Kod RAVIS sustava postignuta je dobra kvaliteta audio signala za svaki tip prijama ali je moguć nagli nestanak signala.

Dostupnost opreme kod analognog FM odašiljanja dobra je što se tiče odašiljačke i prijamničke strane i primijećen je porast prodaje mobilnih uređaja sa radijskim prijamnikom. Kod DRM+ sustava situacija je dobra na odašiljačkoj strani dok je s prijamnicima problem i radi se na razvijanju prijamnika za masovnu uporabu. Odašiljači i prijamnici za HD radio su dostupni već 6 godina dok je masovna proizvodnja za sustav RAVIS planirana za 2011. godinu.

Troškovi za sve navedene sustave što se tiče opreme su umjereni.

Kapacitet kod analognog FM prijenosa je ograničen na jednu audio uslugu po kanalu. Kod DRM+ sustava je mrežni kapacitet 186kbit/s te je omogućeno pružanje 4 usluge po kanalu. HD radio omogućuje tok podataka od 96 do 144 kbit/s i pruža do 8 audio usluga po kanalu u jednom multipleksu. Protok podataka kod RAVIS sustava je fleksibilan od 80 do 900 kbit/s u jednom kanalu i omogućeno je emitiranje od 2 do 20 dvokanalnih audio programa po kanalu.

DRM+ sustav omogućuje fleksibilno mijenjanje toka podataka za svaki tip usluge (audio signal ili podaci). Omogućeno je fleksibilno trgovanje između kapaciteta i kvalitete signala. DRM+ sustav se najviše pokušava emitirati u Njemačkoj dok je HD radio sustav zastupljen u SAD-u te RAVIS sustav u Ruskoj Federaciji.

Analogni sustav dozvoljava višefrekvencijsku mrežu odašiljača (MFN) i jednofrekvencijsku mrežu (SFN) samo u određenim uvjetima. DRM+ sustav podržava SFN, i MFN mrežu odašiljača. Sustavi HD radija i RAVIS sustav podržavaju SFN i MFN mrežnu topologiju.

U VHF pojasu II najviše se koristi analogni FM koji je dugoročno prisutan na području Europe. Zbog toga je potrebno razmotriti sve navedene modele prelaska na digitalnu radiodifuziju u pojasu II i obratiti posebnu pozornost na izbor tehnologije zemalja u okruženju. U sporazumima međunarodnih institucija (Geneva 84) omogućeno je istovremeno

emitiranje analognog i digitalnog sustava. U modelu istovremenog odašiljanja analognog i digitalnog sustava potrebno je voditi računa o smetnjama koje bi digitalni sustav uzrokovao na analogni FM. Uz istovremeno odašiljanje (engl. *simulcast*) zaštitni odnosi između digitalnih sustava i FM sustava još nisu standardizirani, ali je dan pregled utjecaja DRM+ sustava na FM (i obrnuto) prema specifikacijama udruge DRM+ Technical Expert Group (www.drm-radio-kl.eu). Zaštita FM-a od sustava DRM+ za istokanalnu smetnju treba iznositi 50 dB dok za ± 100 kHz iznosi 38 dB. Za veće frekvencijske razmake (± 200 kHz, ± 300 kHz i ± 400 kHz) ništa još nije specificirano međunarodnim propisima.

Pojas III, u području frekvencija od 174 MHz do 230 MHz

Ovaj se pojas koristi za analognu televiziju i sustav DAB. DAB platforma u sebi uključuje klasični DAB, DAB+ i DMB sustav [13]. DAB sustav namijenjen je emitiranju nekoliko programa unutar jednog multipleksa. Radio distributeri koji nisu u stanju ispuniti cijeli multipleks moraju dijeliti multipleks sa drugim korisnicima. DRM+ konfiguracija nije uključena u razmatranje za emitiranje unutar pojasa III jer još ne postoje standardi za njegovo korištenje unutar ovoga pojasa. Tehnički ne postoje zapreke za njegovo korištenje u tom pojasu. DAB sustav je povoljniji u pojasu III za više radijskih operatera koji dijele isto područje pokrivanja dok je DRM sustav povoljniji za pojedinačne operatere koji svoje usluge pružaju lokalno na razini zajednice ili manje regije.

DAB sustav u pojasu III omogućuje fiksni, prijenosni i mobilni prijam višekanalnog zvuka. Omogućuje prijenos dodatnih multimedijских usluga (tekstualnih podataka, slika, prometnih informacija i informacija o vremenu). U ovom sustavu omogućeno je automatsko prebacivanje prijarnika na program koji prenosi informacije od korisnikova interesa. Omogućeno je pokrivanje na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini. Kvaliteta usluge je vrlo dobra (CD) i neovisna o broju korisnika. Do sada je moguće nabaviti više od 1000 različitih modela prijarnika i prodano je više od 30 milijuna prijarnika. Cijene prijarnika su prihvatljive i padaju. Oprema za odašiljanje i kodiranje lako se nabavlja. Kapacitet sustava ovisi o razini zaštite. Broj audio usluga ovisi o željenoj audio kvaliteti i načinu kodiranja koji se koristi. Sustav DAB omogućuje emitiranje 6 stereo kanala u multipleksu dok sustav DAB+ omogućuje emitiranje 20 stereo kanala po multipleksu. Promjenom brzine toka podataka može se mijenjati kvaliteta usluge. U ovom pojasu koristi se SFN i MFN mrežna topologija.

L-pojas u području frekvencija od 1452 MHz do 1479,5 MHz

L-pojas je namijenjen za T-DAB sustav. U ovom pojasu su, s obzirom na frekvencijsko područje koje pokriva, uvjeti propagacije vala izazovniji zbog većeg gušenja pa je potrebno više odašiljača da se pokrije određeno područje s obzirom na pojaseve nižih frekvencija.

DAB sustav u ovome pojasu omogućuje fiksni, prijenosni i mobilni prijam jednokanalnog, dvoganalnog i višekanalnog zvuka uz standardizirane multimedijске sadržaje (kompatibilne sa sustavom DRM). Područje pokrivanja prikladno je za lokalnu zajednicu dok je pokrivanje na regionalnoj i nacionalnoj razini moguće postići samo uz velike snage odašiljača. Kvaliteta usluge DAB sustava u ovome pojasu je vrlo dobra (CD kvaliteta). Moguća je prisutnost smanjenja kvalitete usluge ako se pojave neke nepredviđene smetnje. Dostupnost prijarnika

je dosta loša kad se uspoređi sa pojasom III. Zbog potrebne veće gustoće odašiljačke mreže troškovi su dosta veći nego u pojasu III. Kvaliteta usluge DAB sustava u ovome pojasu ovisi o razini zaštite sustava. Broj audio usluga u multipleksu ovisi o željenoj kvaliteti signala i načinu kodiranja koji se koristi. Tipično to odgovara između 6 i 20 dvokanalnih usluga u jednom multipleksu za DAB/DAB+ sustav. Omogućen je kompromis između kapaciteta kanala i robustnosti signala. Omogućena je SFN i MFN mrežna topologija.

1.6.4. Digitalni radio prijammnici

Trenutačnu situaciju u svijetu digitalne radiodifuzije opisuje i tržište dostupnih prijammnika sadržaja digitalnog radija. Danas se na tržištima gdje su usvojeni DRM, DAB, DAB+ ili DMB sustavi može pronaći velik izbor različitih dostupnih digitalnih radijskih prijammnika. Različita tržišta imaju i različite potrebe što se automatski odražava na ponudu proizvođača. Uspjeh DMB sustava u Koreji doveo je do visokog udjela multimedijjskih uređaja u Azijskim zemljama. U Europi je zvuk ipak primarniji tako da su popularniji radijski prijammnici. Najpopularniji tipovi uređaja (kućni, automobilski, multimedijjski, ručni i Internetski) kratko su opisani u nastavku.

Kućni prijammnici obuhvaćaju tradicionalne uređaje: kuhinjske radio prijammnike, zasebne prijammnike, mini Hi-Fi sustave, radio budilice. Svi oni se prodaju po konkurentnim cijenama tako da njihov udio u tržištu sve više i više raste. Iako su uglavnom fokusirani na zvuk, nove mogućnosti kao što su zaustavljanje/premotavanje programa, snimanje i dostupnost programskog vodiča u elektroničkom formatu stvaraju zadovoljstvo kod slušatelja jer primaju puno bogatiji i napredniji program.

Eureka 147 skup je tehnologija dizajniran da poboljša mobilni prijam signala. Prema tom formatu, razvijeno je puno novih uređaja na tržištu automobilskih prijammnika. Iako je sam razvoj tog područja bio relativno sporiji od ostalih, tržište automobilskih prijammnika se povećava jer je radio ipak najviše namijenjen slušateljima u automobilima. Postoji mnoštvo pretvornika koji konvertiraju postojeći automobilski FM prijammnik u uređaj koji može primati digitalni signal.

Multimedijjske prijammnike opisuje kombinacija mobilnog telefona, MP4 uređaja, prijenosnog medija i džepnog televizijskog prijammnika. Većinu tržišta pokrivaju korejski i kineski proizvođači. U Kini se tržište znatno povećalo zbog posebnih sadržaja koji su emitirani za vrijeme Ljetnih olimpijskih igara 2008. godine.

Kao dodatak multimedijjskim uređajima široko su dostupne ručne varijante sa naglaskom na prijam zvuka. Razvojem silikonskih tehnologija, proizvodi su sve manje uz sve dulje trajanje baterije, što ih čini idealnima za slušanje radija u pokretu. Razvoj iPod-a također je doveo do uvođenja DAB docking uređaja. Primjeri navedenih uređaja dani su na Slici 1.6.2.



Slika 1.6.2. Primjeri digitalnih radio prijamnika

Internetski radio, kao nova era u svijetu radiodifuzije, zahtjeva normizaciju ako se i dalje želi razvijati i zadržati jednaku važnost. Udruga za razvoj i normizaciju prijamnika Internet radija (*Internet Media Device Alliance, IMDA*) donosi osnovne standarde za različite profile prijamnika (Internet radija), da bi time olakšala njihov plasman na tržištu. Od uređaja se zahtijeva dekodiranje WMA i MP3 kodeka, korištenje HTTP „streaminga“, mogućnost sviranja različitih formata „playlisti“ (M3U, ASX, PLS). IMDA profil 1 standard za takve uređaje pokazao se kao veliki hit među proizvođačima. Na Slici 1.6.3 prikazani su neki modeli takvih uređaja.



Slika 1.6.3. Prijamnici Internet radija

U Hrvatskoj bi više pažnje trebalo posvetiti reklamiranju sustava digitalnog radija i postojećih digitalnih prijamnika pa bi se više slušatelja odlučilo za prelazak na prijam digitalno moduliranog signala.

1.6.5. Zaključna razmišljanja

Kod prelaska na digitalne sustave u radio difuziji potrebno je razmišljati o tome da radiodifuzijska mreža mora biti jeftina i s dovoljnim prostorom unutar spektra za ostvarivanje pokrivenosti i različitih usluga. Digitalni radio treba jednostavnu i jeftinu ponudu za slušatelje: besplatno emitiranje uz mobilni prijam i mogućnost jednostavnog korištenja te kompaktne i jeftine prijamnike.

Svake godine sve više zemalja omogućuje slušateljima novi izbor podatkovnih usluga digitalne radiodifuzije. Dodatni sadržaji ne mogu biti preneseni u HD kvaliteti razmotrenim sustavima (DRM, DAB) zbog širine pojasa i kapaciteta sustava. Novi sustavi poput LTE-a omogućuju velike brzine podataka koji onda mogu uključiti multimedijske sadržaje veće kvalitete pa to može utjecati na odnos snaga na tržištu (napredovanje nekih radijskih postaja u televizijske i internetske).

Nove medijske mogućnosti rastu rapidno dok se birokracijske i političke norme razvijaju puno sporije. To često dovodi do brojnih regulacija koje nisu usklađene s dostupnom tehnologijom. U područjima gdje su uvedene nove usluge primjenjuje se postojeća radiodifuzijska mreža i zakonodavstvo, sve dok se ne odobre regulacije koje omogućuju ostvarivanje punog potencijala novih tehnologija. Nemoguće je, a i potencijalno opasno, pokušavati primijeniti generalne regulacije za sve zemlje korisnice. Ipak, nema smisla da se sve regulacije razlikuju tako da trebaju postojati osnovne stavke jednake za sve. Pri prijenosu zvuka i dodatnih multimedijskih sadržaja potrebno je pripaziti na autorska prava i na udio pojedinačnog sadržaja (zvuk, slika i ostalo).

Razvoj digitalnog radija uključuje i nove načine njegovog emitiranja prema slušateljima. Zemaljskom radiodifuzijom dobiva se direktan pristup do slušatelja, efikasnost dostavljanja programa do više slušatelja, besplatno emitiranje, dovoljno mjesta u spektru, stroga regulacija. S druge strane, korištenjem širokopojasnog Interneta dobiva se visoka razina fleksibilnosti, pokrivanje cijelog svijeta, neefikasnost dostavljanja programa do više slušatelja, emitiranje nije besplatno, a kvaliteta usluge ovisi o mrežnom operateru. Uzevši u obzir prednosti i mane pojedinog pristupa, radiodifuzija bi se koristila za nacionalne, lokalne i regionalne programe kao primarna distribucija zbog svoje mogućnosti besplatnog i efikasnog emitiranja prema većem broju korisnika. Širokopojasni Internet služi za postizanje interaktivnosti (dvosmjerne komunikacije) te obogaćivanju sadržaja radijskih programa.

U svakom slučaju, budućnost digitalnog radija hibridna je verzija radiodifuzije i širokopojasnog Interneta. Time se u potpunosti omogućuje radijski lanac od produkcije do prijamnika uglavnom baziran na „open source“ programima, koji čine multiplatformu s multimedijskim sadržajima. Sadržaj nastao u produkciji može se distribuirati prema većini postojećih platformi: FM, DAB+, DRM, RadioDNS, IP streaming. Multiplatforme zahtijevaju modularne produkcijske programe koji sinkroniziraju emitiranje zvuka i dodatnih sadržaja. Uz dodavanje osnovne radijske periferije moguće je kodirati, multipleskirati i modularizirati digitalni signal korištenjem osobnog računala [13].

Za analogni prijenos, svaka promjena unutar prijenosnog kanala i svako odstupanje direktno utječe na kvalitetu zvuka. Tipični utjecaji su međudjelovanje radijskih postaja, opadanje razine signala zbog refleksija od okolnih objekata. Zbog učestalosti pojavljivanja tih smetnji na signalu, često ih se i ne primijeti. U digitalnom prijenosnom sustavu stroga granica između kodiranja unutar kanala i izvornog kodiranja omogućuje minimiziranje ili potpunu eliminaciju bilo kakvih oštećenja signala. Zaštita od pogrešaka unutar kanalnog kodiranja dovoljno je jaka da može osigurati kvalitetan prijenos podataka u svim uvjetima. Vremenske promjene prijenosnog puta nemaju utjecaja na izvorne podatke osim ako se ne prekine proces kodiranja unutar kanala, što se dosta rijetko dešava. Rezultirajuća kvaliteta zvuka uglavnom je određena načinom kodiranja izvora i njegovim parametrima kao što su frekvencija uzrokovanja, brzina prijenosa i način kodiranja.

Osim toga, kvaliteta zvuka je neovisna o svim karakteristikama prijenosnog puta. To u praksi znači da je čak i za savršene uvjete prijenosa, kvaliteta zvuka ograničena ako parametri koda nisu optimalno podešeni. U slučaju pogrešnog prijenosa, kvaliteta zvuka može dramatično pasti u ovisnosti o zaštiti od grešaka i prikrivanju istih koju daje kanal ili izvorni dekođer. Kvaliteta zvuka mora biti definirana u odnosu na nekomprimirani originalni signal i primjećene razlike između toga referentnog signala i signala koji je došao do slušatelja. Tradicionalne metode mjerenja kvalitete daju ograničene informacije o stvarnoj kvaliteti zvuka i može ih se krivo percipirati. Oštećenja koja donosi sustav kodiranja uključuju linearna izobličenja, kvantizacijski šum, smanjivanje širine pojasa, preslikavanje komponenti te promjenu zvučne stereo slike.

Digitalne tehnike pružaju mogućnost upravljanja audio signalom unutar puno šireg dinamičkog raspona nego što je slučaj kod analognih tehnika. Digitalne audio sustave karakterizira šum i izobličenje razina koje su određene samim dizajnom sustava te pucketanjem signala kada je amplituda analognog signala dovoljno visoka da prekorači granicu kodnog raspona analogno-digitalnog pretvornika. Uz dovoljno visoku digitalnu rezoluciju, mogu se implementirati veze za distribuciju i razmjenu koje osiguravaju visoku razinu SNR i obradu programskog materijala unutar šireg dinamičkog područja. Kvalitetniji zvuk u digitalnim sustavima u usporedbi s FM-om i kvalitetniji pristup informacijama koje se emitiraju s velikih udaljenosti glavne su prednosti digitalnih sustava. Koristeći multipleks, osobitu metodu naziva poznatog iz analognog radija, ali sasvim drugog ustroja i namjene, u jednom bloku može se istovremeno prenijeti više različitih informacija, a ne samo jedna kao u analognom radiju.

Za razliku od analognog prijarnika, koji može primiti signal postaja na različite načine: odlično, dobro i loše – digitalni prijarnik ili prima kvalitetno ili uopće ne prima signal, što će neki držati dobrim, drugi pak ne osobito poželjnim. Prije svega zato jer će mnogi ljubitelji zvuka iz etera biti zakinuti za važnu im informaciju, ma kako ona (ne)kvalitetna do njih dospjela. Međutim, s Hi-Fi stajališta, nema dvojbe – ili dobro i kvalitetno ili ništa.

Troškovi svakog pojedinačnog sustava obrađeni su u izvješću ECC 141 [12]. Za VHF pojas II uspoređeni su troškovi distribucije za sustave FM, DRM+ sustav, HD radio i sustav RAVIS. Prema navedenom, FM sustav ima srednji trošak distribucije, DRM+ sustav od niskog do

srednjeg troška distribucije (niži nego analogni FM), HD radio niski trošak odašiljanja, a RAVIS sustav srednji trošak distribucije. Troškovi odašiljanja pojedinih sustava padaju s većim brojem radijskih programa. Puno veći trošak po radijskoj stanici ima sustav DAB u usporedbi sa sustavom DRM+ [14].

S obzirom na tradicionalizam ljudi u Hrvatskoj i probleme sa sustavom digitalne televizije (DVB-T) za očekivati je otpor u prelasku na sustav digitalnog radija u pojasu II. Bilo bi korisno u budućnosti propisati zakonsku obavezu da prijammici koji se budu prodavali moraju imati mogućnost i analognog i digitalnog prijama s obzirom na razvoj tehnologije koja to omogućuje.

Literatura

[1] Working group RSPG10: "The future of radio broadcasting in Europe, Identified needs, opportunities and possible ways forward"

rspg.groups.eu.int/...futradio/rspg10_349_report_future_radio_broadcasting.pdf

[2] Electronic Communications Committee within European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), ECC Report 141, "Future possibilities of digitalization of band II, St. Petersburg, May 2010.

www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/ECCREP141.PDF

[3] ETSI ES 201 980: Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification.

[4] ETSI EN 300 401: Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers.

[5] EBU, Hybrid Radio, Coinchon, M;

<http://tech.ebu.ch/Jahia/site/tech/cache/offonce/publications;jsessionid=F0A3442D662C52E3875BB374710A4578.jahia1>, prosinac 2010.

[6] Recommendation ITU-R BS.1615 : „Planning parameters“ for digital sound broadcasting at frequencies below 30MHz.

[7] Recommendation ITU-R BS.560-4: Radio-frequency protection ratios in LF, MF and HF broadcasting.

[8] Recommendation ITU-R BS 1514-1: System for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30MHz

[9] ITU-R Resolution 543 (WRC03): Provisional RF protection ratio values for analogue and digitally modulated emissions in the HF broadcasting service

[10] ITU-R -CCRR 20: Special study, under No. 13.15 of the Radio Regulations, in relation to the Regional Agreement GE75, RJ81 and RJ88

[11] ITU RR: Radio Regulations (www.itu.int)

[12] ECC Report 141: Future possibilities for the digitalisation of band II (87.5-108 MHz)

[13] EBU-TECH 3317: Planning parameters for hand held reception. Concerning the use of DVB-H and T-DMB in Bands III, IV, V and the 1.5 GHz band

[14] http://www.digitalradiotech.co.uk/economic_analysis_of_dab_dab+_drm+_dvbh.htm

1.7. Usluge s dodanom vrijednosti

Usluga s dodanom vrijednosti (engl. *Value Added Services*, VAS) je usluga koja zahtjeva dodatnu obradu prometnih ili lokacijskih podataka, povrh obrade koju provode osnovne usluge vezane za prijenos i naplatu komunikacije [1].

Specifičnosti VAS naspram ostalih usluga su sljedeće:

- VAS dodaju osnovnim uslugama novu vrijednost prilagođavajući bilo koji aspekt informacije koju osnovne usluge pružaju, pri tome ne mijenjajući sam sadržaj informacije.
- U kontekstu profitabilnosti, VAS mogu biti samostalne ili mogu služiti kao stimulator rasta profitabilnosti osnovnih usluga.
- Nisu isključive prema osnovnim uslugama niti služe kao izravan nadomjestak istih.
- Mogu se izvoditi kao nadogradnja osnovnih usluga i pri tome imati povećanu cijenu (engl. *Premium Rate*) za dodanu vrijednost koju pružaju.

VAS mogu uključivati poznavanje korisničkog konteksta u cilju pružanja dodane vrijednosti korisniku. Pri tome usluga može rukovati s jednim ili više aspekata korisničkog konteksta [2]:

- Lokacijski aspekt
 - Poznavanje lokacije korisnika kako bi se dostavio sadržaj vezan uz trenutnu lokaciju (Lokacijske usluge).
- Tehnički aspekt
 - Poznavanje tehničkih karakteristika korisničke opreme kako bi se dostavio sadržaj prilagođen mogućnostima opreme.
- Društveni aspekt
 - Poznavanje društvene okoline korisnika kako bi se isporučio prilagođeni sadržaj ili omogućila kolaboracija više korisnika (Kolaboracijske usluge).
- Vremenski aspekt
 - Poznavanje vremenskog aspekta korisnika kako bi mu se isporučio sadržaj koji odgovara vremenskim ograničenjima (primjerice, pozivanje korisnika po danu, SMS poruka tijekom noći).

- Organizacijski aspekt

Usluge s povećanom tarifom (engl. *Premium Rate Services*, PRS) uobičajeno se naplaćuju više od osnovne usluge, na primjer *običnog* telefonskog poziva ili tekstualnih poruka. Uobičajeno je adresiranje takvih usluga posebnom skupinom adresa (brojeva) – *Premium Rate Number*, PRN. Za internacionalne usluge s povećanom tarifom prema standardu ITU – T [3] su zadane tarifne kategorije, a koristi se internacionalni PRN (IPRN). IPRN je namijenjen davateljima usluge koji nude uslugu u više od jedne države. Nacionalna ili internacionalna usluga s povećanom tarifom može se primijeniti za bilo koju osnovnu uslugu. Na primjer, za telefonsku uslugu koja pozivateljima omogućuje prijam snimljene informacije ili konverzaciju u okviru usluge sa PRN ili IPRN, takva veza naplaćuje se povišenom tarifom. Naplaćeni iznos dijeli se između operatora i davatelja usluge.

1.7.1. Komponente koje sudjeluju u pružanju VAS

Općenito promatrano, kod pružanja VAS postoji nekoliko komponenti odgovornih za izvođenje pojedinih segmenata usluge. Sinergijom funkcionalnosti tih komponenata ostvaruje se funkcionalnost usluge kao cjeline. Ključne komponente kod pružanja VAS su:

- Davatelj usluge s dodanom vrijednosti (engl. *Value Added Service Provider*, VASP);
- Davatelj sadržaja (engl. *Content Provider*, CP);
- Operator telekomunikacijske mreže.

Davatelj usluge (VASP) zadužen je za ostvarivanje, organizaciju, kompoziciju i pružanje usluge s dodanom vrijednosti. Pri tome VASP može biti i davatelj osnovnih usluga (operator), davatelj sadržaja ili treća strana koja koristi osnovne usluge operatora za pružanje usluge. VASP je s pravnog i drugih aspekata najodgovorniji za uslugu koju daje, pa se njemu nameće i najveći broj zakona, protokola i uvjeta koje mora poštivati kod davanja usluge.

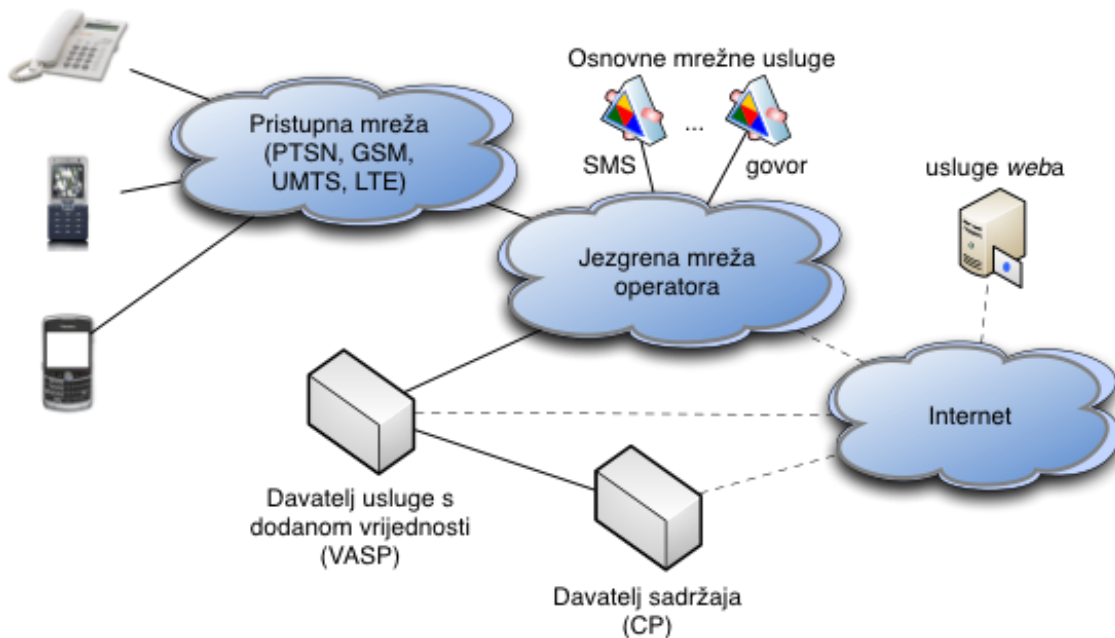
Davatelj sadržaja (CP) odgovoran je za kreiranje, oblikovanje i osiguravanje sadržaja te pružanje istog VASP-u ili klasičnom davatelju usluge. Pri tome on ne mora nužno biti i generator sadržaja. CP može ujedno biti i VASP, VASP i operator, ili potpuno nezavisan entitet. Zahtjevi nad sadržajem koji CP daje definirani su zakonskim okvirima te ugovorima između CP-a i VASP-a.

Operator je odgovoran za osiguravanje izvedbe osnovnih usluga mreže koje se u pravilu odnose na transport. Osim transporta, kojim se krajnji korisnici povezuju s VAS-om, operator može osiguravati i uslugu lociranja korisnika te naplatu.

Uz navedene ključne komponente, VAS se u smislu ostvarivanja usluge i osiguravanja dodane vrijednosti mogu povezivati sa uslugama *weba*. Pri tome su usluge *weba* zadužene za izvedbu funkcija koje nisu nužno svojstvene isključivo VAS-ovima. Primjeri takvih usluga su usluge naplate i usluge svojstvene pojedinim informacijskim sustavima koji postoje neovisno o VAS.

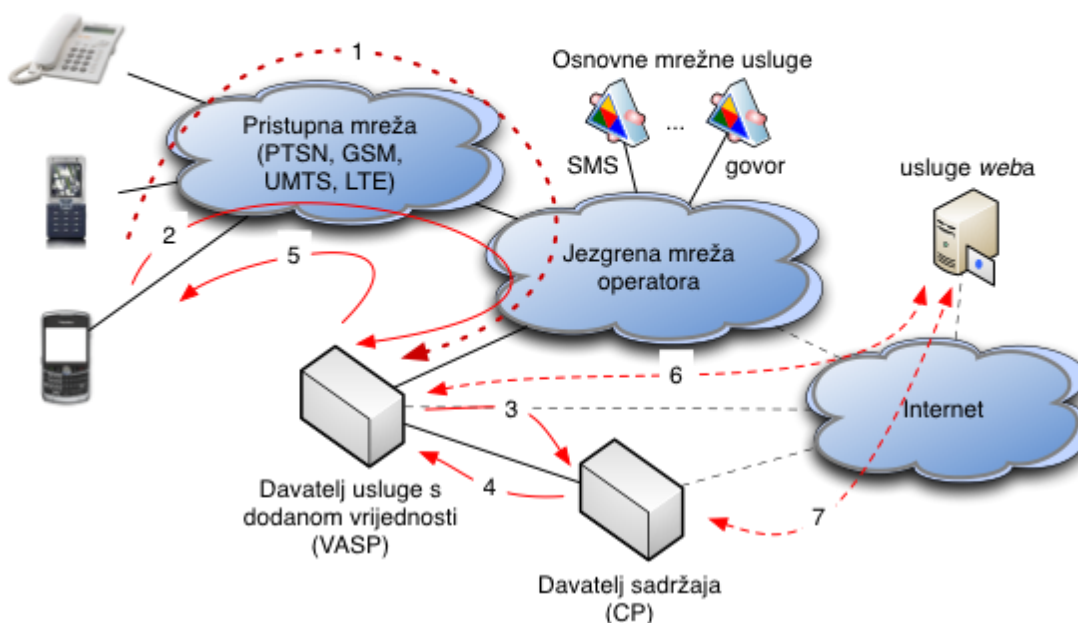
1.7.2. Arhitektura VAS

Arhitektura usluge s dodanom vrijednosti prikazana je na Slici 1.7.1. Na slici su istaknute komponente koje sudjeluju u pružanju VAS te mogućnosti međusobnog povezivanja komponenata. Tipičnu VAS sačinjavaju operator, VASP i CP. Kod naprednijih usluga, VASP ili CP mogu koristiti i usluge *weba*. Pri tome VASP usluge *weba* koristi kako bi proširio funkcionalnosti usluge koju nudi. Primjeri takvih usluga su naplata, dodatna obrada korisničkih zahtjeva ili bilo koje usluge koje se izvode kao elementi drugih informacijskih sustava, ne nužno vezano uz razmatranu VAS. Primjerice, VAS može, putem usluge *weba*, krajnjim korisnicima omogućiti naplatu kreditnim karticama, iz korisničkih zahtjeva formirati upite nad nekom uslugom *weba* ili slično. Davatelj sadržaja usluge *weba*, u ovom smislu, može koristiti za dodatnu obradu ili prilagodbu sadržaja, ali i kao generatore ili agregatore sadržaja. Primjer ovoga jest *web* usluga koja agregira vijesti koje se putem VAS dostavljaju krajnjim korisnicima ili usluga koja slike prilagođava veličini koju krajnji korisnik VAS usluge može prikazati.



Slika 1.7.1. Arhitektura VAS

Karakterističan scenarij korištenja usluge s dodanom vrijednosti prikazan je na Slici 1.7.2.



Slika 1.7.2. Scenarij korištenja usluge

Sastoji se od sljedećih koraka:

1. Korisnik se registrira na VAS (opcionalno)
2. Korisnik šalje upit VASP (može biti opcionalno u slučaju pretplate korisnika na sadržaj VAS, odnosno sustava objavi-pretplati)
 - Upit se šalje putem jednog od sučelja VAS, prienos podataka (upita) izvode osnovne usluge operatora;
3. VASP kontaktira CP kako bi preuzeo sadržaj za korisnika
 - (6) VASP može pokrenuti izvođenje funkcija usluge weba (opcionalno);
4. CP daje sadržaj vezan uz korisnika VASP
 - (7) CP može kontaktirati uslugu weba u cilju osiguravanja sadržaja za korisnika (opcionalno);
5. VASP šalje sadržaj korisniku

1.7.3. Pronalaženje i pristup uslugama s dodanom vrijednosti

Pristup i pronalaženje VAS-ova izvodi se konvencionalnim kanalima putem sučelja VAS. Pri tome se pod pojmom pronalaženja usluga razmatra način na koji se korisnici informiraju o

postojanju i pristupu uslugama, dok pojam pristupa uslugama obuhvaća komunikacijske kanale kojima korisnici pristupaju uslugama. Drugim riječima, pronalaženje usluge se u pravilu svodi na poznavanje odgovarajućeg komunikacijskog kanala kojim se usluzi može pristupiti.

1.7.3.1. Pristupna sučelja VAS

Kako se pronalaženje i pristup uslugama temelje na sučeljima usluga, u nastavku su pobrojana osnovna sučelja:

- Govor
 - Pristup usluzi putem govornog poziva, koristeći infrastrukturu operatora fiksne ili pokretne telekomunikacijske mreže. Pri tome je govorni poziv osnovna usluga.
- SMS
 - Pristup usluzi slanjem SMS poruke koristeći infrastrukturu operatora pokretne telekomunikacijske mreže. Pri tome je SMS osnovna usluga.
- MMS
 - Pristup usluzi slanjem MMS poruke koristeći infrastrukturu operatora pokretne telekomunikacijske mreže. Pri tome je MMS osnovna usluga.
- Web
 - Pristup usluzi putem jedinstvene URL adrese usluge. Pri tome se pod navedenim pristupom podrazumijevaju modeli pristupa protokolima WAP (*Wireless Access Protocol*) i HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*). Pristup se ostvaruje koristeći infrastrukturu operatora fiksne ili pokretne telekomunikacijske mreže. U ovom je smislu paketski prijenos osnovna usluga koja se koristi za pružanje usluge s dodanom vrijednosti.

Kako bi se korisnicima omogućio jednostavniji pristup usluzi, navedenim osnovnim sučeljima se može pristupiti pomoću:

- Barkoda
 - Pristup usluzi čitanjem barkoda u kojem je pohranjen URL usluge. Daljnja komunikacija se u tom slučaju odvija *web* pristupom.
- Lokacije korisnika
 - Trenutna lokacija korisnika može biti okidač za pokretanje usluge (engl. *Location Trigger*) ako se korisnik nalazi u blizini lokacije koja je vezana uz uslugu. Nakon okidanja, pristup usluzi provodi se putem *weba*.
 - Uključuje tehnologije pozicioniranja odnosno utvrđivanja prisutnosti korisnika:

- Pozicioniranje u pokretnoj mreži

Osnovna usluga prisutnosti (engl. *Presence*) kod mreža nove generacije (NGN).

- RFID / Bluetooth

Do okidanja usluge dolazi kada se korisnička oznaka (engl. *tag*) ili BT uređaj pojavi u polju čitača oznaka.

- GPS

Podrazumijeva postojanje aplikacije na korisničkom uređaju kako bi se utvrdila prisutnost ili blizina prema lokaciji korisnika.

- Aplikacije na korisničkom uređaju
 - Uslugama se može pristupiti i putem aplikacije na korisničkom uređaju. Pri tome aplikacija upravlja pristupom usluzi na način da je komunikacija korisniku transparentna. U tom smislu komunikacija na korisniku nevidljivoj razini može se odvijati putem weba, SMS-a, MMS-a ili govora, kao osnovnih usluga koje se mogu koristiti.

1.7.4. Pronalaženje VAS

Kako bi korisnici mogli koristiti uslugu, moraju biti upoznati s načinom korištenja i načinom pristupa usluzi. Pri tome je bitan prvi pristup, kod kojeg se korisnik u pravilu registrira na uslugu. U tom kontekstu moguće je razmatrati dva modela:

- Model *pull*
- Model *push*

Model *pull* podrazumijeva da korisnik inicira komunikaciju, odnosno da usluga korisniku isporučuje sadržaj na zahtjev. Ovaj model je gotovo uvijek prisutan kod prvog povezivanja s uslugom u svrhu registracije korisnika.

Model *push* pretpostavlja prethodnu registraciju korisnika, a podrazumijeva komunikaciju kod koje usluga korisniku isporučuje sadržaj bez pojedinih eksplicitnih korisničkih zahtjeva. Ovakav način je čest kod koncepta objavi-pretplati.

Prema navedenom, mora postojati način na koji se korisnik, barem prvi put, spaja na uslugu, odnosno način na koji je pronalazi. Ovisno o sučeljima kojima raspolaže usluga, pronalaženje usluge može se provesti putem:

- Jedinstvenog broja usluge
 - Korisnik šalje SMS, MMS ili upućuje govorni poziv na broj usluge;
- Dijeljenog broja više usluga, s mehanizmima kojim se utvrđuje kojoj usluzi se želi pristupiti

- Korisnik šalje SMS ili MMS s ključnom riječi ili ključnim izrazom na dijeljeni broj usluge;
- Korisnik upućuje govorni poziv na dijeljeni broj usluge nakon čega mu se nudi izbor putem govornih izbornika (engl. *Interactive Voice Response*, IVR);
- Jedinstvene URL adrese usluge
 - Korisnik se putem paketske mreže spaja na jedinstveni URL usluge. Pri tome se komunikacija provodi protokolima *weba* (pristup putem protokola WAP/HTTP);
- Barkoda
 - Korisnik pomoću vlastite opreme očitava barkod usluge, te se spaja na jedinstveni URL usluge pohranjen u barkodu;
- Dolaskom na određenu lokaciju
 - Pojava korisnika na određenoj lokaciji pokreće uslugu, a komunikacija se provodi protokolima *weba* (pristup putem protokola WAP/HTTP);

Pronalaženje usluga podrazumijeva korisničko znanje o postojanju sučelja. Kako bi se korisnika upoznalo sa postojanjem usluge, a zatim i načinom pronalaženja i korištenja usluge koriste se metode oglašavanja:

- Klasične metode oglašavanja
 - Novine, plakati, *web* stranice, reklamni paneli...;
 - Broj usluge u novinama, barkod usluge na plakatu, veza na uslugu na *web* stranici i slično;
- Prisutnost/blizina
 - Uočavanja prisutnosti potencijalnih korisnika u blizini izvora sadržaja (zahtjeva suglasnost korisnika);
- Oglašavanje na uređajima korisnika
 - Oglašavanje putem SMS/MMS;
 - Slanje reklamnih poruka korisnicima (zahtjeva suglasnost korisnika);
 - Oglašavanje putem aplikacija;
 - Isticanje reklama unutar aplikacija koje korisnici koriste na vlastitom uređaju;

Konačno, mogućnosti pristupa usluzi ovise o dostupnim sučeljima VAS i mrežnoj tehnologiji koja korisniku omogućuje osnovne usluge transporta. U tom su smislu mogući sljedeći slučajevi:

- Pristup putem fiksne mreže (PSTN, računala);
- Pristup putem pokretne mreže (pokretni telefoni, pametni telefoni);
- Pristup putem druge paketske mreže (WLAN AP) (prijenosna računala, pametni telefoni).

1.7.5. Smjernice za komponente koje sudjeluju u pružanju VAS

Smjernice za komponente koje sudjeluju u pružanju VAS propisuje regulatorno tijelo, a cilj je osigurati pravednu raspodjelu prava i odgovornosti između komponenata [2]. U tom su smislu u nastavku izložene smjernice koji se odnose na pojedine komponente.

1.7.5.1. Smjernice prema korisnicima

- Zajednički račun po stavkama (engl. *Single itemized bill*)
 - Korisnicima se za korištenje usluga treba ispostaviti jedan zajednički račun na kojem je naznačen iznos svake pojedine stavke. Pod stavkama se u ovom kontekstu smatraju cijene davanja usluge (VASP stavka), cijene sadržaja (CP stavka), cijene prijenosa podataka (Operatorska stavka) i cijene svih ostalih komponenti koje sudjeluju u davanju usluge odnosno naplati iste. Uz cijene moraju biti istaknute vrijednosti sa i bez poreza.
- Indikativna informacija o naplati (engl. *Indicative charging information*)
 - Prije korištenja usluge svakom korisniku mora biti dostupna jasna informacija o svim potencijalnim troškovima korištenja usluge. Navedenome pripadaju i eventualne naknade za registraciju i slično.
- Jasno tarifiranje (engl. *Understandable tariff structure*)
 - Korisnici moraju biti informirani o naplati pojedinih tarifa unutar usluge. Primjerice, korisnik mora znati koliko će mu se naplatiti izbor najveće kvalitete usluge naspram prosječne kvalitete.

1.7.5.2. Smjernice za davatelje usluge s dodanom vrijednosti (VASP)

- Dinamičko modificiranje modela naplate (engl. *Dynamic modification of pricing policies*)
 - VASP mora imati mogućnost dinamičke prilagodbe modela naplate usluge koju daje odnosno VASP stavke u računu krajnjem korisniku. Mogućnost uvođenja novih modela naplate predstavlja važan zahtjev s obzirom na dinamiku pojavljivanja novih funkcionalnosti i usluga. Pri tome svaka promjena modela naplate od strane VASP-a ne bi trebala utjecati na ugovor BLE (*Business Level Agreement*) između operatora i VASP-a.
- Pravedna raspodjela prihoda (engl. *Fair revenue sharing*)

- Potrebno je omogućiti pravednu raspodjelu prihoda između operatora i VASP-a. U tom smislu dobrom praksom se pokazuje odvajanje naplate usluge od naplate transporta podataka usluge.
- Kompetitivnost (engl. *Competitiveness*)
 - Cijena korištenja usluge za krajnjeg korisnika mora biti razmjerna dodanoj vrijednosti koju usluga nudi. Uz to, cijena se mora formirati u odnosu na cijenu sličnih osnovnih usluga. Primjerice, cijena IP telefonije ne bi smjela biti veća od cijene klasične telefonske usluge (PSTN).
- Pravedno oglašavanje usluge
 - Oglašavanje usluge ne smije biti provedeno na način da zavara korisnike. U tom smislu, istaknute cijene moraju biti usporedive s konkurencijom, ne smije biti skrivenih troškova ili slično. Primjerice, ako konkurencija navodi cijenu korištenja usluge po minuti, ne smije se navoditi (znatno jeftinija) cijena po sekundi bez da se to dodatno ne naglasi.
 - Ako usluga koristi broj s povećanom tarifom (engl. *Premium rate number*) cijena komunikacije mora biti istaknuta čitljivom veličinom uz broj usluge (po minuti za govor ili jednokratno za poruke).
 - VASP treba voditi računa da reklamne poruke usluge ne stignu do onih korisnika kojih se ne tiče i koji bi takav način oglašavanja mogli shvatiti uvredljivim i agresivnim.
- Besplatna služba za korisnike
 - Služba za korisnike nudi upute o pristupu i korištenju usluge. Pristup službi za korisnike ne smije se naplaćivati.
- Čuvanje zapisa o korisnicima (CDR)
 - VASP treba čuvati zapise o komunikaciji s korisnicima (engl. *Customer Data Records*, CDR) kako bi se mogle provjeriti eventualne pritužbe korisnika ili omogućiti uvid u zapise nadležnim tijelima u slučaju istrage. Zapisi koji se čuvaju moraju sadržavati barem zapise o naplati, transportu i sadržaju koji je korisniku isporučen.
 - Zapisi korisnika su povjerljivi pa se moraju prikladno zaštititi. U tom smislu, pristup zapisima smije imati samo nadležna VAS komponenta i odgovarajuća tijela u slučaju istrage.
 - Zapisi o korisnicima ili privatni podaci, kao što su brojevi pretplatnika (MSISDN), ne smiju se koristiti u marketinške svrhe ili davati na uvid trećoj strani ukoliko se korisnici s tim eksplicitno ne slože.

- Privatnost korisnika
 - Privatnost korisnika potrebno je uvijek štititi u najvećoj mogućoj mjeri. Kako sama usluga često zahtijeva djelomičan uvid u privatne podatke korisnika, potrebno je osigurati mehanizme zaštite kojima će se izbjeći mogućnost da treća strana dobije uvid u takve podatke. Privatni podaci korisnika smiju se čuvati samo dok su potrebni za izvođenje usluge; nakon toga, moraju se obrisati podaci ili njihova povezanost s korisnikom (anonimiziranje).

1.7.5.3. Smjernice za operatore

- Integrirani sustav za naplatu (engl. *Integrated system for charging and billing*)
 - Sustav za naplatu mora biti automatiziran i zaštićen te se nalaziti u administrativnom dijelu jezgrene mreže operatora.
- Primjena različitih modela naplate (engl. *Application of various billing models*)
 - Naplata VAS-ova treba ovisiti o više faktora kao što su količina prenesenih podataka, trajanje prijenosa, vrijeme dana, lokacija korisnika, kvaliteta usluge (QoS) i slično.
- Proces vođenja računa i naplate ne smije značajno opterećivati mrežu operatora (engl. *Minimal load on the network due to charging and billing process*)
- Pravedna naplata (engl. *Fairness*)
 - Naplata VAS-ova trebala bi biti proporcionalna količini korištenih mrežnih resursa prilikom davanja usluge. Time se uz pravednu naplatu postiže i to da korisnici neće bez razloga zauzimati nepotrebne resurse.
- Fleksibilnost (engl. *Flexibility*)
 - Modeli naplate i komponente tarife trebaju se moći neovisno mijenjati. Time se postiže maksimalna prilagodljivost kod formiranja cijene s obzirom da različiti vanjski faktori mogu utjecati na ukupnu cijenu VAS-ova.
- Vođenje računa u stvarnom vremenu (engl. *Real-time billing*)
 - Vođenje računa za korisnike trebalo bi se odvijati u stvarnom vremenu. Time se korisnicima omogućuje praćenje potrošnje pa ih je moguće obavijestiti o, primjerice, približavanju predefiniranom limitu ili slično.

1.7.5.4. Smjernice za davatelje sadržaja (CP)

- Zakonitost sadržaja

- Sadržaj koji usluge isporučuju korisnicima ne smije ni u kojem svojem aspektu biti u suprotnosti s zakonom države u kojoj se usluga nudi. Uz to, sadržaj ne smije ni na koji način poticati protupravno ponašanje korisnika.
- Identitet davatelja sadržaja
 - Korisnik kojem se isporučuje sadržaj uvijek mora biti svjestan tko mu isporučuje sadržaj. U tom je smislu kod isporuke sadržaja u nekom njegovom segmentu potrebno istaknuti identitet davatelja sadržaja.
- Restrikcije sadržaja
 - Korisnicima se ne smije isporučivati sadržaj koji:
 - Sadrži nasilne poruke;
 - Na bilo koji način krši prava ili dignitet osoba, a posebice djece;
 - Potiče nasilje ili protuzakonite radnje;
 - Potiče diskriminaciju bilo koje vrste;
 - Je neprikladan za maloljetne osobe, osim ako je to posebno istaknuto i zahtijeva korisnički pristanak;
 - Potiče korisnike da se bez razloga odriču vlastite privatnosti;
 - Korisnike zavarava u bilo kojem smislu.

1.7.6. Vrste VAS-ova

VAS su na tržištu prisutne nekoliko godina i tijekom tog vremena razvijeno je mnoštvo usluga različite namjene [5, 6]. Međutim, moguće je uočiti nekoliko aspekata koji karakteriziraju usluge prema svrsi. U tom smislu, usluge mogu biti:

- Informacijske usluge
 - Usluge koje korisniku pružaju neku informaciju;
- Lokacijske usluge
 - Usluge koje se izvode u ovisnosti o korisničkoj lokaciji;
- Usluge *e-commercea*
 - Usluge koje se bave naplatom;
- Kolaboracijske usluge
 - Usluge društvene mreže, temeljene na društvenoj povezanosti korisnika usluge;

Navedene vrste usluga nisu međusobno isključive, pa tako usluge koje dominiraju tržištem često kombiniraju dva ili sva tri navedena aspekta. Štoviše, lokacijske usluge su gotovo uvijek i informacijske, u smislu da korisnicima isporučuju sadržaj vezan uz lokaciju korisnika.

Kod informacijskih usluga dodana vrijednost koja se isporučuje korisniku jest određena informacija. Primjeri ovakvih usluga su:

- Točno vrijeme (govor/SMS)
- Vremenska prognoza (govor/SMS/MMS)
- Servisne informacije (govor/SMS/MMS)

Lokacijske usluge dodanu vrijednost temelje na poznavanju lokacije korisnika. Tipična ovakva usluga jest informiranje korisnika o njegovoj trenutnoj lokaciji. Međutim, pravu vrijednost lokacijske usluge ostvaruju informacijskim aspektom usluge, pa su tako primjeri usluga sljedeći:

- Vremenska prognoza ovisna o lokaciji korisnika (govor/SMS/MMS)
- Servisne informacije ovisne o lokaciji (govor/SMS/MMS)
 - Najbliži bankomat, crpka, restoran;
 - Oglašavanje – najbliže turističke destinacije (smještaj, izleti, događanja);

Usluge *e-commercea* temelje se na mogućnostima alternativne naplate korisnicima. Cilj takvih usluga jest pojednostavniti proces kupnje korisnicima i omogućiti kupnju ili plaćanje u pokretu. Primjeri su:

- Nadoplata računa/bonova putem različitih metoda plaćanja
 - Kupnja bona pokretne mreže kreditnom karticom korištenjem usluge na pokretnom uređaju (aplikacija, SMS, WAP...);
 - Nadoplata klupske kartice za kazalište putem VAS-a;
- Kupnja u pokretu
 - Kupnja ulaznica za događaje, kazališta, kina i slično;
 - Kupnja proizvoda putem oglašenog barkoda proizvoda;

Kolaboracijske usluge su usluge koje podrazumijevaju društvenu povezanost između više korisnika usluge. Primjeri takvih usluga su zajedničko upravljanje dokumentima, SMS chat korisnika koji su društveno povezani i slično. Kolaboracijske usluge često se proširuju i lokacijskim aspektom, a primjeri su:

- Lokacijske igre korisnika („lov na blago“)

- Dostavljanje informacija zaposlenicima iste tvrtke tijekom boravka na radnom mjestu

1.7.7. Tržište usluga s dodanom vrijednosti

VAS su na tržištu prisutne nekoliko posljednjih godina. Prve usluge koje su referencirane kao usluge s dodanom vrijednosti temeljile su se na komunikaciji SMS porukama s povećanom tarifom (engl. *Premium Rate Services*) [5]. Primjer takvih usluga, koje su i danas vrlo popularne, jesu usluge koje korisnicima dostavljaju zvukove zvona, slike i slično. Međutim, pojavom pametnih telefona na tržištu postala je dostupna nova tehnologija, koju je bilo moguće iskoristiti za pružanje novih usluga. Navedeno se prvenstveno odnosi na veće procesne i memorijske kapacitete uređaja, mogućnost pozicioniranja korisnika putem uređaja (GPS) te veći kapacitet povezivanja uređaja (3G, WLAN). Paralelno s dolaskom novih uređaja na tržište, korisnicima su se nudile nove usluge koje su iskorištavale nove tehnologije na uređajima. Međutim, problem je bio u maloj zastupljenosti takvih, pametnih, telefona na tržištu zbog njihove cijene. S vremenom su pametni telefoni postali znatno dostupniji, pa je i njihov udio u ukupnim pokretnim komunikacijama rastao do današnjih 19.3% [7]. Navedenom rastu doprinjeli su i novi operacijski sustavi za pametne telefone, kao Apple iOS i Android, uz postojeći Symbian.

Upravo je Apple sustavom iOS napravio svojevrsnu revoluciju u pokretnim uslugama ponudivši jednostavnu kupnju i preuzimanje aplikacija putem Apple dućana. Koncept takvog dućana počeli su koristiti različiti davatelji sadržaja, pa je najveći rast tržišta usluga s dodanom vrijednosti zabilježen upravo kod usluga *e-commercea*, a predviđa se i daljnji kontinuirani rast na novim tržištima [8]. Popularnost društvenih mreža potiče rast kolaboracijskih usluga, pa je značajan rast zabilježen i kod takve vrste usluga, kojima se također predviđa dodatni prodor na tržište u narednih nekoliko godina [9]. Lokacijske usluge također su sve zastupljenije na tržištu pojavom novih telefona s više mogućnosti pozicioniranja (GPS, A-GPS, WLAN, mrežno pozicioniranje). Značajan doprinos rastu lokacijskih usluga daju i nove aplikacije koje se temelje na izmijenjenoj stvarnosti (engl. *Augmented Reality*, AR), kojima se korisnicima omogućuje jednostavnije snalaženje u prostoru [10].

U kontekstu kretanja tržišta treba reći kako se najveći rast očekuje na novim i relativno mladim tržištima, u koja pripadaju tržišta Azije, Afrike i Bliskog istoka. Ovo se prvenstveno odnosi na Indiju i Kinu, kao zemlje s velikim brojem potencijalnih korisnika. Kod njih se očekuje značajan rast korištenja usluga potaknut uvođenjem novih tržišnih modela te otvaranjem tržišta, u slučaju Kine [11].

Literatura

[1] „Directive on privacy and electronic communications“, 2002/58/EC

[2] Guanling Chen and David Kotz. „A survey of context-aware mobile computing research“. Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College, November 2000.

- [3] „Universal International Premium Rate Numbers (UIPRN) and Universal International Shared Cost Numbers (UISCN)“, ITU-T, 6/2000.
- [4] „Code of Practice for Value Added Services“, Telecommunications Regularity Authority, Republic of Lebanon, 3/2010
- [5] „Mobile VAS in India“, IAMAI & eTechnology Group@IMRB, 12/2006
- [6] „Going beyond Voice – Mobile Data Value Added Services in Pakistan“, članak, preuzeto s: teletimesinternational.com, 8/2010.
- [7] „Gartner Says Worldwide Mobile Phone Sales Grew 35 Percent in Third Quarter 2010; Smartphone Sales Increased 96 Percent“, članak, Gartner, 12/2010, preuzeto s: www.gartner.com u prosincu 2010.
- [8] „Mobile Value-Added Business Brings Hefty Profits to Major Telecom Carriers“, članak, CENS, 1/2011, preuzeto s: news.cens.com u siječnju 2011.
- [9] „Gartner Reveals Five Social Software Predictions for 2010 and Beyond“, članak, Gartner, 3/2010, preuzeto s: www.gartner.com u siječnju 2011.
- [10] „Mobile location-based and gaming AR apps to soar in next few years“, članak, Bizreport/Juniper research, 1/2010, preuzeto s: bizreport.com u siječnju 2011.
- [11] „Emerging markets driving VAS growth“, članak, Telecoms.com, 7/2010, preuzeto s: telecoms.com u siječnju 2011.

2. Regulatorni aspekti mreže sljedeće generacije

Mreža sljedeće generacije regulatorni je izazov, jer nova arhitektura, organizacija i način rada mreže omogućuju nove usluge i nove načine pružanja usluga te time otvaraju novo tržište elektroničkih komunikacija. Za razliku od mreža u kojima dominira komutacija kanala, NGN se zasniva na komutaciji paketa i mrežnom protokolu IP, što je ključni korak u konvergenciji mreža, sa značajnim posljedicama na mogućnosti pružanja usluga, kako postojećih tako i novih, te razvoj tržišta elektroničkih komunikacija. Analiza regulatornih aspekata mreže sljedeće generacije obuhvaća opće postavke reguliranja NGN-a, arhitekturu Interneta i mrežnu neutralnost, politiku upravljanja radiofrekvencijskim spektrom te modele međupovezivanja. Uključena je analiza ulaganja i troškova NGN-a.

2.1. Opće postavke reguliranja NGN-a

Opće postavke reguliranja NGN-a obrađuju se polazeći od teorijskih aspekata reguliranja tržišta elektroničkih komunikacija u Europskoj uniji i analize regulatornih aspekata uvođenja i razvoja mreže sljedeće generacije, uz pregled problema tržišnog natjecanja, konkurencije u mrežnoj infrastrukturi i društvenih potreba u kontekstu NGN-a te početne faze i prijelaznog razdoblja uvođenja NGN-a.

2.1.1. Teorijski aspekti reguliranja tržišta elektroničkih komunikacija u Europskoj uniji

Reguliranje tržišta elektroničkih komunikacija u Europskoj uniji zasniva na tri postavke:

- Poticanje, zaštita i nenarušavanje tržišnog natjecanja, uključujući smanjivanje prepreka za ulazak novih sudionika na tržište;
- Ostvarivanje društvenih potreba kako bi elektroničke komunikacije bile javno dobro, te zaštita privatnosti korisnika;
- Racionalno upravljanje i dodjela ograničenih resursa potrebnih za elektroničko komuniciranje.

To su tri specifična područja u kojima se provodi regulatorna intervencija, jer se ocjenjuje da slobodno tržište samo po sebi ne bi pridonijelo ostvarenju navedenih ciljeva.

U Europskoj uniji regulatorne obveze postavljaju se sudionicima na tržištu koji imaju značajnu tržišnu snagu (engl. *Significant Market Power*, SMP) na načelu *ex ante*, odnosno unaprijed, i to tamo gdje se ocjenjuje da zakon o tržišnom natjecanju primijenjen *ex post*, naknadno, neće biti dovoljan za sprječavanje narušavanja tržišnog natjecanja. Procjena postojanja operatora ili davatelja usluge sa značajnom tržišnom snagom polazi od gospodarskog položaja koji mu omogućuje da se u značajnoj mjeri ponaša neovisno o konkurenciji i korisnicima usluga. Smatra se da ulazak novih sudionika na tržište nije moguć bez *ex ante* pravnih sredstava kad je riječ o međupovezivanju i pristupu mreži operatora

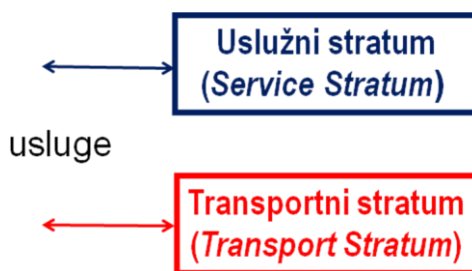
proizašlog iz razdoblja monopola, odnosno operatora sa značajnom tržišnom snagom. Bez tržišnog natjecanja i ulaska novih sudionika, cijene za krajnje korisnike bile bi više, a mogućnost njihovog odabira davatelja usluge ograničena.

Za korisnike i društvo u cijelosti, NGN omogućuje smanjivanje digitalne podjele, nove usluge i niže cijene zbog učinkovitije mreže. Uvođenje NGN-a suštinski mijenja organizaciju i način rada mreža te mogućnosti pružanja usluga, tako da treba istraživati i pratiti regulatorne implikacije, jer je riječ o novom, nadolazećem tržištu elektroničkih komunikacija [1]. S gospodarskog motrišta, svako je novo tržište rizičnije za ulaganja zbog neizvjesnosti vezane uz potražnju i ponašanje konkurencije te vrijeme povrata ulaganja: ulagači u takvim okolnostima očekuju veći povrat na kapital (engl. *Return on Capital*, ROC) od uobičajenog. Stoga nova tržišta treba promatrati drukčije od etabliranih, da zbog nedovoljnog ulaganja ili čekanja s ulaskom na tržište ne bi došlo do zaostajanja izazvanog nepravodobnim usvajanjem novih tehnologija i inovacija općenito. To vrijedi kako za cjelokupno tržište, tako i pojedine sudionike – mrežne operatore i davatelje usluga.

Za Europu za koju se može govoriti o „digitalnom deficitu“, posebno je važno novo tržište elektroničkih komunikacija zasnovano na inovacijama, od kojih je jedna i NGN [2], a isto vrijedi i za Republiku Hrvatsku. Nacionalna regulatorna tijela u EU smatraju strukturu novog tržišta i međusobne odnose davatelja usluga na njemu složenima. Stoga sustavno razmatraju različita pitanja regulatorne politike u svezi NGN-a, a posebice tržišno natjecanje, poticaje za ulaganja i učinkovitu uporabu mreže, interes korisnika te tehnološku neutralnost.

2.1.2. Analiza regulatornih aspekata uvođenja i razvoja mreže sljedeće generacije

Na potrebu razmatranja novog pristupa reguliranja tržišta prvenstveno utječe horizontalno ustrojstvo mreže sljedeće generacije s dva stratuma, transportnim i uslužnim (Slika 2.1.1.).



Slika 2.1.1. Horizontalno ustrojstvo mreže nove generacije

Posebno su važni sljedeći čimbenici:

- potpuna digitalizacija, paketski način rada i primjena mrežnog protokola IP te migracija prema IP-mreži i uvođenje mrežnog protokola IPv6;
- odvajanje usluga i aplikacija od transporta, što dovodi do novog lanca vrijednosti koji se može dekomponirati na „mrežni“ i „uslužni“ dio te proizvesti nova tržišta kao i nove oblike konkurencije i partnerstva;

- normiranje aplikacijskih programskih sučelja koja olakšavaju uvođenje novih usluga i aplikacija;
- diferencijacija usluga s motrišta sigurnosti i kvalitete usluge;
- konvergencija usluga fiksne i pokretne mreže;
- potencijalna uska grla tržišnog natjecanja u širokopojasnoj pristupnoj i jezgrenoj mreži;
- poticanje i zaštita ulaganja u mrežu, rizik ulaganja u nova tržišta;
- upravljanje, dodjela i uporaba spektra na načelima tehnološke i uslužne neutralnosti, uz mogućnost trgovanja spektrom;
- sustavi numeracije i adresiranja u NGN-u;
- troškovni modeli primjereni pristupnoj i jezgrenoj mreži te uslugama NGN-a, uključujući koegzistenciju postojećih mreža i NGN-a u prijelaznom razdoblju;
- politika cijena, održivost postojećih cjenovnih modela (maloprodaja, veleprodaja, međupovezivanje, ...);
- postupanje u prijelaznom razdoblju uvođenje NGN-a.

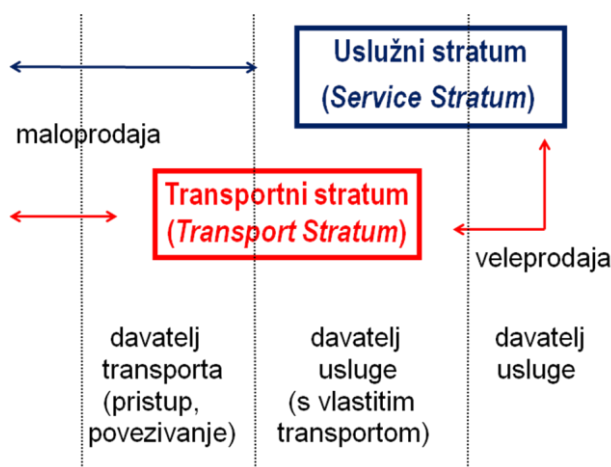
Ciljevi reguliranja tržišta elektroničkih komunikacija uz uvođenje i razvoj mreže sljedeće generacije, ostaju isti kao do sada: ostvarivanje tržišnog natjecanja i društvenih potreba te dodjela ograničenih resursa [3-9].

Za regulatore se nastavlja konvergencijska i širokopojasna politika razvoja mreža i usluga, pri čemu se narušavaju tradicionalne granice između mjerodavnih tržišta (engl. *relevant market*). Otvaraju se mnoga nova pitanja, jer su postojeća regulatorna sredstva usmjerena prvenstveno na mreže s komutacijom kanala i odvojene platforme za pojedine vrste usluga. Nadalje, potrebna su velika ulaganja u novu pristupnu infrastrukturu, a moguća su i nova uska grla u mreži. Potrebno je evaluirati odnos *ex ante* i *ex post* reguliranja tržišta, odnosno prenose li se postojeće regulatorne obveze u NGN, prilagođavaju NGN-u, postupno ili trajno ukidaju. To u mnogome ovisi o sadašnjoj intermodalnoj i intramodalnoj konkurenciji, odnosno razini konkurencije raznovrsnih i istovrsnih operatora i davatelja usluga. Mrežni operatori mogu proaktivnom politikom utjecati na regulatorne obveze, primjerice dopuštajući izdvojeni pristup optičkoj pristupnoj infrastrukturi ili pristup jezgrenoj mreži. Regulatorna jasnoća u svezi uvođenja i prijelaza na NGN važna je kako za sadašnje sudionike i sadašnje tržište, tako i za stvaranje novoga.

2.1.3. Tržišno natjecanje

S motrišta tržišnog natjecanja u NGN-u, ključni je problem tržišna snaga i uz nju vezana regulatorna sredstva, pri čemu treba voditi računa o konkurenciji na tržištu, tj. postojećim sudionicima i konkurenciji za tržište, odnosno potencijalnim sudionicima.

Novi lanac vrijednosti koji proizlazi iz odvajanja transportnog i uslužnog stratuma NGN-a može izazvati promjene postojećih i nastajanje novih mjerodavnih tržišta u okviru tržišta elektroničkih komunikacija. Tri osnovne skupine sudionika na tržištu predočene na Slici 2.1.2. dobivene su posmakom stratuma.



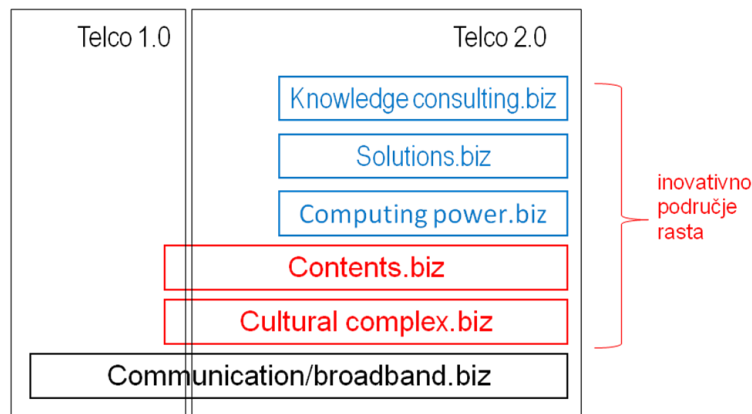
Slika 2.1.2. Osnovne skupine sudionika na tržištu s mrežom sljedeće generacije

Prvu skupinu čine davatelji usluga s vlastitim transportom, tj. mrežnom infrastrukturom koju rabe za vlastite potrebe i nude ostalima. Druga je skupina davatelja usluga transporta, odnosno pristupa mreži ili povezivanja mreža koji ne djeluju na tržištu usluga krajnjim korisnicima, već kapacitete nude samo veleprodajno. U trećoj su davatelji usluga bez vlastitog transporta koji trebaju pribaviti transportne kapacitete potrebne za pružanje usluga od sudionika koji ih nude veleprodajno.

Mrežni operatori proizašli iz razdoblja monopola, kao i drugi sa značajnom tržišnom snagom djeluju integrirano, u uslužnom i transportnom sloju, te će nastojati proširiti skup usluga i aplikacija koje pružaju. Za njih su glavni su pokretači uvođenja NGN-a smanjenje troškova zbog objedinjavanja postojećih mreža i prijelaza u homogenu IP-mrežu jednostavnije arhitekture i organizacije te uvođenje širokopojsnog pristupa znatno većih brzina od postojećih, što otvara prostor za nove usluge [10-12]. Dobar pokazatelj transformacije telekomunikacijskih operatora je tzv. Telco 2.0¹ model, koji u odnosu na postojeći, Telco 1.0, ulazi u inovativna područja rasta izvan tradicionalnog komunikacijskog i širokopojsnog poslovanja [13], što je prikazano na Slici 2.1.3.

Područja rasta obuhvaćaju nacionalni kulturni kompleks uključujući obrazovanje, kulturu, zdravstvo, zabavu i drugo, zatim digitalni sadržaj, računalne resurse, profesionalna rješenja zasnovana na informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji te poslovno konzultiranje u tom području.

¹ <http://www.telco2.net/manifesto/>



Slika 2.1.3. Model poslovne transformacije telekomunikacijskog operatora (preuzeto iz [13])

Konkurencija unutar sektora elektroničkih komunikacija (etablirani i novi mrežni operatori i davatelji usluga) proširuje se konkurencijom iz drugih sektora (tvrtke koje se bave elektroničkim i informacijskim poslovanjem), a isto tako sudionici tržišta elektroničkih komunikacija postaju konkurencija drugim sektorima (financijske transakcije zasnovane komunikacijskom računu, konzalting i dr.).

Složenost odnosa na novom tržištu odrazit će se na definiranje tržišne snage. Kao što je poznato, određivanje mjerodavnih tržišta je pretpostavka za ustanovljavanje značajne tržišne snage i određivanje regulatornih sredstava, a provodi se na temelju sljedećih kriterija:

- visoke i trajne strukturne, pravne ili regulatorne zapreke za ulazak na tržište;
- struktura tržišta ne teži razvoju djelotvornog tržišnog natjecanja u određenom vremenskom razdoblju;
- primjena općih propisa o zaštiti tržišnog natjecanja ne omogućuje uklanjanje nedostataka na tržištu.

Tržišna snaga osnovno je mjerilo položaja nekog sudionika na tržištu. O utjecaju tehnologije, tj. IP-mreže na koncept tržišne snage postoje različita mišljenja. Od onih, da će sama IP-mreža ukinuti važnost tržišne snage za odnose na tržištu, preko drugih sa stavom da će važnost tržišne snage opadati s vremenom, ali je teško predvidjeti kojom će se dinamikom to događati i preuranjeno je govoriti da je ne treba razmatrati u IP-mreži, pa do onih koji zastupaju stav da će novi oblici konkurencije izazvati ne samo promjene, već i poteškoće u definiciji tržišne snage.

Novo tržište elektroničkih komunikacija potaknuto NGN-om otvara cijeli niz pitanja poput odnosa tržišne snage i mrežnog učinka, odnosno eksternalnosti (engl. *network externality*), tj. učinka jednog korisnika na vrijednost usluge drugim korisnicima, jer vrijednost usluge raste s brojem korisnika. Dalje, to je pitanje dvostranog tržišta (engl. *two sided market*) tipičnog za sve modele klijent-poslužitelj koji se ostvaruju putem zajedničke platforme (npr. davatelj internetske usluge) koja omogućuje interakciju krajnjih korisnika uz odgovarajuću naplatu svakoj strani.

Najmanje dva aspekta obilježavaju ocjenu značajne tržišne snage za nova tržišta. U okviru prva dva kriterija (zapreke ulasku na tržište i razvoj djelotvornog tržišnog natjecanja) treba razmotriti da li konkurencija „čeka“ izvan tržišta kako bi se uključila na tržište kad postane zrelije te ulaganja budu manja i manje rizična. Drugi je problem sudionika sa značajnom tržišnom snagom na postojećem tržištu koji mogu pokušati prenijeti tržišnu snagu na novo tržište.

Sva tri kriterija teško će zadovoljiti nova tržišta s visokom stopom rasta, kao i tržišta s visokom razinom složenih inovacija, pa za takva tržišta treba ustanoviti da li trebaju biti predmetom reguliranja.

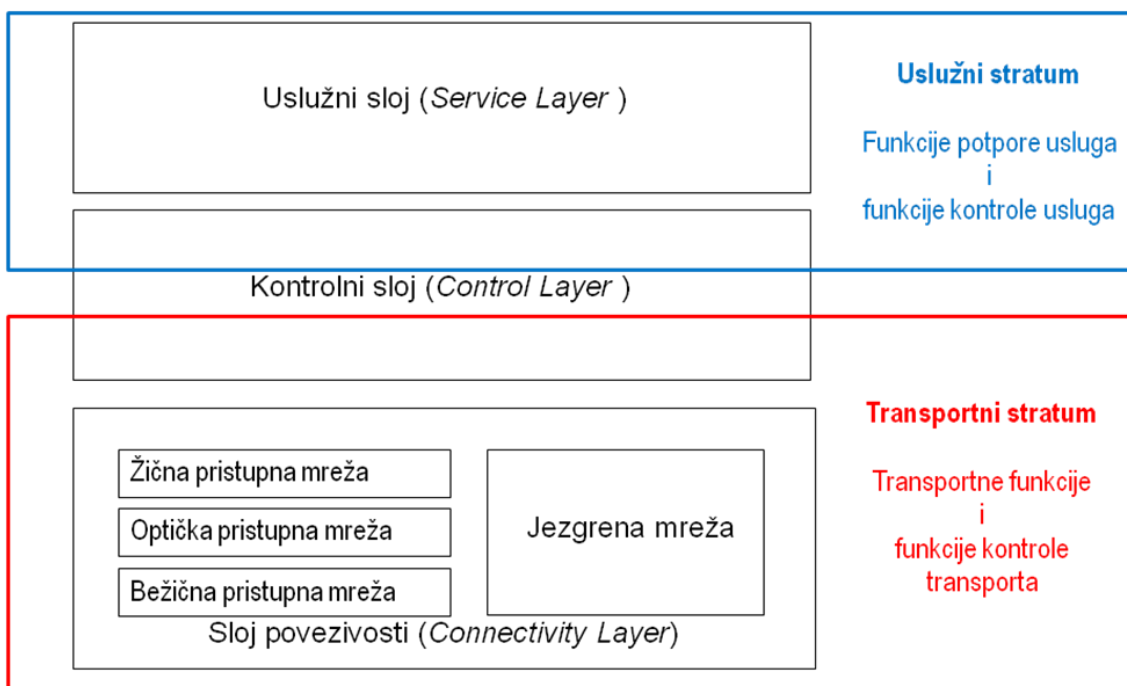
Specifični je problem tržišne snage terminacija govornog poziva (tzv. terminacijski monopol), jer samo jedan davatelj usluge može završiti govorni poziv na pozvanom broju. Terminacijski monopol nestaje tek kad telefonski pozivni broj ne bude primarni način za ostvarivanje govorne komunikacije u stvarnom vremenu, ili kad jedan pozivni broj bude omogućen s više davatelja usluge, primjerice uz ENUM (*E.164 NUmber Mapping*).

2.1.4. Konkurencija u mrežnoj infrastrukturi

Konkurencija u infrastrukturi odnosi se na pristupnu i jezgenu mrežu NGN-a u transportnom stratumu koji obuhvaća transportne funkcije i funkcije kontrole transporta te je odvojen od uslužnog stratuma s funkcijama potpore i kontrole usluga (Slika 2.1.4.).

Nove pristupne tehnologije zasnovane na optičkoj, hibridnoj optičko-žičnoj te radijskoj infrastrukturi, donose nove mogućnosti izgradnje i razvoja pristupne mreže NGN, ali ostaje problem početnih troškova. Za očekivati je da će se malo sudionika odlučiti za izgradnju i održavanje pristupne infrastrukture u svima ili većini geografskih područja, što će konkurenciju u fizičkoj infrastrukturi ograničiti pretežno na dvije pristupne mreže: mrežnog i kablenskog operatora. Više od toga može se očekivati u gospodarski razvijenim područjima s visokom gustoćom korisnika. Stoga, ukoliko mrežni operator sa značajnom tržišnom snagom nije suočen s prijetnjom konkurencije koja bi mogla preuzeti korisnike, regulatorna sredstva trebaju poticajno djelovati na njegova ulaganja u novu pristupnu mrežu i inovaciju veleprodajne usluge.

S regulatornog motrišta važan je odnos nove i postojeće pristupne infrastrukture. Reguliranje treba biti tehnološki neutralno, tako da novu infrastrukturu koja omogućuje iste ili slične usluge kao postojeća, tj. zamjenjuje je, treba tretirati na isti način i primjenjivati ista regulatorna sredstva. Kod optičke infrastrukture, iz tehničkih je razloga otežana primjena postojećih regulatornih sredstava za omogućavanje konkurencije u pristupu (izdvojeni pristup lokalnoj petlji) zbog promjene potencijalnih pristupnih točaka (manji broj glavnih razdjelnika, izdvajanje u uličnom ormariću, priključak u kući ili stanu i drugo).



Slika 2.1.4. Arhitektura mreže sljedeće generacije

Dobro oblikovano reguliranje veleprodaje važno je, jer se u NGN-u odvajaju transport (mreže) i usluge (i aplikacije). U tom kontekstu razmatra se funkcijsko odvajanje (engl. *functional separation*), tj. odvajanje maloprodaje i veleprodaje mrežnog operatora, odnosno davatelja usluge, kao regulatorno sredstvo kojim se onemogućuje diskriminacija veleprodajnih kupaca koji pružaju istovrsne maloprodajne usluge [14].

Ljestvica ulaganja (engl. *ladder of investment*) prikladna je za homogene usluge u transportnom stratumu, a manje za uslužni stratum, tako da će trebati istražiti značenje ljestvice ulaganja za NGN. Ljestvica ulaganja utječe kako na ulaganja, tako i konkurenciju. Njome se ostvaruje se veći raspon mogućih rješenja za veleprodaju u pristupnoj mreži novim ili postojećim sudionicima, od kojih se ovisno o razini na ljestvici, zahtijeva manje ili veće ulaganje u vlastitu infrastrukturu, posljedično s manjom ili većom dodanom vrijednosti.

Jezgrena mreža suočena je sa stalnim porastom prometa podatkovnih usluga kojem pridonosi stvaranje i razmjena korisnički generiranog sadržaja (Web 2.0), a posebice različitih video sadržaja. Stoga je i za jezgrenu mrežu jačanje kapaciteta i ulaganje u nove tehnologije prijeka potreba. U jezgrenoj mreži NGN-a ključno je međupovezivanje kao simetrična relacija, a manji je problem pristup mreži, asimetrična relacija kod koje jedan operator koristi dijelove mreže drugog operatora (najam).

Uz uvođenje NGN-a razriješiti treba kvalitetu usluge u širem smislu (uključujući sigurnost, pouzdanost, raspoloživost i drugo), njen utjecaj na odnose na tržištu te maloprodajne i veleprodajne cijene. S razvojem Interneta i uvođenjem NGN-a, obnavlja se rasprava o mrežnoj neutralnosti (engl. *network neutrality, net neutrality*). Mrežna neutralnost označava da se usluge ne diskriminiraju s obzirom na izvor, odredište ili vlasništvo informacijskog prometa [15]. Današnji Internet radi na načelu najbolje moguće (engl. *best effort*) i ne pruža

jamstvo kvalitete usluge, te se ponaša upravo tako – mrežno neutralno. Zagovornici mrežne neutralnosti su zajednice potrošača te davatelji usluga i sadržaja čiji se poslovni modeli oslanjaju na pristup Internetu, tj. transport kojeg osiguravaju mrežni operatori i davatelji internetske usluge. Oni smatraju da bi bilo kakvo diferenciranje ili diskriminiranje negativno utjecalo na razvoj internetskih usluga i aplikacija. Oспоравatelji su davatelji internetske usluge i mrežni operatori koji zastupaju stav da postignuta razina konkurencije dopušta pregovaranje o kvaliteti usluge i uvjetima za njeno ostvarivanje. Svako diferenciranje usluga s obzirom na brzinu prijenosa ili druge parametre kvalitete usluge (npr. kašnjenje), kao i prioritet posluživanja, zahtijeva razmatranje mrežne neutralnosti u kontekstu NGN-a.

S motrišta krajnjeg korisnika u NGN-u, za očekivati je probleme s razlikovanjem kvalitete usluge i njenom naplatom, tako da se razmatraju poslovni i rezidencijalni aspekti kvalitete usluge u NGN-u.

2.1.5. Društvene potrebe

Društvene potrebe kojima se elektroničke komunikacije iskazuju kao javno dobro odnose se na univerzalne usluge, hitne službe i provedbu zakonitog presretanja (engl. *lawful interception*).

Univerzalne usluge moraju biti dostupne svim krajnjim korisnicima usluga po pristupačnoj cijeni na cijelom području države, neovisno o njihovoj zemljopisnoj lokaciji. Osnovne su sljedeće: pristup javnoj telefonskoj mreži i javno dostupnim telefonskim uslugama na nepokretnoj lokaciji uključujući komunikaciju putem telefaksa i podatkovnu komunikaciju, uz brzine prijenosa podataka koje omogućuju djelotvoran pristup Internetu, uzimajući u obzir raširene tehnologije kojima se koristi većina pretplatnika; pristup krajnjih korisnika usluga najmanje jednom sveobuhvatnom imeniku svih pretplatnika javno dostupnih telefonskih usluga, pristup krajnjih korisnika usluga službi davanja obavijesti o brojevima pretplatnika te posebne mjere za osobe s invaliditetom². Univerzalne usluge pružaju se uz uvažavanje načela objektivnosti, transparentnosti, razmjernosti i nediskriminacije te uz što manje narušavanje tržišnog natjecanja.

NGN uvodi promjene u pružanju govorne usluge – govor putem IP-a (engl. *Voice over IP, VoIP*) na različitim platformama, što se reflektira i na univerzalnu uslugu. Nadalje, neovisno o dinamici uvođenja i razvoja NGN-a, „djelotvoran pristup Internetu“, trebat će zamijeniti širokopojasnim pristupom Internetu [16].

Zbog mogućnosti nomadskog kretanja korisnika i pristupa mreži, VoIP nije vezan za neku fizičku lokaciju, što predstavlja problem za hitne službe (112) koje bi trebale odrediti lokaciju pozivajućeg korisnika kako bi mogle usmjeriti poziv na službu nadležnu za to područje i interventni tim uputiti na pravu kućnu adresu. U razradi su arhitekture VoIP-a za hitne službe, a do njihovog uvođenja u mrežu korisnike VoIP-a treba upozoriti na problem fizičke lokacije, kao i nemogućnost komuniciranja u slučaju nestanka električne energije.

² Zakon o elektroničkim komunikacijama

U svezi zakonitog presretanja, dohvaćanje podataka u paketskoj mreži bez ugrožavanja privatnosti korisnika, složenije je i skuplje nego u kanalskim mrežama kao što su PSTN, ili GSM.

2.1.6. Problemi početne faze i prijelaznog razdoblja

Informacije mrežnih operatora o strategiji uvođenja NGN-a posebno važne za upravljanje prijelazom na NGN. U početnoj fazi i tijekom prijelaznog razdoblja pozornost se treba usmjeriti na postojeće međusobne ugovorne obveze mrežnih operatora i davatelja usluga vezane uz pristup mreži i međupovezivanje, te postizanje novih odnosa na tržištu primjerenih NGN-u.

S obzirom na promjenu arhitekture i organizacije mreže, prijelaz na NGN izaziva potrebu za ulaganjima u svim povezanim mrežama iz tehničkih razloga (paketsko umjesto kanalskog povezivanja, broj i lokacija točaka za međupovezivanje, paralelni rad i međudjelovanje NGN i ne-NGN mreža) kako bi se osigurala raspoloživost veleprodajnih usluga. Potrebni će biti troškovni modeli za prijelazno razdoblje.

Uz to, ali ne samo zbog NGN-a, odvijat će se aktivnosti u svezi ograničeni resursa – radiofrekvencijskog spektra te brojevnog i adresnog prostora.

U dodjelu spektra uvode se tržišni mehanizmi aukcije i trgovanja, raste interes za nelicencirani dijelom spektra, kao i zajedničkim korištenjem spektra. S motrišta upravljanja i dodjele radiofrekvencijskog spektra, NGN ne zahtijeva specifična rješenja.

Sustav numeriranja proizašao je iz rješenja za fiksnu telefonsku mrežu, a sustav adresiranja iz internetskog upravljanja adresnim prostorom. Stoga će trebati sustavna rješenja za VoIP i već spomenuti ENUM. S korisničkog motrišta, za telefonske pozivne brojeve problem s VoIP-om veći je u Europi nego u SAD, jer europski telefonski broj sadrži više informacija (vrsta mreže: fiksna ili pokretna, geografska lokacija). Uz to, različito su uređene maloprodajne i veleprodajne cijene te modeli naplate za pojedine vrste mreža, tako da europski korisnik može na temelju pozivnog broja procijeniti trošak s obzirom na vrstu mreže i udaljenost, ukoliko se razlikuju cijene lokalnih i međumjesnih poziva.

Literatura

[1] „Next Generation Networks (NGNs)“, PE 429.973 (IP/A/ITRE/ST/2009-10), European Parliament, Directorate-General for Internal Policies, Bruxelles, 2009.

[2] „Europe's digital deficit: revitalising the market in electronic communications“, *Final report for ECTA*, Analysys Mason, 2010.

[3] C. Wey, P Baake, S. Heitzler, „Ruling the new and emerging markets in the telecommunication sector – Challenges: The emergence of next generation networks“, *ITU Workshop on What rules for IP-enabled NGNs?*, Geneva, 2006.

[4] J. Hernandez, „NGN Enabling Environments“, *GSR 2007 Discussion paper*, The 2007 Global Symposium for Regulators Dubai, 5-7 February 2007, ITU, 2007.

- [5] F. Kirsch, C. von Hirschhausen, „Regulation of NGN: Structural Separation, Access Regulation, or No Regulation at All?“, *MPRA Munich Personal RePEc Archive*, Paper No. 8822, München 2008.
- [6] J.S. Marcus, D. Elixman, „Regulatory Approaches to Next Generation Networks (NGNs): An International Comparison“, *Communications and Strategies*, No. 69, 2008.
- [7] ICT Regulatory Trends 2010, *ICT Regulatory News*, ITU, May 2010.
- [8] J. Scott Marcus, „New Directions for U.S. Telecommunications Regulation? - The Comcast decision and the “Third Way”“, *European Regional ITS conference*, Copenhagen, 13-15 September 2010.
- [9] J. Hernandez, D. Leza, K. Ballot-Lena, „ICT Regulation in the Digital Economy“, *GSR 2010 Discussion paper*, 10th Global Symposium for Regulators, Dakar, Senegal, 10-12 November 2010, ITU, 2010.
- [10] M.H. Reeve, C. Bilton, P.E. Holmes, M. Bross, „Networks and systems for BT in the 21st century“, *BT Technology Journal*, Vol. 23, No.1, pp. 11-14x.
- [11] „Next Generation Networks – Motivation and Challenges for Incumbents“, *White paper*, T-Systems Enterprise Services GmbH, Frankfurt, 2008.
- [12] „Business-Grade Next Generation Network versus Consumer NGN“, *White paper*, Exponential-e, London, 2010, (www.exponential-e.com).
- [13] Jong-Lok Yoon, „Telco 2.0: A New Role and Business Model“, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 45, No. 1, 2007.
- [14] M. Webb, „Breaking up is hard to do: The Emergence of Functional Separation as a Regulatory remedy Tool“, *GSR 2008 Discussion paper*, The 2008 Global Symposium for Regulators, Pattaya, Thailand, 11-13 March 2008, ITU, 2008.
- [15] S. Jordan, „Implications of Internet Architecture on Net Neutrality“, *ACM Transactions on Internet Technology*, Vol. 9, No.2, Article 5, May 2009.
- [16] P. Xavier, „What Rules for universal services in and IP-enabled NGN environment“, *ITU Workshop on What rules for IP-enabled NGNs?*, Geneva, 2006.

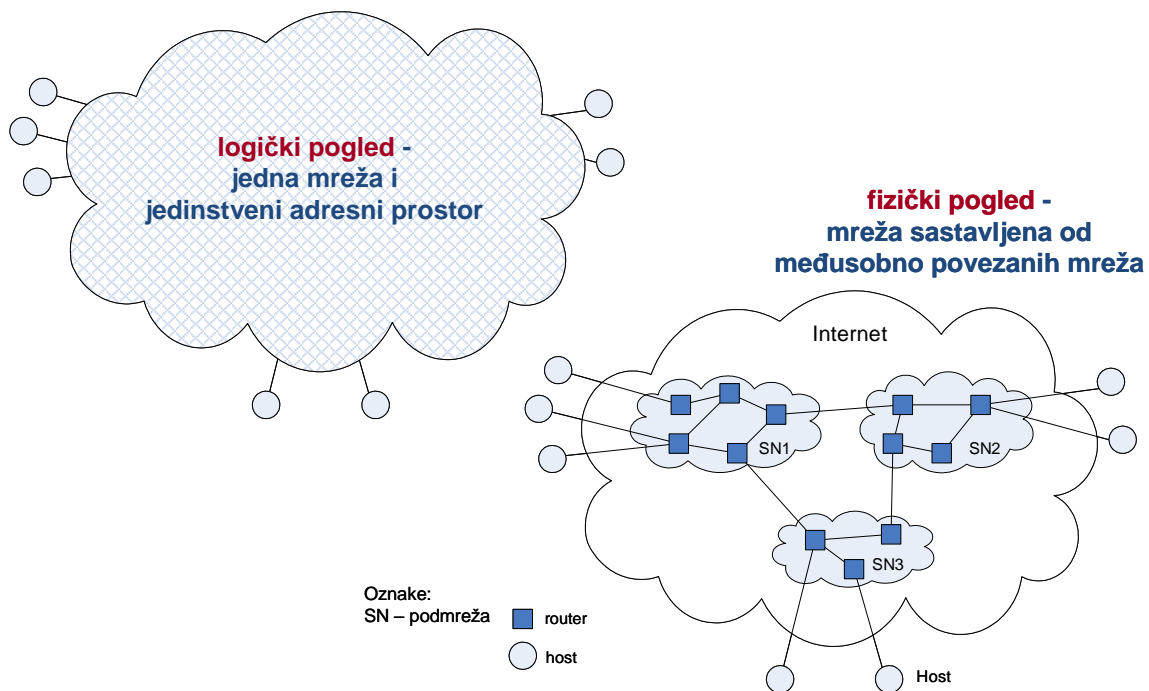
2.2. Arhitektura Interneta i mrežna neutralnost

U ovom poglavlju dan je pregled značajki arhitekture i organizacije Interneta, s posebnim naglaskom na adresiranje, sustav imenovanja domena (engl. *Domain Name System*, DNS) i međusobno povezivanje na razini infrastrukture kao kritične resurse, te pitanje mrežne neutralnosti.

2.2.1. Arhitektura Interneta

Internet je svjetska mreža međusobno povezanih (pod)mreža koju objedinjuje jedinstveni adresni prostor, zajednička pravila komunikacije i komunikacijski protokoli, posebice protokol Internet Protocol (IP), te dogovorno povezivanje među podmrežama, uz primjenu jedinstvenog protokola za usmjeravanja među njima. U tehnološkom smislu, protokol IP i drugi internetski protokoli čine temelj mreže sljedeće generacije, a u društvenom se smislu Internet danas smatra ključnom infrastrukturom za usluge informacijskog društva, odnosno kao platforma za društveno, političko i kulturno djelovanje građana. Stoga je jasna i povećana briga da se regulacijom osiguraju i prate uvjeti važni za zaštitu interesa korisnika i razvoj tržišta tih usluga.

Logička i fizička povezanost Interneta. U logičkom smislu, Internet je jedinstvena mreža, u kojoj je ostvarena globalna povezivost – biti „spojen na Internet“ znači moći komunicirati sa svime što je također „spojeno“ – korisničkim krajnjim računalima, pokretnim telefonima te drugim uređajima koji omogućuju komunikaciju s ljudima, kao i s raznim uređajima te mrežnim poslužiteljima elektroničke pošte, Web portala, višemedijskih sadržaja i društvenih mreža. U tom smislu, Internet možemo promatrati kao jedinstvenu mrežu s velikim brojem krajnjih sustava. S motrišta fizičke infrastrukture, Internet čine međusobno povezane *podmreže*. Slika 2.2.1. ilustrira logički i fizički pogled na Internet.



Slika 2.2.1. Fizička i logička slika Interneta

Organizacija i globalna koordinacija. S motrišta organizacije i globalne koordinacije u Internetu, podmreže su administrativno podijeljene u *autonome sustave* (engl. *Autonomous System, AS*). Autonomni sustav definira se kao povezani dio mrežne topologije, koji može obuhvaćati jednu ili više podmreža, s jedinstvenom i jasno definiranom politikom usmjeravanja „prema van“, odnosno prema ostalim autonomnim sustavima. Stoga se

autonomni sustav najčešće nalazi pod administracijom i u vlasništvu jednog mrežnog operatora. Svaki AS ima identifikator, *broj AS-a*, koji mora biti globalno jedinstven. Broj AS-a prvotno je uveden kao 16-bitni identifikator, da bi se kasnije proširio na 32-bita. Dodjelom brojeva AS-ova upravlja *Internet Assigned Numbers Authority* (IANA). U internetskoj terminologiji, protokoli za usmjeravanje unutar AS-ova nazivaju se *protokoli unutrašnjeg usmjeravanja* (engl. *Interior Gateway Protocol*, IGP), a protokoli za usmjeravanje između različitih AS-ova nazivaju se *protokoli vanjskog usmjeravanja* (engl. *Exterior Gateway Protocol*, EGP). U praksi se za protokole unutar autonomnog sustava primjenjuju razna rješenja, dok je protokol vanjskog usmjeravanja u Internetu samo jedan, i to *Border Gateway Protocol* verzije 4 (BGP-4). Prema podacima iz siječnja 2011. trenutno je dodijeljeno oko 59 tisuća brojeva AS-ova, od čega je u primjeni kroz BGP vidljivo oko 35 tisuća [1].

S obzirom na globalnu povezanost Interneta, koordinacija je nužna i u tehničkom i organizacijskom smislu te tu djeluje više organiziranih udruga. *Internet Engineering Task Force* (IETF) bavi se izradom tehničkih specifikacija s primjenama u dizajnu, primjeni i upravljanju Internetom. Drugo važno tijelo je *Internet Corporation for Assigned Names and Numbers* (ICANN), neprofitna udruga koja se bavi „sveukupnom koordinacijom globalnih internetskih sustava jedinstvenih identifikatora i osiguravanje njihovog stabilnog i sigurnog rada“. U praksi, ICANN koordinira dodjelu i pridruživanje jedinstvenih skupova internetskih identifikatora, nazive domena i sustav domenskih imena, IP adrese i brojeve AS-ova, te brojeve vezane uz funkcioniranje komunikacijskih protokola (portovi i parametri). (Tu funkciju je do osnivanja ICANN-a 1998. godine obavljala IANA, koja pod istim imenom samo prelazi u nadležnost ICANN-a po njegovom osnivanju.) ICANN koordinira evoluciju i djelovanje korijenskog DNS sustava te razvoj politika povezanih sa svim navedenim tehničkim funkcijama. ICANN je od svog osnivanja djelovao pod nadzorom vlade SAD-a, sve do razrješenja svih obvezujućih ugovora krajem rujna 2009 [2].

2.2.2. Kritični resursi Interneta

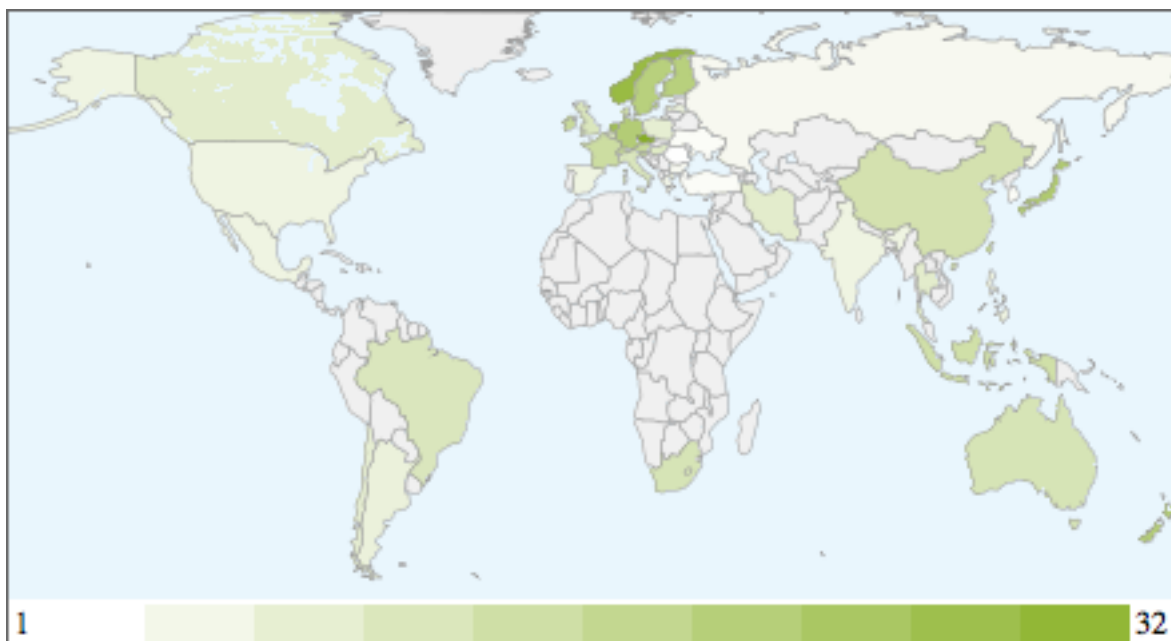
Povijesno gledano te s obzirom na paketski način rada, Internet je izrazito otporan na ispade dijelova infrastrukture, nema centralno mjesto upravljanja, a vlasništvo je raspodijeljeno. Ipak, za globalnu povezivost i pristup uslugama, kao kritični resursi mogu se identificirati adresni prostor i sustav imenovanja domena te međusobno povezivanje mreža.

Adresni prostor. Internetski globalni adresni prostor je ograničen i može se smatrati kritičnim resursom, slično kao radiofrekvencijski spektar za pokretne komunikacije i telefonski brojevi prema preporuci ITU-T E.164. Za inačicu IPv4, adrese su 32-bitni identifikatori, te njegov adresni prostor ima nešto manje od 4.3 milijarde (2^{32}) adresa. Adresni prostor podijeljen je na javne, privatne i rezervirane adrese, raspone kojih koje propisuje IANA. Dodjelu javnih adresa nadzire IANA, odnosno ICANN, upravljajući dodjelom blokova adresa i sustavom domenskih imena, dok se dijelovi adresnog prostora delegacijom prenose regionalnim registrarima (engl. *Regional Internet Registry*, RIR), podijeljenih po regijama APNIC (Azija-Pacifik), ARIN (SAD, Kanada, neke karipske države), LACNIC (Latinska Amerika i neke karipske države), RIPE NCC (Europa i Bliski istok), AFRINIC (Afrika). RIR-

ovi delegiraju odgovornost nacionalnim (NIR) i lokalnim (LIR) registrarima. U konačnici se blokovi adresa daju ISP-ovima, koji ih dodjeljuju korisnicima ili nižim ISP-ovima. U Hrvatskoj je nacionalni registrar CARNet, koji upravlja vršnom domenom *.hr* i registracijom besplatnih domena unutar domene *.hr*, dok se domene uz naplatu registriraju putem ovlaštenih registrara prema Pravilniku o ustrojstvu i upravljanju vršnom nacionalnom internetskom domenom (NN 038/2010) [3]. U RH je, prema podacima iz listopada 2010., bilo ovlašteno 13 takvih lokalnih internetskih registrara.

Protokol IP. S obzirom na nove primjene koje nisu postojale kad u vrijeme kada je specificiran IPv4, kao i očekivano iscrpljivanje adresnog prostora, IETF je još 1990.-tih je godina započeo razvoj nove inačice protokola IP, IP verzije 6 (IPv6). U inačici IPv6 proširene su mogućnosti adresiranja tako da je duljina adrese povećana na 128 bita (2^{128} , dekadski $3.4 \cdot 10^{38}$ adresa), uz nove mogućnosti i raspone adresiranja. IPv6 donosi i pojednostavljenja u sintaksi samog protokola IP te bolju podršku za za višemedijske primjene, kao i za proširenja osnovnog IP-a kao što su, na primjer, pokretljivost i sigurnost u smislu autentifikacije, integriteta i privatnosti komunikacije. Protokolu IPv4 i IPv6 nisu međusobno kompatibilni te da su stoga nužni tranzicijski mehanizmi i paralelna podrška za oba protokola u prijelaznom razdoblju. Iako je prelazak na IPv6 prihvaćen, i kao nužnost, i kao očekivano sredstvo razvoja novih gospodarskih mogućnosti, uvođenje IPv6 u svijetu i njegova dinamika je vrlo raznolika, ali sveukupno nedovoljna. Izvješće OECD-a (engl. *Organisation for Economic Co-operation and Development*) [4] iz travnja 2010. navodi se da „uvođenje protokola IPv6 ide presporo za buduće potrebe gospodarstva“ i navodi brojne podatke koji potkrjepljuju tu tvrdnju. Na primjer, samo 5.5% od 1800 AS-ova odnosno adresibilnih IP mreža podržava IPv6 promet, a države s najviše IPv6 mrežnih usluga su Njemačka, Nizozemska, UK i SAD. Zanimljivo je da je više od 90% operacijskih sustava spremno za IPv6, kao i da se podrška za sadržaj i web sjedišta povećava – oko 1.45% od tisuću najposjećenijih svjetskih sjedišta imaju IPv6, ali postotak pada na 0.15% za najposjećenijih milijun sjedišta. Prema navedenom izvješću, oko 23% IXP-ova (77 IXP-ova od 338) podržava IPv6, uz 17% porasta u zadnje dvije godine. Za RH je važno da je Europska komisija donijela je 2008. godine akcijski plan [5] u sklopu inicijative i2010 kojim planira „široku primjenu“ protokola IPv6 u Europi do 2010. g. Cilj je bio postići da se 25% korisnika u EU može se spojiti na IPv6 Internet i pristupiti svojim sadržajima i uslugama, pri čemu su rezultati pokazali da je u travnju 2009. godine to postignuto za 22% korisnika (mjerjenje BGPmon), što pokazuje ohrabrujući trend.

Slika 2.2.2. ilustrira rezultate mjerenja primjene protokola IPv6 u Internetu koje provodi BGPmon, za prosinac 2010.



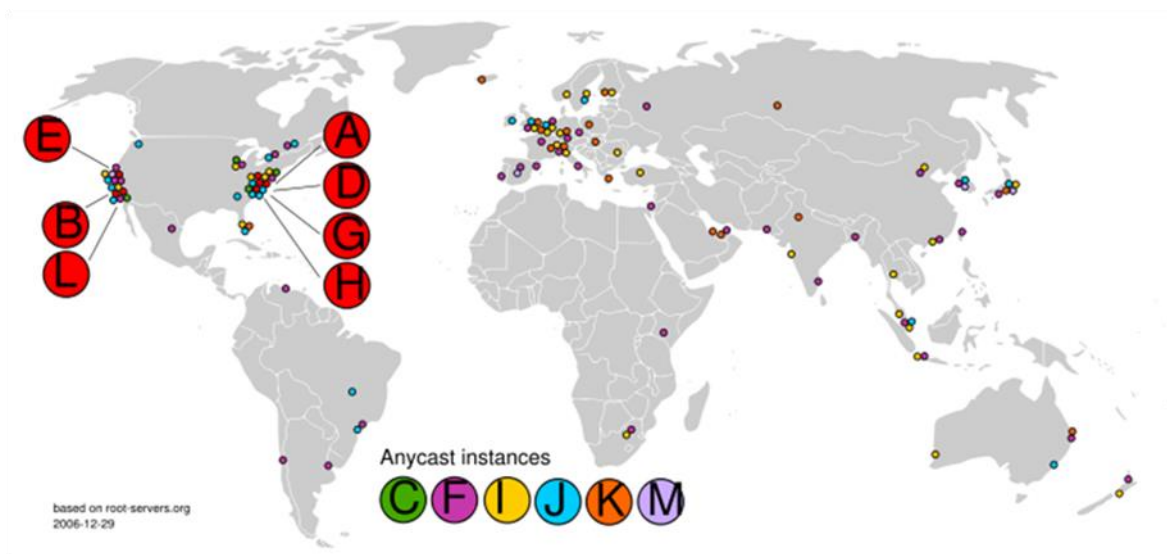
Slika 2.2.2. Primjena protokola IPv6 u svijetu, prosinac 2010. (Izvor: BGPmon)

Vidljivo je da su vodeće zemlje u primjeni protokola IPv6 europske zemlje, Japan, Novi Zeland i Tajvan. Podaci pokazuju da je globalni prosjek oko 8%, a u Europi su vodeće Češka, Nizozemska i skandinavske zemlje (u rasponu 15% – 30%). Može se naći podatak i primjene za RH od 4%, dakle daleko ispod globalnog i europskog prosjeka.

Sustav domenskih imena. Sustav domenskih imena (engl. *Domain Name System*, DNS) uveden je sredinom 1980.-tih godina. DNS pridružuje razne vrste informacija imenu domene, pri čemu je najčešća uporaba za pridruživanje numeričke IP adrese mrežnog sučelja simboličkom, lako pamtljivom imenu računala (na primjer, ime `www.fer.hr` preslikava se u numeričku IP adresu `161.53.72.23`). DNS je jedna od sustavskih (infrastrukturnih) usluga u Internetu koja je ključna za rad drugih internetskih usluga, a posebno onih kojima se služe ljudi (web, elektronička pošta, internetska telefonija), te zajedno sa sustavom domenskih imena predstavlja još kritičan resurs za stabilan i siguran rad Interneta [7]. DNS je izveden prema modelu klijent-poslužitelj, s korijenskim DNS-poslužiteljem na vrhu hijerarhije (engl. *root DNS server*). Slijede domene najviše razine, nazvane vršnim domenama (engl. *Top Level Domain*, TLD), koje se dijele u dvije skupine: 1) generičke domene najviše razine (engl. *generic TLD*, gTLD), i 2) domene najviše razine prema kodu države (engl. *country code TLD*, ccTLD). Za potrebe internetske infrastrukture definirana je posebna domena (`.arpa`). Prema podacima iz listopada 2010. godine, postoji 20 gTLD-a i više od 250 ccTLD-a. Od 2007. godine postignut je dogovor o pravilima za otvaranje novih gTLD pa se može očekivati da će njihov broj s vremenom rasti. Drugi važan trend je internacionalizacija domenskih imena uz primjenu lokalnih jezika i znakovnih sustava.

Izvedbeno, korijenski poslužitelj čini 13 poslužitelja (označenih slovima od *a* do *m*, npr. `k.root-servers.net`) uz po nekoliko identičnih instalacija širom svijeta (<http://www.root-servers.org/>). Slika 2.2.3. daje pregledni prikaz smještaja korijenskog poslužitelja. Uočljivo je da je zemljopisna raspodjela poslužitelja vrlo neujednačena – deset korijenskih poslužitelja je

u SAD-u, dva u Europi i jedan u Japanu. Zanimljivo je primijetiti i da rad korijenskih poslužitelja nije u okviru ikakvog formalnog odnosa s bilo kakvim nadležnim tijelom u smislu obveza i odgovornosti za stabilnost i sigurnost rada.



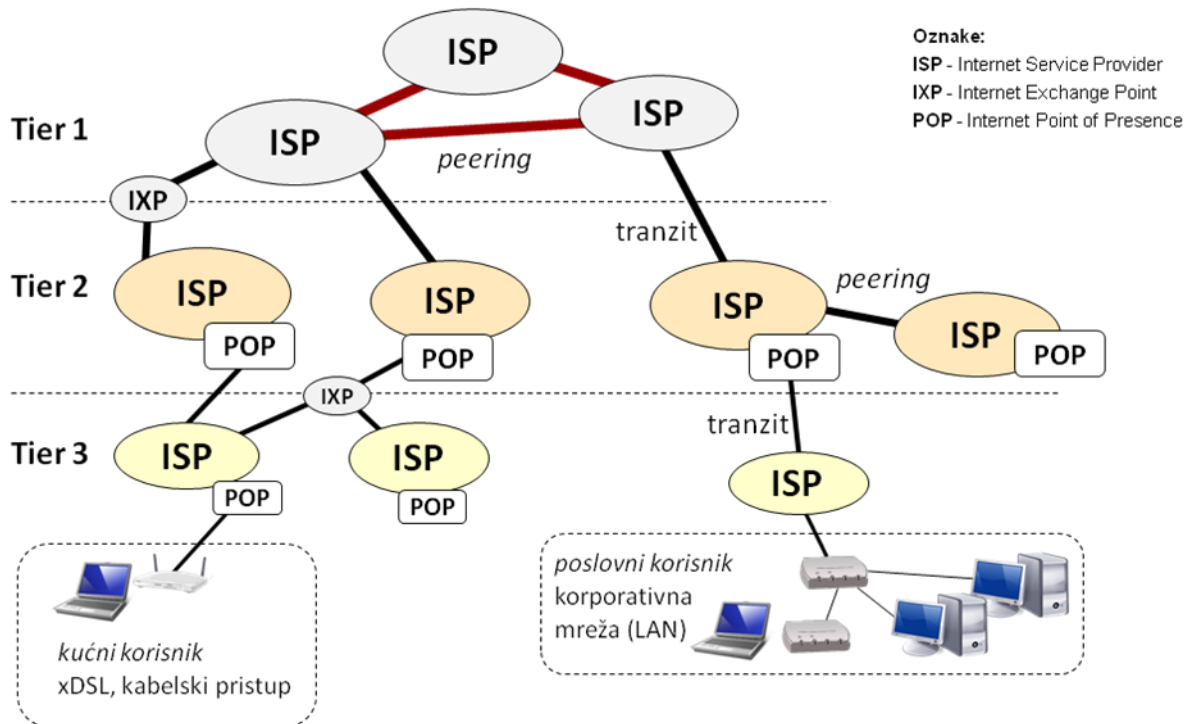
Izvor: Matthäus Wander, 2006. Wikipedia Commons.

Slika 2.2.3. Pregled zemljopisnog položaja korijenskog DNS poslužitelja

Podaci u sustavu DNS su raspodijeljeni po načelima hijerarhije imena i relacija nadležnosti tako da se postupak razlučivanja adrese ili drugog traženog podatka iz DNS-a može promatrati kao prolaz kroz hijerarhiju stabla domenskih imena. U primjeni taj prolaz odgovara nizu upita prema DNS poslužiteljima nadležnima za pojedinu zonu/domenu. Uz nužnu redundanciju DNS sustava (uvijek postoji primarni i sekundarni poslužitelj), pojavila se potreba i za sigurnosna proširenja. Na inicijativu ICANN-a i Verisigna, sredinom 2010. godine uvedena su sigurnosna proširenja koja osiguravaju autentičnost izvora DNS-podataka, integritet podataka i autentičnost nepostojanja unosa u DNS-u, pod zajedničkim nazivom DNSSEC (od engl. *DNS Security Extensions*).

Međusobno povezivanje mreža. Slika 2.2.4. ilustrira način povezivanja ISP-ova u Internetu. Hijerarhija ISP-ova obično se prikazuje podijeljena u tri razine (engl. *tier*), razine 1, 2 i 3, uz nekoliko vrsta definiranih odnosa kada je riječ o međusobnom povezivanju:

- ravnopravno povezivanje – povezivanje ISP-ova iste razine, podrazumijeva se bez uzajamnog plaćanja za promet svojih korisnika (engl. *peering*, odn. *settlement-free peering*),
- neravnopravno povezivanje – povezivanje ISP-ova različite razine, podrazumijeva se uz plaćanje (engl. *transit*),
- povezivanje u točkama razmjene internetskog prometa (privatno ili javno).



Slika 2.2.4. Hijerarhija povezivanja u Internetu

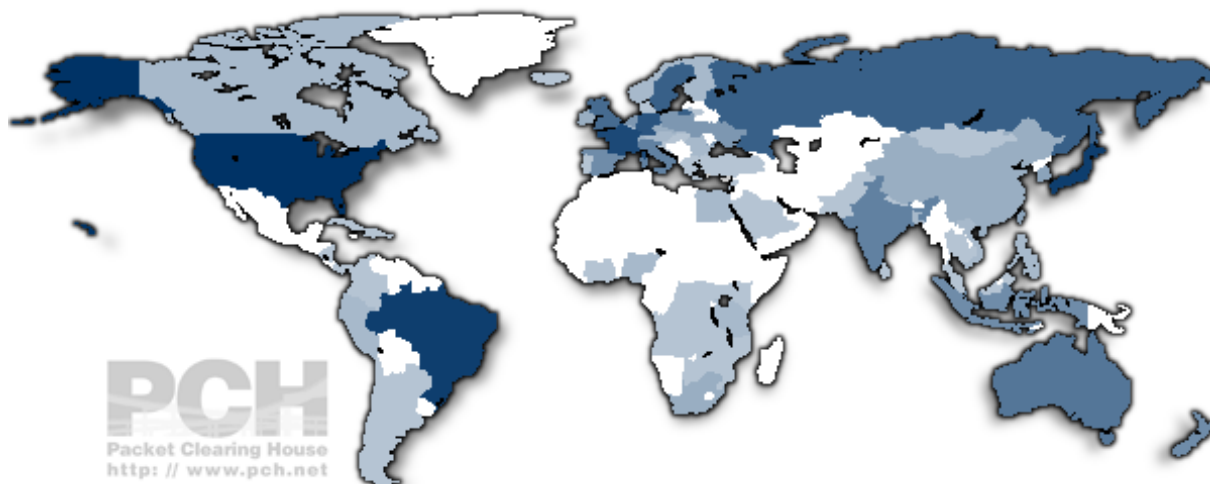
ISP-ovima razine 1 smatraju se oni koji ispunjavaju dva uvjeta: 1) ravnopravno su povezani bez uzajamnog plaćanja, i 2) razmjenjuju isključivo promet svojih korisnika, odn. ne rade tranzit prometa drugih ISP-ova preko svoje mreže. ISP-ovi razine 2 su oni koji se ravnopravno povezuju s drugim ISP-ovima, ali dodatno plaćaju tranzit nekim drugima za povezivost prema određenim dijelovima Interneta. ISP-ovi razine 3 su oni koji isključivo plaćaju tranzit za povezivost prema ostatku Interneta. S obzirom na položaj u hijerarhiji, povezivanje ISP-a prema razini višeg sloja naziva se i uzvodno (engl. *upstream*), a ono prema nižoj razini nizvodno (engl. *downstream*). Svi ISP-ovi mogu nuditi pristup Internetu krajnjim korisnicima (osobnim ili poslovnim) putem točke pristupa Internetu (engl. *Point of Presence*).

Podjela na razine nikad nije formalno uspostavljena ili definirana, ali su „pripadnost“ određenoj razini i odnosi u praksi vidljivi iz tablica usmjeravanja BGP-a. Razgraničenje razina 1 i 2, pogotovo kad se radi o velikim ISP-ovima, temelji se na ne-obavljanju tranzita, iz čega proizlazi da topologija povezivanja ISP-ova razine 1 nužno ima potpunu povezanost (svaki sa svakim) i oni koji su dio tog kruga nemaju interes za proširivanjem (ponašanje kartela). Svaki prekid povezivanja (engl. *depeering*), uslijed više sile ili poslovnih razloga, rezultira izolacijom dijela Interneta koji je pod tim ISP-om od dijela Interneta prema kojem je prekid nastao. Broj ISP-ova razine 1 kreće se u rasponu 10-15, ovisno stanju povezivanja i izvoru podataka, s obzirom da ISP-ovi nemaju potrebu ni obvezu objavljivati podatke o plaćanju za povezivanje. Prema podacima dostupnima u siječnju 2011, vjeruje se da su ISP-ovi razine 1: Level 3 Communications, Sprint, Global Crossing, Savvis, Telia Sonera, NTT Communications, Verizon, Tata Communications, AT&T, Tinet, China Telecom, Cogent, i Qwest. Primjeri ISP-ova razine 2 su Allstream, British Telecom, Deutsche Telekom, France Telecom i Tele2.

Odnosi između ISP-ova formaliziraju se odgovarajućim sporazumima, odnosno ugovorima o povezivanju (engl. *peering agreement*, odn. *transit agreement*). Sporazumi mogu biti dvostrani ili višestrani, a uključuje razmjenu i osvježavanje informacija o usmjeravanju BGP-om. Također se dogovaraju i uvjeti pod kojima se razmjenjuje promet s ostalim mrežama za različite vrste prometa.

Povezivanje u točkama razmjene internetskog prometa odvija se posredstvom točaka razmjene internetskog prometa, (engl. *IP eXchange Point*, IXP), koje omogućuju izravnu razmjenu prometa najkraćim putem s mrežama spojenim u IXP, bez prolaska kroz treće mreže, čime se mogu postići velike uštede.

Slika 2.2.5. pokazuje zemljopisnu raspodjelu i zastupljenost IXP-ova u svijetu. Prema podacima Packet Clearing House [6], 89 država u svijetu ima IXP-ove, od čega ih 65 ima samo po jedan ili dva, dok samo 9 država ima više od 10 IXP-ova, a njih ukupno najviše ima SAD (82 IXP-a). Ipak, po obimu razmijenjenog prometa, IXP-ovi u SAD zaostaju za onima u Europi i Japanu –najveća tri pojedinačna IXP-a u svijetu su AMS-IX u Amsterdamu, DE-CIX u Frankfurtu i LINX u Londonu. Podaci za AMS-IX za prosinac 2010. godine pokazuju količinu ulaznog prometa od 254300 TB i izlaznog prometa od 254077 TB prometa, iz prosječne brzine oko 750 Gbit/s. U Hrvatskoj ulogu IXP-a obavlja Croatian Internet Exchange (CIX), osnovan 2000. godine kao nacionalno središte za razmjenu Internetskog prometa. CIX djeluje kao neprofitna usluga Sveučilišnog računskog centra Sveučilišta u Zagrebu (SRCE) za komercijalne, nekomercijalne i privatne mreže u RH. Tijekom 2009. g. putem CIX-a razmijenjeno je ukupno 1845 TB podataka. Prema statističkim podacima koje objavljuje CIX, u studenom 2010. godine, broj članica CIX-a bio je 20, broj aktivnih peeringa 66, količina prenesenih podataka 190.1 TB, a brzina 1.72 Gbit/s.



Slika 2.2.5. Zemljopisna raspodjela i zastupljenost IXP-ova

2.2.3. Mrežna neutralnost

Iz perspektive Interneta kao javne i otvorene mreže, načelo mrežne neutralnosti često se percipira kao jednako postupanje mrežnog operatora prema svom internetskom prometu, neovisno o njegovu izvoru, odredištu i sadržaju. Ipak, za taj pojam ne postoji općeprihvaćena

definicija, već se on uglavnom obrazlaže kroz prava i obveze u odnosu korisnika i mrežnog operatora. Za ilustraciju neutralnosti se često koristi analogija s energetsom mrežom, gdje sva trošila priključena na nju dobivaju istu „uslugu“ od operatora energetske mreže. Načelo mrežne neutralnosti Interneta, od pitanja definicija do pitanje potrebe i načina eventualne regulacije u tom smislu, dovelo je brojnih rasprava i snažne polarizacije mišljenja te oštre podjele na klubove pristalica i protivnika mrežne neutralnosti [8]. Pri tome često prevladavaju emocije, ali i tehničko neznanje o načinu rada Interneta i osnovne (engl. *best effort*) usluge, koji nikada nije bio neutralan u smislu osiguravanja identičnih uvjeta za sve pakete s kraja na kraj mreže [9].

Pitanje mrežne neutralnosti u SAD-u. Povijesno gledano, pitanje mrežne neutralnosti pojavljuje se s početkom procesa konvergencije mreža početkom 2000-tih godina, kada su davatelji telekomunikacijskih, kabelskih i internetskih usluga u vrijeme deregulacije usluge širokopojasnog pristupa Internetu u SAD-u počeli ulaziti u tržišta onih drugih i nuditi „u paketu“ usluge pristupa Internetu, televiziju, i fiksnu i mobilnu telefoniju (engl. *triple play*, *quadruple play*). Pri tome se pojavila mogućnost da raznim metodama utječu na kvalitetu usluge favorizirajući vlastite usluge i usluge svojih poslovnih partnera, na štetu ili uz izravno blokiranje usluga konkurentskih tvrtki, ograničavajući u tom smislu slobodu izbora korisnika. Uz to, pojavila se i specifična situacija na tržištu širokopojasnog pristupa Internetu, gdje je stvoren duopol kabelskih operatora i operatora xDSL mreža, pri čemu iz motrišta korisnika izbornost operatora u lokalnom okviru u stvarnosti nije postojala, tj. duopol se sveo na monopol uz podjelu po zemljopisnoj osnovi. Kao odgovor na taj problem, regulator tržišta elektroničkih komunikacija u SAD-u, FCC (engl. *Federal Communications Commission*) 2005. godine donosi službeni stav o politici širokopojasnog pristupa Internetu (engl. *Broadband Policy Statement*), definirajući načela neutralnosti Interneta kroz četiri osnovna načela o pravima potrošača:

1. *Pravo pristupa sadržaju:* potrošači imaju pravo koristiti zakoniti sadržaj na Internetu prema svojem odabiru,
2. *Pravo pristupa aplikacijama:* potrošači imaju pravo koristiti aplikacije i usluge po svom izboru,
3. *Pravo izbora korisničkog uređaja:* potrošači imaju pravo spojiti na mrežu i koristiti svaki zakoniti uređaj, po svom odabiru (pod uvjetom da isti nije štetan za mrežu),
4. *Pravo na informaciju o uvjetima pružene usluge:* potrošači imaju pravo, po svom izboru, birati operatora putem kojeg će se spojiti na mrežu, te pravo na slobodan izbor pružatelja usluga i aplikacija te pružatelja sadržaja.

Kasnije su (2009. godine) tome dodana još dva načela:

5. *Načelo nediskriminacije:* davatelji internetskih usluga ne smiju diskriminirati sadržaje i aplikacije,
6. *Načelo transparentnosti:* davatelji internetskih usluga dužni su dati potpunu informaciju korisnicima o svojim tehnikama upravljanja mrežom, odnosno prometom.

Sve do prosinca 2010. godine, FCC nije uspio postići da ta pravila dobiju snagu službenih pravila FCC-a, jer prema postojećoj legislativi u SAD-u tržište širokopojasnog pristupa Internetu ne podliježe nadzoru FCC-a. Naime, iako je FCC prema ovlastima Kongresa imao pravo regulirati „komunikacije koje se prenose putem žice“ i shodno tome regulatorno utjecati na praksu pružatelja „komunikacijskih usluga“, prema mišljenju nadležnog suda te ovlasti ne odnose se na usluge klasificirane kao „informacijske usluge“ (u tu kategoriju su u SAD ranije ušle usluge kablenskog pristupa Interneta pa onda analogijom i usluge širokopojasnog Interneta temeljene na xDSL-u). Ta situacija povezuje se (i) s poznatim slučajem prijave protiv kablenskog operatora Comcast zbog kršenja mrežne neutralnosti blokiranjem odlaznog BitTorrent prometa. Usvajanje FCC-ovih pravila o neutralnosti mreže s minimalnom većinom (3:2) u Kongresu SAD-a u prosincu 2010. godine konačni je ishod dugotrajne pravne bitke, lobiranja i državne politike. Ipak, i nakon svega ostaje činjenica da FCC i dalje pravno nema ovlaštenje Kongresa za provedbu tih pravila, odnosno ne može davateljima pristupa Internetu određivati kako će rukovati prometom u svojim mrežama. Prema reakcijama u javnosti po objavi usvajanja FCC-ovih pravila o mrežnoj neutralnosti, za očekivati je da će FCC dalje raditi u smjeru promjene kategorizacije usluga pristupa Internetu s ciljem njihova reguliranja, a protivnici te ideje na tome da se zadrži *status quo*.

Pitanje mrežne neutralnosti u EU. Pitanje mrežne neutralnosti u EU znatno je manje kontroverzno nego u SAD-u, i to zbog ključnih razlika u općem tržišnom i regulatornom okruženju u području elektroničkih komunikacija u EU u odnosu na SAD. Naime, u EU je regulacija elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga dopuštena (uključujući i reguliranje širokopojasnog pristupa Internetu), a primjenjuje se samo kada je to potrebno radi sprečavanja zlouporabe znatnije tržišne snage, odnosno s ciljem razvoja i zaštite tržišnog natjecanja. Sva tržišta elektroničkih komunikacija u zemljama članicama EU podliježu regulatornom nadzoru i intervenciji nacionalnih regulatornih tijela, koja provode regulaciju tržišta u skladu s nacionalnim propisima i propisima EU propisima, a u suradnji s regulatornim tijelima ostalih država članica, te tijelom europskih regulatora u području elektroničkih komunikacija (BEREC). Takva suradnja regulatornih tijela i BEREC-a osigurava usklađenost regulatornog pristupa na razini EU.

Ovakav regulatorni pristup potaknuo je razvoj učinkovitog tržišnog natjecanja na tržištu širokopojasnog pristupa Internetu. Podaci iz 15. izvješća o napretku razvoja jedinstvenog tržišta elektroničkih komunikacija [10] pokazuju da je tržišni udio *incumbent* operatora širokopojasnih linija u EU oko 45%, a ostatak, odnosno većinu, imaju novi operatori. Oni većinom koriste izdvojeni pristup lokalnoj petlji (58.5%), nešto manje ali podjednako dijeljeni pristup izdvojenoj lokalnoj petlji i *bitstream* (15.2%, odnosno 15.9%), potom preprodani kapacitet (9.4%) i vlastitu mrežu (1%). Slijedom navedenoga, jasno je da korisnici u EU u pravilu imaju šire mogućnosti izbora konkurentskih operatora širokopojasnog pristupa od korisnika u SAD-u, što operatore odvraća od diskriminacijskih tehnika upravljanja prometom u mreži koje bi mogle rezultirati nezadovoljstvom korisnika, a posljedično i potencijalnim gubitkom prihoda i ugrožavanjem tržišne pozicije.

Europska komisija zalaže se za načela otvorenosti i neutralnosti u Internetu te je u okviru reforme telekomunikacijskog regulatornog okvira 2009. godine [11] formulirala i Deklaraciju o neutralnosti mreže koja glasi:

„The Commission attaches high importance to preserving the open and neutral character of the Internet, taking full account of the will of the co-legislators now to enshrine net neutrality as a policy objective and regulatory principle to be promoted by national regulatory authorities, alongside the strengthening of related transparency requirements and the creation of safeguard powers for national regulatory authorities to prevent the degradation of services and the hindering or slowing down of traffic over public networks. The Commission will monitor closely the implementation of these provisions in the Member States, introducing a particular focus on how the "net freedoms" of European citizens are being safeguarded in its annual Progress Report to the European Parliament and the Council. In the meantime, the Commission will monitor the impact of market and technological developments on "net freedoms" reporting to the European Parliament and Council before the end of 2010 on whether additional guidance is required, and will invoke its existing competition law powers to deal with any anti-competitive practices that may emerge.“

U tom smislu, Europska komisija pokrenula je javnu raspravu o pitanjima mrežne neutralnosti, koja je zaključena krajem rujna 2010. godine (u trenutku pisanja rezultati još nisu objavljeni).

Nadalje, iako sam regulatorni okvir ne sadrži izričite odredbe o načelu neutralnosti Interneta, one su postavljene u Smjernici o univerzalnoj usluzi iz 2009. godine, u dijelovima koji se odnose na prava krajnjih korisnika da pristupaju informacijama i distribuiraju ih, odnosno da koriste aplikacije po svom izboru (u suštini isto kao ranije spomenuta prava FCC-a, odnosno načela neutralnosti Interneta). Konkretno, definirano je koju informaciju moraju sadržavati pretplatnički ugovori, koje obveze regulatori mogu odrediti operatorima, kao i to da regulator može odrediti minimalnu razinu kvalitete usluge u cilju sprječavanja degradacije usluge ili usporavanja prometa u mrežama, pri čemu je o tim mjerama mora obavijestiti BEREC i uzeti u obzir mišljenje BEREC-a pri daljnjem postupanju. Time regulatori zapravo dobivaju ovlasti za intervenciju u slučaju potrebe za zaštitom interesa krajnjih korisnika.

Europska komisija (prema Neelie Kroes, potpredsjednice Europske komisije za Digitalnu agendu) mišljenja je da novi telekomunikacijski okvir stvara uvjete za učinkovito tržišno natjecanje na tržištu širokopojasnog pristupa Internetu te da Europa treba izbjeći regulaciju koja bi odvrćala investitore [12]. Pri tome se potiče razvoj inovativnih poslovnih modela za nove usluge te primjena upravljanja prometom za što bolje pružanje usluga, uz potpunu informiranost korisnika o uvjetima pružanja usluga i mogućnostima promjene operatora u slučaju kad korisnik nije zadovoljan. Kroes se osvrnula na poznate slučajeve narušavanja ovih načela (primjer blokiranja VoIPa na pokretnim mrežama) i pozvala korisnike da se prebace na operatore s otvorenim pristupom.

Literatura

- [1] AS Number Analysis Reports [On-line: <http://www.potaroo.net/tools/asns>]
- [2] The Affirmation of Commitments – What it Means, ICANN, 2009. [On-line: <http://www.icann.org/en/announcements/announcement-30sep09-en.htm>]
- [3] Pravilnik o ustrojstvu i upravljanju vršnom nacionalnom internetskom domenom (NN 038/2010)
- [4] Internet Addressing: Measuring Deployment of IPv6, OECD, April 2010. [On-line: <http://www.oecd.org/dataoecd/48/51/44953210.pdf>]
- [5] Advancing the Internet Action Plan for the deployment of Internet Protocol version 6 (IPv6) in Europe, Brussels, COM(2008) 313 final, 27/05/2008, [On-line: http://ec.europa.eu/information_society/policy/ipv6/docs/european_day/communication_final_27052008_en.pdf]
- [6] Packet Clearing House Report on Internet Exchange Point Locations [On-line: <https://prefix.pch.net/applications/ixpdir/summary/>]
- [7] *Internet governance and critical internet resources*, Report, Council of Europe Secretariat, Background material for the 1st Council of Europe Conference of Ministers Responsible for Media and New Communication Services: A new notion of media?, Reykyavik, Iceland, May 2010. [On-line: http://www.coe.int/t/information_society/documents/internetcriticalresources_en.pdf]
- [8] Jordan, S. „Implications of Internet Architecture on Net Neutrality“, ACM Trans. on Internet Technology, Vol. 9, No. 2, 2009, Article 5, 28 pp.
- [9] Crowcroft, J. „Net Neutrality: The Technical Side of the Debate: A White Paper“, ACM SIGCOMM Computer Communications Review, Vol. 37, No. 1, January 2007, pp. 49-55.
- [10] Progress Report on the Single European Electronic Communications Market 2009 (15th Report), COM(2010) 253, Brussels, August 2010 [On-line: http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomms/doc/implementation_enforcement/annualreports/15threport/15report_part1.pdf]
- [11] EU Telecoms Reform: 12 reforms to pave way for stronger consumer rights, an open internet, a single European telecoms market and high-speed internet connections for all citizens, MEMO/09/568, December 2009 [On-line: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/09/568>]
- [12] EC's Neelie Kroes weighs in on net neutrality debate [On-line: <http://www.infoday.eu/Articles/News/Featured-News/ECs-Neelie-Kroes-weighs-in-on-net-neutrality-debate-71983.aspx>]

2.3. Politika upravljanja radiofrekvencijskim spektrom

2.3.1. Uvod

Politika upravljanja radiofrekvencijskim spektrom postaje sve značajniji čimbenik u izvođenju novih generacija mreža elektroničkih komunikacija. Korištenjem radio spektra moguće je relativno brzo i jeftino izgraditi infrastrukturu, kako za jezgvenu mrežu, tako i za širokopojasni pristup krajnjem korisniku. Fleksibilnošću radio mreža olakšan je pristup korisnicima posebice u ruralnim, slabo naseljenim područjima. Uz izvođenje fiksnih veza, korištenjem radio spektra moguće je ostvariti i mobilne i nomadske veze između pristupnih točaka i krajnjeg korisnika. Stoga je svaku politiku upravljanja radiofrekvencijskim spektrom potrebno promatrati u širem kontekstu svih usluga mogućih putem radio komunikacije, jer si sve te usluge međusobno konkuriraju za uporabu spektra kao resursa koji je doduše neiscrpan u smislu neograničenog vremena korištenja, no ograničen u smislu raspoloživosti prijenosnih kapaciteta u nekom zemljopisnom području.

Uspoređuje li se razlike svojstava bežičnih i žičnih (parica ili optički kabeli) medija prijenosa, uočljive prednosti žičnih medija su pouzdanost, nepostojanje rizika interferencije, te smanjenje cijene s porastom broja korisnika. Međutim, lista prednosti bežičnog tj. radio-prijenosa je podulja: mobilnost korisnika, olakšano zemljopisno pokrivanje, niža cijena početne investicije, brža implementacija mreže, te manji rizik narušavanja tržišnog natjecanja (pa čak i poticanje tržišnog natjecanja).

Postojeći dominantni model upravljanja spektrom nastao je kao amalgam raznih, počesto sukobljenih interesa pojedinih zainteresiranih strana: operatora, proizvođača opreme, znanstvenika (radio astronomija i istraživanje svemira), te državnih administracija, koje, nekad s dominantnom ulogom, danas nastoje upravljati spektrom na način da pomire ostale sukobljene interese uz maksimizaciju dobra za društvo. Maksimizacija dobra za društvo može uključivati aspekte kao što su: osiguranje širokopojasnog pristupa u manje razvijenim regijama, poticanje ulaganja i razvoja infrastrukture, ali i povećanje broja zaposlenih i prihoda od naknada za korištenje radiofrekvencijskog spektra.

2.3.2. Kompanije u borbi za spektar

S napretkom tehnologija i pojavom novih inovativnih rješenja, borbe kompanija za radiofrekvencijski spektar zaoštavaju se. U toj borbi važnu ulogu igra i komunikacija operatora s regulatornim tijelom koje upravlja spektrom i izdaje licence, te s nadležnim ministarstvom. Često smo svjedoci odabira taktike zavaravanja i neiskrenosti u komunikaciji s administracijom i regulatorom, kako bi si osigurali bolju tržišnu poziciju, privremeni monopol/oligopol, i otežali ili onemogućili pojedine takmace da pristupe tržištu. Više je primjera takvog ponašanja, kao npr. u Sjedinjenim državama avantura kompanije Teledesic kasnih 1990-tih, koja je počela kao zajednički projekt Microsofta, Billa Gatesa, Craig McCawa, investitora iz Saudijske Arabije i drugih, te koja je lobiranjem postigla prenamjenu radiofrekvencijskog spektra za svoju planiranu satelitsku širokopojasnu mrežu. Za taj cilj kompanija je lobiranjem osvojila podršku američkog regulatora (*Federal Communication Commission*, FCC), te drugih utjecajnih krugova. Međutim, spomenuta prenamjena trebala je

biti postignuta na razini Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU), posebice stoga što se radi o satelitskog usluzi. To je uspješno postignuto na Svjetskoj radiokomunikacijskoj konferenciji (WRC) 1995 godine, pokretanjem čitave vojske lobista i lobiranjem stavova mnogih zemalja tijekom konferencije. U samom SAD-u, zbog prenamjene, projekt Teledesic je postigao i da FCC oduzme dozvolu za rad u ciljanom frekvencijskom području tvrtki Norris Communications. Tim potezom Teledesic je osigurao i oslabljivanje i otklanjanje potencijalne konkurencije. Cijela je avantura na kraju završila povlačenjem bez rezultata, gdje je Teledesic, opravdavajući se padom tržišta 2002 godine najavio prekid svih aktivnosti i gradnje mreže [1, 2].

Sličan primjer u Hrvatskoj možemo gledati kroz ambicije mnogih operatora, postojećeg i novih alternativnih, koji su se u razdoblju 2005-2007 godine javljali regulatoru s iskazivanjem interesa za korištenjem radiofrekvencijskog spektra u području 3,5 GHz, po tzv. WiMAX standardu, u svrhu davanja fiksnih bežičnih usluga. Propisi su tada određivali dodjelu spektra po županijama, a raspoloživog spektra je bilo u 3 bloka po 21MHz i u jednom bloku po 14 MHz. Za pojedine županije, po obavljenim javnim pozivima temeljem iskazanog interesa, konkurencija i interes je bio toliki da se morao raspisivati i javni natječaj, jer je proklamirani interes bio veći od raspoloživog spektra. Danas se od tog cijelog procesa vide samo tragovi, to jest razvoj mreža je na razini na kojoj je otprilike bio i 2007 godine. Jedina pružanja usluge u ovom području prisutne su u Međimurskoj i dijelu Varaždinske županije, te u Osječkoj županiji, ako je suditi po internetskim stranicama operatora još uvijek prisutnih kao korisnika navedenih frekvencija na web stranicama regulatora [3].

U ova dva primjera ilustrirana je kompleksnost problematike upravljanja radiofrekvencijskim spektrom, te problemi koji se nalaze pred regulatorom, kao institucijom koja je u svakodnevnoj interakciji s operatorima i potencijalnim operatorima. Operatori su pak najčešće korporacije, društva s ograničenom odgovornošću, čiji je krajnji cilj i zakonska obveza, osigurati maksimizaciju dobiti društva za svoje vlasnike. U ostvarenju tog cilja, kompanije su spremne hodati po rubu legalnosti i iskrenosti u komunikaciji s regulatorom. Iako je ovakva strategija komunikacije očekivana, ona zbog svoje učestalosti otežava donošenje ispravnih regulatornih odluka, a to se kao bumerang vraća tržištu koje onda trpi krive regulatorne odluke, donesene na obmanjujućim premisama. Konkretno, kao što je ilustrirano u gornjim primjerima, regulator se ponekad suočava sa zahtjevima za radiofrekvencijskim spektrom (kao i s drugim zahtjevima povezanim s regulacijom tržišta elektroničkih komunikacija), koja mogu, ali i ne moraju biti iskrena, odražavati stvarne potrebe, već ti zahtjevi mogu biti postavljeni i u cilju promocije vlastite kompanije ili ograničavanja konkurencije. Stoga je regulatoru, kao tijelu za upravljanje radiofrekvencijskim spektrom, osim vrlo složenih tehničkih analiza i procesa domaće i međunarodnog karaktera, dana i vrlo složena zadaća prepoznavanja opravdanih zahtjeva za uporabom radiofrekvencijskog spektra, kako bi i svoje tj. javne resurse doista koristili za opću dobrobit društva.

2.3.3. Pojmovi koji se koriste u upravljanju spektrom

Terminologija koja se koristi u stručno-znanstvenom području upravljanja spektra sastoji se od regulatorno-relevantnih termina koji se koriste, kako u tablici namjene radiofrekvencijskog

spektra, tako i u dokumentima ITU-R (Radiokomunikacijskog odjela ITU). Također se sastoji od još nekih termina, koji se sve češće koriste.

Obvezujući termini, koji se nalaze u ITU dokumentima snage međunarodnih ugovora su sljedeći:

- namjena, primarna i sekundarna (engl. *allocation*),
- raspodjela (engl. *allotment*),
- dodjela (engl. *assignment*).

Tablica namjene [4] također koristi termine uporaba (civilna i/ili vojna) i primjena, u kojoj je opisana vrsta usluge ili oblik korištena dijela spektra, nešto detaljnije nego što se to definira u namjeni, kao npr. uređaji kratkog dometa (engl. *short range devices*), veze tipa točka-više točaka, TV/DTV, radiomikrofoni, GSM, IMT itd.

Dodjela spektra (engl. *allocation*) postupak je kojim se jedan dio spektra čini dostupnim za određene radiokomunikacijske usluge ili aktivnosti. Komunikacijske usluge kojima spektar može biti dodijeljen uključuju nepokretnu službu (engl. *fixed service*, FS), kao što je bio WiMax prve generacije, pokretnu službu (engl. *mobile services*, MS), kao što je GSM, zatim nepokretnu satelitsku službu (engl. *fixed satellite service*, FSS), te pokretnu satelitsku službu (engl. *mobile satellite service*, MSS). Podjela spektra putem dodjele različitim službama može se učiniti na nacionalnoj, regionalnoj ili svjetskoj razini. Radiofrekvencijski spektar se može dodijeliti pojedinoj komunikacijskoj usluzi bilo na primarnoj, bilo na sekundarnoj osnovi. Ako je spektar dodijeljen specifičnoj službi na primarnoj osnovi, nitko drugi tko koristi isti radiofrekvencijski spektar ne smije prouzročiti smetnje rada te usluge. Međutim, ako je spektar dodijeljen specifičnoj službi na sekundarnoj osnovi, ta usluga morati prihvatiti štetne smetnje i interferenciju od strane korisnika usluga primarne.

Može postojati više od jednog primarnog ili sekundarnog načina korištenja dodijeljenog spektra u istom frekvencijskom pojasu.

Raspodjela (engl. *allotment*) je povezana s pridjeljivanjem spektra područjima, regijama i državama. Korištenje ovog pojma u tuzemnom kontekstu može imati vrlo malo značenje za pojedinu službu ili postaju.

Dodjela (engl. *assignment*) znači dodjeljivanje dopuštenja države određenim podnositeljima zahtjeva da koriste dio spektra, uglavnom za točno određene namjene sa preciziranim tehničkim parametrima.

2.3.4. Ograničenja uporabe radiofrekvencijskog spektra

S obzirom na karakteristike širenja elektromagnetskih valova slobodnim prostorom, blizu zemlje i atmosferom, i s obzirom na fizikalna ograničenja u mogućnosti izvedbe (dimenzije antena), iako ovisno od izvedbe sustava može biti ponekih odstupanja, u analizi uporabe radiofrekvencijskog spektra vrijede sljedeća okvirna pravila:

- s porastom radne frekvencije smanjuju se dimenzije opreme (antena),
- s porastom radne frekvencije, smanjuje se domet pokrivanja,
- s porastom radne frekvencije rastu raspoloživi kapaciteti sustava,
- s porastom radne frekvencije raste cijena komunikacijske opreme.

Stoga, iako se radiofrekvencijski spektar proteže od vrlo niskih do vrlo visokih frekvencija (ITU-R regulacija trenutno se odnosi na frekvencijski opseg od 9 kHz do 400GHz [5], koji će se u budućnosti proširivati, a tablica namjene r), za masovne komunikacijske, prije svega mobilne usluge najzanimljivije je područje od nekoliko stotina MHz pa do 5 GHz, s posebnim interesom u području oko 1GHz. Ovo područje već je danas gusto ispunjeno uslugama te se u njemu mogu očekivati daljnja previranja, koja će se manifestirati velikim interesom industrije za implementaciju novih standarda kao što je LTE i LTE Advanced, upravo u ovim frekvencijskim područjima. Poteškoće u izlasku novih sustava na tržište te ekonomska nesigurnost izazvana globalnom financijskom krizom 2008. godine dodatno zamagljuje sliku budućnosti i vremenskog plana implementacije pojedinih usluga nove generacije.

Pozitivan utjecaj na trendove svakako imaju u Europi inicijative Europske komisije i njene Direkcije za Digitalnu Agendu, koja kroz svoj plan za godine 2010-2020 ima odlučnu viziju za znatnim povećanjem minimalnih brzina pristupa internetu za sve građane [6].

2.3.5. Razine regulacije radiofrekvencijskog spektra

Regulacija i upravljanje radiofrekvencijskim spektrom je dvosmjernan međunarodni proces. Odozgo prema dolje implementiraju se harmonizirane namjene i planovi za radiofrekvencijski spektar, a odozdo, od nacionalnih regulatora, potječu inicijative za sporazume i harmonizaciju na regionalnoj i svjetskoj razini. Da bi ga se opisalo najbolje je navesti institucije relevantne za Republiku Hrvatsku koje se bave ovim procesima i njihove dokumente.

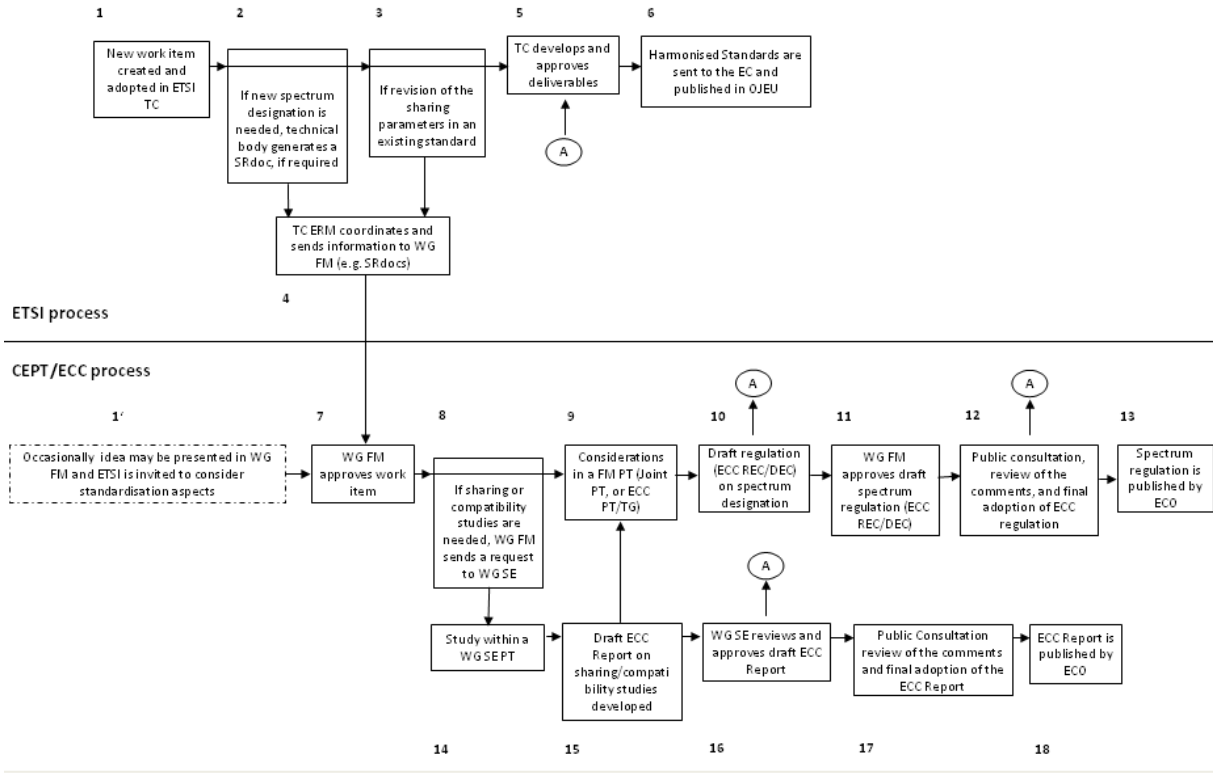
- ITU-R – Međunarodna telekomunikacijska unija (*ITU – Radio Regulations*), kao institucija Ujedinjenih naroda, krovna je svjetska organizacija za telekomunikacije, a njeni ITU-R propisi imaju snagu međunarodnog ugovora za zemlje članice. Osvježavanje tj. izmjene ITU-R propisa događaju se na međunarodnim skupovima World Radiocommunications Conference (WRC) svake 4 godine, a za ove velike svjetske konferencije pripremaju i regionalne predkonferencije. Zanimljivo je međutim da ITU-R propisi ne predviđaju nikakve sankcije za kršenje odredbi, pa su administracije i ugroženi korisnici spektra prisiljeni raznim prijavama i diplomatskim aktivnostima i pritiskom rješavati probleme kršenja ITU-R odredbi. Primjer ovog problema su česta kršenja ITU-R odredbi od strane TV odašiljača u Italiji, koji su se u povijesti, a i sadašnjosti manifestirali kao interferencija TV signalu u Republici Hrvatskoj, prvenstveno na jadranskoj obali.
- World Radiocommunications Conference (WRC)

- CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) – je europska institucija osnovana 1959 godine, i sačinjavaju ju državne administracije za elektroničke /tele-komunikacije. Glavno tijelo CEPT-a za područje elektroničkih komunikacija je ECC (*Electronic Communications Committee*), koje se bavi radiofrekvencijskim spektrom u svojoj najvećoj jedinici ECO (*European Communications Office*), koja je pak nastala nedavnim spajanjem ERO (*European Radiocommunications Office*) i ETO (*European Telecommunications Office*).
- ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) – iako nastao iz CEPT-a u doba kada su državna administracija, telekomunikacijski operator (u ono vrijeme jedan i jedini) i standardizacijska tijela bili međusobno povezana cjelina, danas je ETSI de facto standardizacijsko tijelo industrije (75% članova čine privatne kompanije), koja kroz njega, artikurirajući standarde, upravlja i dobrim dijelom politike upravljanja spektrom. Takva uloga ETSI-a osigurana je postojanjem Memoranduma o razumijevanju između CEPT-a i ETSI, putem kojeg je definirana suradnja ova dva tijela. S obzirom na ovaj sporazum, gotovo je nemoguće pokrenuti neku inicijativu prema CEPT-u bez suglasnosti ETSI (Slika 2.3.1.). Time je industrija uspjela podići izvjesne barijere prema ulasku novih takmaca, bez podrške ETSI, kojom dominiraju veliki postojeći takmaci, kako na strani proizvođača opreme, tako i operatora.
- ECTA (*European Competitive Telecommunications Association*) – Europsko udruženje alternativnih operatora, interesna skupina koja također ima inicijative i interes u upravljanju spektrom.
- ETNO (*European Telecommunications Network Operators' Association*) – Europsko udruženje operatora nastalih iz državnih inicijalnih operatora, interesna skupina koja također ima inicijative i interes u upravljanju spektrom.
- RSPG (*Radio Spectrum Policy Group*) – je savjetodavna skupina na visokoj razini koja pomaže Europskoj komisiji u razvoju politike radijskog spektra. RSPG je osnovan temeljem Odluke Europske Komisije 2002/622/EC. Ta odluka bila je jedna od inicijativa Komisije koja je uslijedila nakon donošenja Odluke o radiospektru 676/2002/EC. RSPG usvaja mišljenja, stavove i izvješća, te daje izjave usmjerene na pomaganje i savjetovanje Komisije na strateškoj razini u: pitanjima politike radijskog spektra, koordinaciji politike i pristupa, usklađivanju uvjeta s obzirom na dostupnost i učinkovito korištenje radio spectra, s ciljem doprinošenja uspostavljanju i funkcioniranju unutarnjeg tržišta. Članovi RSPG su uglavnom predsjednici/direktori regulatornih tijela i/ili nadležnog ministarstva iz država članica Europske unije. Promatrači u RSPG su predstavnici zemalja u procesu pristupa EU i Norveške, te sljedeće organizacije: EFTA (*European Free Trade Association*), Europski parlament i ETSI.
- RSC (*Radio Spectrum Committee*) – također osnovan temeljem Odluke o radiospektru 676/2002/EC i sastoji se od predstavnika država članica. RSC-om predsjedava predstavnik Europske komisije. Glavna uloga RSC-a je razvoj odluka s obzirom na

mjere tehničke provedbe koje će osigurati usklađene uvjete diljem Europe za dostupnost i učinkovito korištenje radio-spektra. RSC također razvija mjere kako bi se osiguralo da se informacije o uporabi radijskog spektra mogu pružiti točno i pravodobno. Aktivnosti RSC-a su utvrđene u programu rada koji omogućava određivanje prioriteta i rasporeda različitih tema i pitanja koja je potrebno riješiti. Odbor obavlja svoje funkcije, kroz savjetodavne i regulatorne procedure. Ovaj proces omogućava Europskoj komisiji predstavljanje svojih prijedloga nacionalnim državnim administracijama prije početka provedbe kako bi se osiguralo da je svaka mjera optimizirana za sve nacionalne tj. lokalne okolnosti. Europska komisija putem RSC-a ima mandatorno pravo (temeljem Odluke o radijskom spektru) nalogati CEPT-u provođenje tehničkih istraživanja u cilju razvoja tehničkih provedbenih mjera na razini Zajednice. Takve mjere mogu biti specifikacije ili druga dokumentacija o specifičnim tehnologijama i njihovoj primjeni koja bi osigurala usklađene uvjete dostupnosti i učinkovitog korištenja radijskog spektra u Europi.

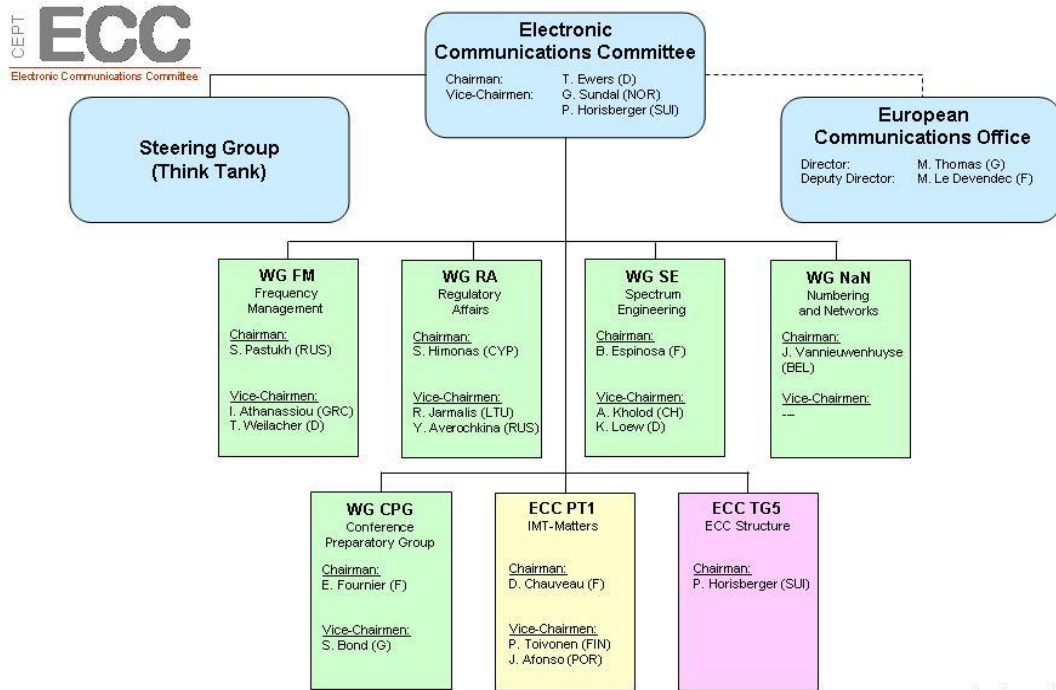
- nacionalni regulatori u elektroničkim komunikacijama i/ili odgovarajuće ministarstvo – institucije tehnički osposobljene za praćenje korištenja radio-spektra na nacionalnoj razini, najčešće s ovlastima za kreiranje politike upravljanja spektrom u zemlji, predstavljanju te politike u međunarodnim tijelima, te implementaciju međunarodnih odredbi putem tablice namjene radijskog spektra, izdavanjem dozvola i koncesija za uporabu spektra i drugim sličnim aktivnostima.

Radiofrekvencijski pojasevi namijenjeni za vojne komunikacijske mreže i sustave harmonizirani su vojni radiofrekvencijski pojasi na europskoj razini, u skladu s NATO-ovim Sporazumom o zajedničkoj civilnoj/vojnoj uporabi radijskih frekvencija (engl. *NATO Joint Civil/Military Frequency Agreement*, NJFA). Valja napomenuti da je spektar namijenjen vojnoj uporabi reguliran interno od vojnih tijela, te da je time za civilnu uporabu blokirana znatna količina spektra.



Slika 2.3.1. Shema koordinacijskog procesa između CEPT-a i ETSI

Structure of the ECC



Slika 2.3.2. Struktura ECC

2.3.6. Aktualne teme

2.3.6.1. Slobodno korištenje radiofrekvencijskog spektra

Slobodno korištenje spektra odnosi se na zajedničko korištenje radio spektra od strane uređaja kratkog dometa (engl. *Short range devices*, SRD) tipično male zračene snage koje rade u frekvencijskom području izuzetom od licenciranja. Pojam „zajednički spektar“ (engl. *spectrum commons*) se ponekad koristi za opisivanje takvog oblika korištenja, ali također uključuje i korištenje licenciranog dijela spektra, ako je pristup spektru propisan na neekskluzivnoj, zajedničkoj osnovi.

Kolektivno korištenje spektra podupire mnoštvo bežičnih aplikacija, uključujući i bežične računalne mreže, potrošačke uređaje (bežična zvana na vratima, ključevi za daljinsko otvaranje, itd.), medicinske uređaje, industrijsku opremu i inteligentne transportne sustave. Veličinu tržišta za ove uređaje je teško kvantificirati (s obzirom da se radi o slobodnom spektru informacije o broju korisnika teško je pronaći), no procjene ukazuju da europsko tržište proizvoda i usluga koje ovisi o kolektivnom korištenju spektra vjerojatno iznosi više od 20 milijardi Eura [7]. Zajedničko korištenje spektra u mnogome se razlikuje od druga dva mehanizma upravljanja: upravljanje putem nacionalnog regulatornog tijela, ili pak tržišnog upravljanja izdavanjem spektra putem aukcija, te trgovanjem spektrom. Dok se u ova dva mehanizma očekuje i provodi zaštita spektra od nedozvoljenih smetnji i interferencija, prigodom zajedničkog korištenja nema takvih osiguranja. Usprkos tome, ovaj način korištenja spektra postigao je znatan uspjeh (npr. sustav WiFi na 2,4 GHz), pokazao se zanimljivim zbog sljedećih prednosti:

- smanjene barijere za ulazak novih takmaca na tržište;
- mogućnost brzog i povoljnog organiziranja nišnih primjena, usluga i proizvoda;
- veća vjerojatnost dostupnosti spektra;
- manji trošak;
- fleksibilnost primjene različitih tehnologija i aplikacija;
- smanjeno zagušenje spektra u licenciranom dijelu spektra.

U svakom slučaju možemo reći da je slobodno korištenje spektra jako zanimljiv i obećavajući model upravljanja spektrom, čija se uporaba i proširenje frekvencijskih područja može očekivati i u budućnosti.

2.3.6.2. Kognitivni radio

Veliki potencijal za povećanje učinkovitosti i fleksibilnosti uporabe radiofrekvencijskog spektra očekuje se od sustava temeljenih na konceptu kognitivnog radija. Princip rada tako zamišljenog sustava sastojao bi se u tome da radio uređaj putem mjerenja „osjeća“ okolinu i pronalazi frekvencijski pojas slobodan od interferencije, te u njemu započne komunikaciju. Ostale zamišljene funkcionalnosti uključuju odabir optimalne vrste modulacije, te rad mreže u

relejnomo modu, bez korištenja baznih stanica. Iako je kognitivni radio u svom idealiziranom obliku još daleko, neke njegove funkcionalnosti imaju već i postojeći sustavi. Tako je na primjer DECT sustav za bežičnu nepokretnu telefoniju imao u sebi kognitivnu komponentu – s obzirom da se radi o nelicenciranom pojasu, DECT uređaj sam traži kanal slobodan od smetnji, kako bi započeo komunikaciju.

Međutim, razvijanje prvih pravih kognitivnih radio sustava, koji bi mogli prilagođavati se u širokom frekvencijskom opsegu uz izbjegavanje smetnji može se očekivati tek negdje oko 2015. godine.

Možda najveći nedostatak kognitivnog radija jest tzv. problem skrivenog terminala (korisničkog uređaja). Problem je izraženiji u sustavima koncipiranim na korištenju baznih stanica. Naime, bazne stanice se obično postavljaju na izdignuta mjesta s maksimalno mogućom optičkom vidljivošću prema području pokrivanja. U tom slučaju može se lako dogoditi da dvije pokretne stanice budu međusobno „nevidljive“ odnosno sakrivene jedna od druge, i da nema načina da se međusobno otkriju, a da usprkos tome budu obje vidljive istoj baznoj stanici. Tada bi, zbog međusobne „nespoznaje“ dvaju pokretnih stanica došlo do interferencije u uzlaznoj svezi, od mobilnih prema baznoj postaji.

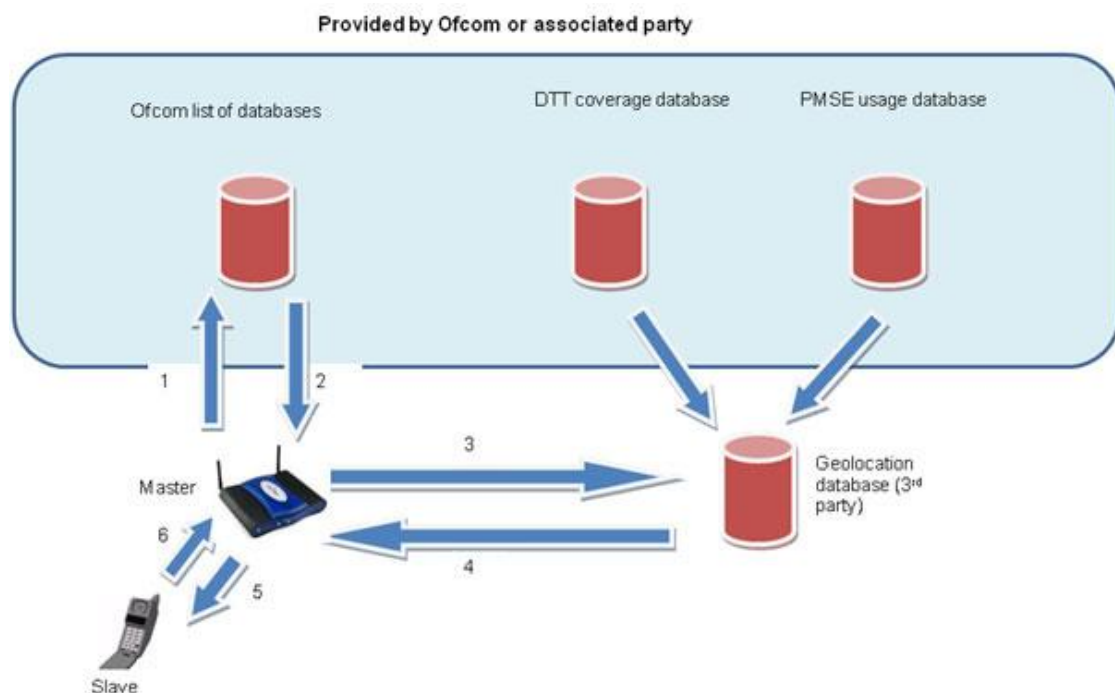
Ovaj problem može se ukloniti uvođenjem GPS funkcionalnosti u pokretnu stanicu i registra postojećih odašiljača, kako bi sustav onda sam preporučio korisniku optimalan nezauzet kanal. Koncept sličan ovome, pod nazivom „white spaces“, razvija se u Sjedinjenim Državama u svrhu implementacije u frekvencijskom opsegu oslobođenom po uvođenju digitalne televizije. Ta inicijativa je trenutno u fazi pisanja odgovora FCC-a na javni natječaj i odabira ponuda za održavanje baze podataka o odašiljačima, i to u stvarnom vremenu. Pristiglo je 9 ponuda, od kojih i od IT divova kao što je Google. U veljači 2011 može se očekivati odgovore od FCC koji međutim u cijelom procesu nije obvezan do nekog fiksnog termina odabrati izvođača. O istom konceptu nedavno (studeni 2010.) britanski regulator OfCom započeo je javne konzultacije.

Od tehnoloških platformi za realizaciju kognitivnih radio sustava moguće je izdvojiti softverski radio (engl. *softwer defined radio*). Ova tehnologija bazira se na korištenju digitalne obrade signala tako da se komunikacijski signal nalazi u digitalnom obliku već nakon prijamne antene i analogno-digitalne (A/D) pretvorbe (kod prijamnika), odnosno sve do antene s digitalno-analognim (D/A) pretvaralom (kod odašiljača). Ovaj koncept se značajno razlikuje od klasičnih digitalnih prijamnika koji se sastoje od miješala na ulazu, kojim se frekvencija signala nosioca spušta, a tek potom provodi analogno-digitalna konverzija i daljnja obrada. Softverski radio bi bio jako fleksibilan, jer bi se iz njega po potrebi moglo dobiti razne vrste odašiljača/prijamnika, jednostavnom izmjenom softvera u njemu. Trenutno još postoje velika tehnološka ograničenja, te je za frekvencijska područja od oko 1 GHz naviše još uvijek nemoguće komercijalno osigurati direktnu A/D ili D/A konverziju, bez korištenja miješala.

2.3.6.3. Digitalna dividenda i bijeli prostori u Velikoj Britaniji

S obzirom da je Velika Britanija u mnogim regulatornim pitanjima iz područja telekomunikacija u nedavnoj prošlosti bila lider i uzor u Europskoj uniji, vrijedno je približe proučiti sadržaj javnih konzultacija koje je pokrenuo Ofcom u periodu od 9.11.2010. do 7.12.2010. Naslov javne rasprave je bio „Implementing Geolocation“, što pokazuje pristup sličan onom u Sjedinjenim Državama. Sa poznavanjem zemlopisnog položaja jedinice sustava izbjegava se za kognitivni radio problem skrivenog terminala.

Na Slici 2.3.3. prikazan je pregled pojedinih dijelova sustava kognitivnog radija „white spaces“, kao i ilustraciju zamišljenog rada takvog sustava. Terminal sustava, označen sa „slave“ na početku kontaktira bazu podataka smještenu kod Ofcoma, odabire preferiranu bazu podataka, te joj šalje svoje podatke, podatke o lokaciji i podatke o vrsti uređaja. Zatim baza podataka uzvraća informacijom o pojasu frekvencija i razini maksimalne snage kojima se „slave“ smije koristiti. Baza će se koristiti i ovisiti o pristupu podacima o licenciranom korištenju spektra za digitalnu televiziju i specijalne male uređaje, kao što su mobilni mikrofoni, jer „white spaces“ inicijativa cilja upravo na sektor iz digitalne dividende. Time će se osigurati da kognitivni radio-uređaji ne uzrokuju štetnu interferenciju drugim uređajima, koji legitimno rade na pojasu frekvencija koja im je dodijeljena.



Slika 2.3.3. Prikaz pregleda pojedinih dijelova sustava kognitivnog radija za „white spaces“

2.3.6.4. Ultraširokopojasni radio

Ideja rada UWB (engl. *Ultrawideband Radiom*, UWB) sustava jest u kompenziranju jačine signala širinom pojasa. Povećanje širine spektra postiže se tehnikom proširenja spektra (engl. *spread spectrum*). Spektar preko kojeg se signal širi iznosi u konačnici 10 KHz do 3 GHz. Spektralna gustoća snage se zato može toliko smanjiti, da po svojoj veličini ne može ugroziti

ni biti vidljiva drugim sustavima koji rade u tom dijelu mikrovalnog spektra, jer će njezina razina biti ispod razine šuma. Jedino u slučaju prekomjernog korištenja UWB sustava postojala bi opasnost da se zbog prisutnosti UWB uređaja razina „šuma“, tj. spektralna gustoća snage interferencija podigne toliko da smanji osjetljivost licenciranih sustava u području 10 MHz do 3 GHz. Dodatno, s obzirom na inherentnu rezonantnost svih antena, za UWB uređaje potrebno je koristiti specijalne ultra širokopolasne antene. Do danas se UWB tehnologije mogu koristiti samo u Sjedinjenim Državama, uz uvjet poštovanja propisane spektralne maske.

2.3.6.5. Utjecaj elektromagnetskih polja/zračenja na zdravlje

O povezanosti izloženosti ljudskog tijela elektromagnetskom zračenju na frekvencijama iz područja radiofrekvencijskog spektra s različitim vrstama zdravstvenih tegoba, poremećaja i bolesti vode se česte debate, a rezultati dosadašnjih izvještaja o toj temi još su kontroverzni. Postoje radovi i studije koje zaključuju da zračenje unutar međunarodno propisanih granica nije štetno za zdravlje osim u slučajevima intenzivnog korištenja [8]³, ali postoje i one koje govore suprotno. Štetne posljedice mikrovalnog zračenja kod korisnika mobilnih telefona teoretski mogu uključivati širok spektar bolesti povezanih s ometanim radom elektrokemijske barijere između krvi i mozga (engl. *brain to blood barrier*). Neka istraživanja pokazala su ometanje barijere između krvi i mozga na mozgovima štakora izloženih zračenju koje je ekvivalentno daleko manje od onog maksimalno dopuštenog danas [9]⁴ (Sjedinjene Države: SAR<1.6 W/kg prosječno u svakom volumenu mase tkiva od 1g; Europska Unija: SAR<2 W/kg prosječno u svakom volumenu tkiva mase od 10g, norma IEC 62209-1).

Ova tema je još otvorena, i stoga predstavlja izvjestan rizik za investitore u bežične tehnologije, i to rizik malene vjerojatnosti, ali velikog učinka. Ako bi se nedvojbeno pokazalo da uporaba mikrovalnih terminalnih uređaja, prije svega mobilnih telefona može imati štetne posljedice na zdravlje ljudi, ta bi vijest znatno narušila povjerenje javnosti u radiokomunikacijske tehnologije, barem za široku uporabu. Stoga je važno i regulatornim tijelima, i nadležnim ministarstvima, te operatorima imati na umu mogućnost ovakvog, malo vjerojatnog, ali jako disruptivnog scenarija.

2.3.7. Prostor za napredak

U regulaciji radiofrekvencijskog spektra postoje mnoga otvorena pitanja koja zahtijevaju detaljno proučavanje koje bi otvorilo prostor za ostvarenje krajnjeg cilja: koristi za širu društvenu zajednicu.

³ Janet Raloff, **Interphone study finds hints of brain cancer risk in heavy cell-phone users**, Science News, may 17, 2010, http://www.sciencenews.org/view/generic/id/59296/title/Science_%2B_the_Public__Interphone_study_finds_hints_of_brain_cancer_risk_in_heavy_cell-phone_users

⁴ Persson, B.R.R., Salford, L.G. and Brun, A., "Blood-brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication". Wireless Network 3: 455-461, 1997

Osim trenutno aktualnog donošenja novih standarda u „mainstream“ bežičnim pokretnim komunikacijama, kao što su LTE i LTE Advanced, potrebno je pratiti povoljne prilike koje bi se mogle postići proglašavanjem novih slobodnih pojaseva, „omekšavanjem“ propisanosti uporabe standardnih rješenja u postojećim licenciranim frekvencijskim pojasevima, te uvođenjem aukcija za pravo na korištenje radiofrekvencijskog spektra pokrenuti korištenje spektra u područjima koja su možda zbog svoje cijene bila nezanimljiva, a čijim bi se korištenjem moglo podržati strategiju Europske komisije o brzinama pristupa internetu na cijelom teritoriju Europske unije do 2020. godine. Također treba razmatrati mogućnosti korištenja i poticanja „nišnih“ tehnologija, koje bi mogle stvoriti nova radna mjesta i omogućiti lokalno efikasniju uporabu radiofrekvencijskog spektra i bržu internetizaciju ruralnih područja Hrvatske.

Literatura

[1] Peter B. de Selding, Teledesic Plays Its Last Card, Leaves the Game, Space News International, July 14, 2003

http://web.archive.org/web/20041210160810/http://space.com/spacenews/archive03/teledesic_arch_071403.html

[2] Sharon Pian Chan, The birth and demise of an idea: Teledesic's „Internet in the sky“, The Seattle Times, October 7, 2002.

<http://community.seattletimes.nwsourc.com/archive/?date=20021007&slug=teledesic070>

[3] Baza radiofrekvencijskog spektra za širokopojasni bežični pristup (3410 - 3600 MHz): Pregled do sada dodijeljenih blokova frekvencija

http://www.hakom.hr/UserDocsImages/2010.g/VL-RK-IZ-INTS-Bezicni_pristup_Internetu_20101220.pdf

[4] Pravilnik o namjeni radiofrekvencijskog spectra, Narodne novine 136/08 i 17/10

[5] ITU-R, Radiocommunication – Committed to connecting the world, International Telecommunication Union, Ženeva, Švicarska, 2010

[6] European Commission, A Digital Agenda for Europe, Brussels, 2010

http://ec.europa.eu/information_society/digital-agenda/index_en.htm

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52010DC0245%2801%29:EN:NOT>

[7] Mott MacDONald, et. al, Study on Legal, Economic & Technical Aspects of ‘Collective Use’ of Spectrum in the European Community, November 2006

[8] Janet Raloff, Interphone study finds hints of brain cancer risk in heavy cell-phone users, Science News, may 17, 2010,

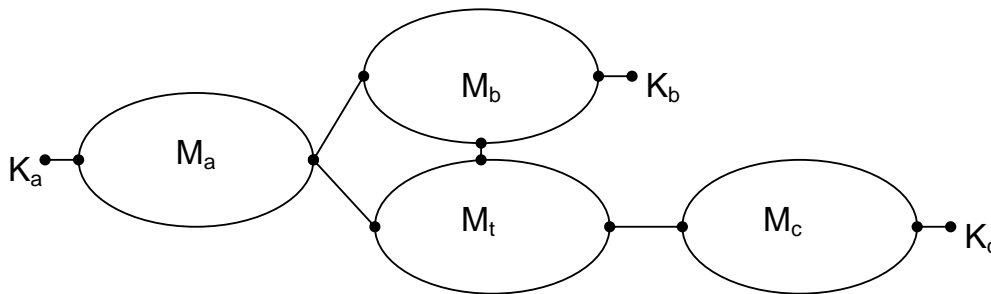
http://www.sciencenews.org/view/generic/id/59296/title/Science_%2B_the_Public__Interphone_study_finds_hints_of_brain_cancer_risk_in_heavy_cell-phone_users

[9] Persson, B.R.R., Salford, L.G. and Brun, A., „Blood-brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication“. *Wireless Network* 3: 455-461, 1997

2.4. Modeli međupovezivanja

Međupovezivanje (engl. *interconnection*) definirano je kao „posebna vrsta pristupa ostvarenog između operatora javnih komunikacijskih mreža, kojim se uspostavlja fizičko i logičko povezivanje javnih komunikacijskih mreža jednog ili više različitih operatora, kako bi se korisnicima usluga jednog operatora omogućila međusobna komunikacija ili komunikacija s korisnicima usluga drugih operatora, ili pristup uslugama koje pružaju drugi operatori, pri čemu usluge mogu pružati međusobno povezane strane ili druge strane koje imaju pristup mreži“⁵.

Međupovezivanje mreža provodi se izravno između dvije mreže, ili posredno, tranzitiranjem preko treće mreže, ili više njih (Slika 2.4.1.). Korisnici K_a i K_b priključeni na različite mreže različitih vlasnika moraju moći komunicirati međupovezivanjem mreža (korisnik K_a iz mreže M_a i korisnik K_b iz mreže M_b , međupovezivanjem M_a i M_b) ili posredno, tranzitiranjem preko treće mreže (korisnik K_a iz mreže M_a i korisnik K_c iz mreže M_c tranzitiranjem između M_a i M_c putem M_t , kao i korisnik K_b iz mreže M_b i korisnik K_c iz mreže M_c tranzitiranjem između M_b i M_c putem M_t).



Slika 2.4.1. Međupovezivanje mreža

Ekonomska teorija pokazuje da kad jedan sudionik ima dominantan položaj na tržištu, u apsolutnom iznosu i relativno prema drugom najvećem sudioniku, tad on ne nastoji postići najbolju moguću interoperabilnost i povezanost s ostalima. Uz omogućavanje komunikacije s korisnicima usluga drugih operatora, ili pristup uslugama koje pružaju drugi operatori, to je dodatni razlog zbog kojeg je međupovezivanje predmet regulatornih obveza [1, 2].

⁵ Zakon o elektroničkim komunikacijama

Međupovezivanje se različito ostvaruje i naplaćuje u kanalskim i paketskim mrežama, za što su primjeri javna komutirana telefonska mreža i Internet. Kako se NGN zasniva na komutaciji paketa i mrežnom protokolu IP, potrebno je istražiti modele povezivanja primjerene takvoj mreži koji će djelovati na ispunjavanje općih ciljeva regulacije tržišta elektroničkih komunikacija: poticanje, zaštita i nenarušavanje tržišnog natjecanja, uključujući smanjivanje prepreka za ulazak novih sudionika na tržište, kako bi se korisnicima omogućio odabir usluga prihvatljive cijene i zahtijevane kvalitete [3-7].

2.4.1. IP-međupovezivanje

NGN unosi sljedeće promjene u međupovezivanje, u odnosu na fiksne i pokretne mreže s komutacijom kanala:

- međupovezivanje se provodi u mrežnom sloju kojeg obilježava protokol IP – IP-međupovezivanje;
- međupovezivanje i pristup mreži drugog operatora ostvaruje se istim sredstvom – IP-međupovezivanjem, na istim ili različitim točkama međupovezivanja (engl. *Point of Interconnection*, PoI);
- smanjuje se broj točaka međupovezivanja.

Problem IP-međupovezivanja je općenit, jer sve fiksne i pokretne mreže migriraju prema IP-mrežama.

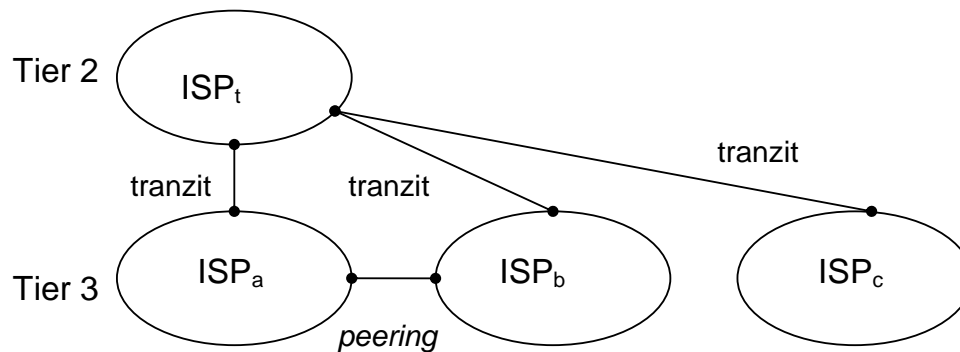
Osnovna je razlika međupovezivanja s mrežom drugog operatora i pristupa njegovoj mreži u „vidljivosti“ usmjeravanja kroz mreže. Za međupovezivanje, obje su mreže (operatora) vidljive u usmjeravanju datagrama s kraja na kraj. Kod pristupa, operator koji pruža transportnu uslugu krajnjem korisniku, tražit će da se operator koji osigurava fizički pristup „ne vidi“ u usmjeravanju IP-datagrama s kraja na kraj.

Za IP-međupovezivanje, broj točaka bit će mali – dvije do tri ili nekoliko po mreži, iz razloga pouzdanosti i raspoloživosti, što će pridonijeti smanjenju troškova, ali će stvoriti probleme u početnoj fazi i prijelaznom razdoblju. Naime, u postojećoj telefonskoj mreži, točke međupovezivanja uvodile su se na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini, tako da ih je moglo biti mnogo. Premještanje sa starih na nove točke međupovezivanja izazvat će određene troškove.

U Internetu se za razmjenu prometa primjenjuju dva modela, tranzitni (engl. *transit*) i ravnopravni (engl. *peering*). Kod tranzita, davatelju te usluge u pravilu se plaća za pristup cijelom Internetu, a ne samo korisnicima priključenim na njegovu mrežu. *Peering*, s druge strane odnosi se na razmjenu prometa između dva operatora samo za njihove korisnike, najčešće bez naplate, ukoliko operatori smatraju da je razmjena prometa obostrano uravnotežena („barter“ aranžman).

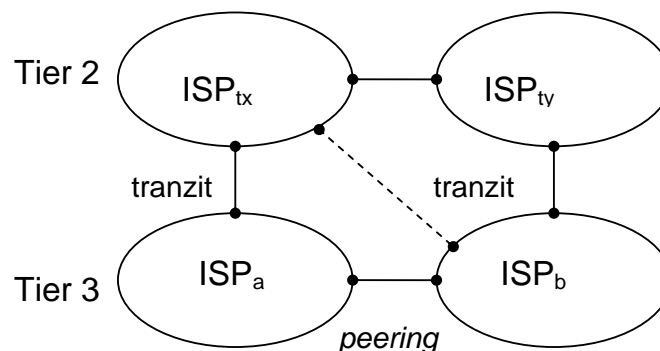
U Internetu svi davatelji internetske usluge, osim onih najviše razine (*Tier 1*), imaju davatelja tranzita, a mogu se i izravno povezati i ostvariti *peeringa* (Slika 2.4.2.). U ovom primjeru dva

ISP-a treće razine međusobno su povezana na načelu *peeringa*, (ISP_a i ISP_b), a s ostalim ISP-ovima (ISP_c) ostvaruju tranzitnu povezanost preko ISP-a druge razine (ISP_t).



Slika 2.4.2. Međupovezivanje davatelja internetske usluge

Dva se ISP-a (ISP_a i ISP_b) mogu odlučiti za tranzitno povezivanje, bilo da su povezani na istog (ISP_{tx}) ili različite ISP-ove (ISP_{ty} , ISP_{ty}) više razine, ili za *peering*, ovisno o tehničkim, ekonomskim i drugim pokazateljima (Slika 2.4.3.).



Slika 2.4.3. Mogućnosti povezivanja dva davatelja internetske usluge

ISP-ova razine 1 ima relativno malo, 7-14, prema različitim izvorima (primjer: AT&T, NTT). Oni ne tranzitiraju promet trećih strana, povezani su svaki sa svakim na načelu *peeringa*. Time mogu sačuvati svoj povlaštenu status, jer neka nova mreža ne može postati dio *Tier 1* bez pristanka svih postojećih na *peering*. ISP-ovi razine 2 (primjer: GEANT, DT) imaju *peering* s nekim mrežama, ali i dalje moraju ugovarati tranzit s ISP-om razine 1 da bi mogli pristupiti dijelovima Interneta s kojima nema drugih oblika povezivanja. ISP razine 3 ostvaruje i plaća tranzit drugim ISP-ovima. Svi hrvatski komercijalni ISP-ovi i CARNet su razine 3.

2.4.2. Naplata međupovezivanja

Međupovezivanje se u javnoj komutiranoj telefonskoj mreži i drugim mrežama s komutacijom kanala obračunava kao veleprodajna usluga na dva načina:

- završavanje poziva plaća mreža pozivajuće stranke (engl. *Calling Party Network Pays*, CPNP) ili

- završavanje poziva provodi se bez naplate (engl. *Bill and Keep*, BAK, B&K) [8].

CPNP nadovezuje se na maloprodajnu naplatu usluge kod koje isto tako poziv plaća pozivajuća stranka (engl. *Calling Party Pays*, CPP). S ekonomskog motrišta, model CPNP nadoknađuje mrežni trošak i djeluje poticajno na brzi rast usluge (npr. usluge pokretne mreže u Europi), ali dovodi do viših maloprodajnih cijena i slabije iskorištenosti mreže te utječe na odnos prometa fiksne i pokretne mreže. Stoga je CPNP podložan regulaciji.

Modeli bez naplate ili s naplatom koja je rezultat pregovaranja sudionika (Coaseov model⁶), nisu proizašli iz regulatorne obveze, a karakteristični su za sjevernoameričko tržište i Internet. Prihvaćanjem modela BAK, operatori pretežno prelaze na naplatu maloprodajnih usluga na načelu na *flat rate* uz ograničavanje volumena usluge.

NGN zahtijeva istraživanje modela naplate međupovezivanja i to kako postojećih za kanalske i paketske mreže, tako i modificiranih ili novih.

Na održivost modela CPNP u NGN-u utječu sljedeća pitanja:

- Kako naplatu zasnovanu na trajanju usluge primijeniti u paketskim mrežama, pa tako i NGN-u?
- Kako mrežni trošak rasporediti između više sudionika koji sudjeluju u ostvarivanju usluge, između izvorišne i odredišne mreže?
- Ako cijena usluge nije zasnovana na mrežnom trošku, kako je procijeniti i kako arbitrirati među sudionicima?
- Da li je održiva postavka da se usluga naplaćuje isključivo pozivajućoj stranki ili treba razmotriti modele naplate pozvanoj stranki (engl. *Receiving Party Pays*, RPP)?

Prihvaćanjem modela BAK ruše se cijene terminacije poziva, s isto tako otvorenim pitanjima:

- Kako će na usluge, postojeće i nove, djelovati način naplate, odnosno promjena način naplate međupovezivanja?
- Kako će se valorizirati kvaliteta usluge?
- Kako će se kod tranzita riješiti namjenski (rezervirani) put kroz mrežu koji može osigurati mrežni operator specijaliziran za tranzitiranje?
- Kako naplatu vezati uz sjednicu (sesiju), a ne uz preneseni datagram?

Odabir načina naplate međupovezivanja važan je za migraciju prema IP-mreži i poticanje ulaganja u nju, tako da je za očekivati je da će se trebati primjenjivati različiti modeli kako bi se osigurala učinkovitost međupovezivanja.

⁶ Robert Coase, dobitnik Nobelove nagrade za ekonomiju 1991. godine

2.4.3. Kvaliteta usluge i međupovezivanje

IP-mreža s motrišta međupovezivanja unosi još jednu novu dimenziju: kvalitetu usluge i mogućnost diferenciranja povezanosti na temelju kvalitete usluge. Istodobno, mehanizmi kvalitete usluge omogućuju uskratno međupovezivanja za mreže se niskom kvalitetom usluge, ponudu niske kvalitete usluge ili mogućnost manipulacije, s namjernim izazivanjem niske kvalitete usluge za tranzit ili terminaciju usluge, te favoriziranje vlastitog sadržaja, usluga ili aplikacija. Početni korak, kao i rane faze uvođenja elemenata kvalitete usluge u međupovezivanje su osjetljivi: mreže u lancu isporuke usluge koje nemaju uvedene mehanizme kvalitete usluge, degradirat će je na onu u Internetu: najbolje moguće.

Literatura

- [1] M. Armstrong, „The theory of access pricing and interconnection“, *The Handbook of Telecommunications Economics*, Volume I, pp. 297-384, Elsevier Science, 2002.
- [2] E. M. Noam, „Interconnection Practices“, *The Handbook of Telecommunications Economics*, Volume I, pp. 387-420, Elsevier Science, 2002.
- [3] „A model for interconnection in IP-based networks“, Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), Vilnius, October 2005.
- [4] J. Scott Markus, „NGN interconnection and Access“, *GSR 2007 Discussion paper*, The 2007 Global Symposium for Regulators, Dubai, 5-7 February 2007, ITU, 2007.
- [5] E. Lie, „International Internet Interconnection – Next Generation Networks and Development“, *GSR 2007 Discussion paper*, The 2007 Global Symposium for Regulators Dubai, 5-7 February 2007, ITU, 2007.
- [6] P. Reynolds, B. Mitchell, P. Paterson, M. Dodd, A. Jung, P. Waters, R. Nicholls, E. Ball, „Economic study on IP interworking“, *White Paper*, CRA International and Gilbert +Tobin for GSM Association, London, 2007.
- [7] J.Scott Marcus, D. Elixman, „The Future of IP Interconnection: Technical, Economic and Public Policy Aspects – Executive Summary“, WIK-Consult GmbH, Bad Honef, 2008.
- [8] M. Dodd, A. Jung, B. Mitchell, P. Paterson, P. Reynolds, „Bill-and-keep and the economics of interconnection in next-generation networks“, *Telecommunications Policy* 33 (2009), pp. 324–337.

2.5. Ulaganja i troškovi mreže NGN

2.5.1. Uvod

Ulaganja u NGN donose nove izazove za mrežne operatore, pružatelje usluga ali i za regulatora. Bez detaljnog razumijevanja ukupnih i pojedinačnih troškova izgradnje, kao i

pružanja pojedinih usluga (maloprodajnih i veleprodajnih), operatori neće imati objektivnu sliku o ukupnim investicijama niti će regulator moći nametnuti odgovarajuće regulatorne obveze. Takvo razumijevanje troškova može se postići odgovarajućim NGN troškovnim modelom koji može biti različit i ovisiti o načinu pružanja određenih usluga. Takvi troškovni modeli također omogućavaju i uvid u opcije ulaganja (veće početno ulaganje = niži jedinični trošak = veći rizik) te ocjenu isplativosti samih ulaganja. Modeli troškova u telekomunikacijskoj industriji trebali bi počivati na osnovnim principima kao što je uzročnost troškova⁷ i iskorištenje mreže za svaku uslugu. Odlučivanje temeljem troška o načinu ulaganja u pristupne mreže nove generacije je jedan od ključnih trenutaka kako za operatore tako i za cjelokupno gospodarstvo RH. Uz trošak ulaganja u pristupne mreže po korisniku, gustoća domaćinstava kao i navike stanovništva na određenim područjima su ključan okidač uvođenja mreža nove generacije.

Razumijevanje troškova ulaganja i izgradnja prikladnih troškovnih modela trebala bi odgovoriti na četiri osnovna pitanja:

1. Koliko će izgradnja mreža koštati?
2. Koliko ulaganja će biti potrebno da se mreža izgradi, a koliko za održavanje mreže?
3. Kolika je isplativost ulaganja?
4. Koliki je jedinični trošak pojedine pružene usluge NGN mreže?⁸

Međutim, zahtjevi regulatora mogu biti različiti s obzirom na koncentraciju vlasništva i kontrolu NGN mreže. Utoliko bi se trebao razviti takav model koji će uspjeti obuhvatiti navedenu problematiku i udovoljiti zahtjevima regulatora.

Pri sagledavanju mreže važno je naglasiti kako u pogledu troškova mnogi stručnjaci smatraju kako je granica između pristupne mreže i jezgrene mreže zamagljena. No, jasna granica mogla bi se definirati točno prema uzročnosti troškova. U jezgrenoj mreži troškove uzrokuje broj mrežnih komponenata, a u pristupnoj mreži troškove uzrokuje broj pristupnih priključaka.

2.5.2. Ulaganje u NGN pristupne mreže

Ulaganje u pristupne mreže nove generacije nosi velike rizike te je prilikom odlučivanja o pokretanju ulaganja potrebno voditi brigu o nizu bitnih činjenica kao što je:

⁷ Prihod (uključujući prihode od odgovarajućih transfernih usluga), troškovi (uključujući troškove odgovarajućih transfernih naknada), imovina i obveze biti će dodijeljene mrežnim komponentama, veleprodajnim i maloprodajnim proizvodima i uslugama u skladu s aktivnostima koje uzrokuju generiranje prihoda, nastajanje troškova, nabavu imovine ili stvaranje obveza.

⁸ Problematika ovog pitanja razmatrati će se u kasnijim fazama projekta gdje će se prije svega pokušati problematizirati izračun pojedinačne veleprodajne usluge za regulatorne potrebe i razvoj samih troškovnih modela.

- Koncept pristupne mreže (trošak po korisniku);
- Veličina tržišta;
- Zainteresiranost korisnika za zahtjevnim širokopojasnim uslugama (potražnja);
- Iskorištenje već izgrađene infrastrukture;
- Topologija i arhitektura mreže (smanjenje broja čvorova);
- Tehnika građenja – korištenje novih tehnologija s kojima se optimizira trošak investiranja (mikro cijevi, mikro kabeli).

Ulaganje je dugoročno ovisno o dijelu mreže, ali od 5 godina za aktivnu opremu do 40 godina u slučaju izgradnje infrastrukture u obliku DTK.

Financijska analiza i opravdanost ulaganja u mreže nove generacije radi kompleksnosti i velikog broja parametara koji utječu na isplativost može se napraviti samo pomoću izrade određenih simulacija.

Razvoj pristupnih mreža nove generacije neupitno znači i velika ulaganja. Teret investiranja u sve elemente pristupne mreže nastoji se podijeliti između više investitora radi ravnomjernog opterećenja kao i izbjegavanja buduće monopolizacije tržišta pristupnih mreža nove generacije. Trenutno se pri EU sagledavaju tri osnovna modela međusobne suradnje investitora pri izgradnji pristupnih mreža nove generacije.

Veleprodajna suradnja na tehnološkom sloju

Ovaj model suradnje zasniva se na pružanju usluga zasnovanih na tehnologiji – aktivnom sloju kao što su *Bitstream access*, *Naked DSL* i sl. Rezultat suradnje je preuzimanje rizika ulaganja kroz otkup paketa usluga (npr. 5.000 priključaka) na određeno razdoblje (npr. 2 godine). Regulator bi trebao imati zadnju riječ o cijeni i uvjetima veleprodajne usluge odnosno suradnje.

Paralelna izgradnja infrastrukture

Ovaj model suradnje zasniva se na paralelnoj izgradnji infrastrukture istovjetno kako se danas radi paralelna infrastruktura za raspeljavanje bakrenih mreža (kolokacija, LLU i sl.), odnosno na izdvajanju pojedine svjetlovodne niti. U ovom modelu je također moguće preuzimanje rizika ulaganja kroz otkup paketa usluga (npr. 5.000 priključaka) na određeno razdoblje (npr. 2 godine). Regulator bi trebao imati zadnju riječ o cijeni (određivanje cijene izdvajanja pojedine svjetlovodne niti) i modelu paralelne izgradnje infrastrukture.

Komplementarno ulaganje

Ovaj model suradnje zasniva se na dogovoru dvaju ili više ulagača o podjeli tržišta na kojem će pojedini ulagač graditi infrastrukturu. Nakon izgradnje infrastrukture ulagači ovisno o potrebi ustupaju infrastrukturu drugom i po potrebi za uzvrat traže korištenje infrastrukture izgrađene od drugog ulagača.

Podjela tržišta može biti na razini grada, općine, županije, regije ovisno o dogovornoj podjeli tržišta dva ili više ulagača zainteresiranima za ulaganje u mreže nove generacije.

Usluga trećim operatorima koji nemaju izgrađenu infrastrukturu na određenom području može se omogućiti putem veleprodaje usluga i paralelne izgradnje infrastrukture (izdvajanje pojedine svjetlovodne niti, što je također veleprodajna usluga).

Postoji više temeljnih tipova financijskih pristupa ulaganju u mreže NGN-a:

1. Inkrementalno mrežno širenje od strane bivšeg monopolista, koje je u potpunosti financirano od glavnih korporacijskih izvora;
2. Velika nova izgradnja (ili nadograđena stara) od strane nekoliko operatora udruženih isključivo zbog ulaganja u mreže NGN;
3. Vlasništvo javnog sektora;
4. Javno privatno partnerstvo (JPP) – konzorcij između države, privatnih kompanija i banaka u kojem država garantira buduće prihode i ostale povrate za izgradnju privatnog sektora i poslovnih projekata;
5. Razvojni projekt potpomognut subvencijom ili povoljnim zajmom u kojem privatne kompanije ili konzorciji posjeduju i izvode projekt te im država jednostavno da ili posudi novac pod povoljnim uvjetima kao bi projekt izvele do kraja.

O samom financijskom pristupu ulaganju u mreže NGN-a i o samom ulagaču/ima ovisit će i omjer stupnja tržišnog natjecanja između pojedinih operatora kako na razini usluga tako i na razini infrastrukture. Naime, važno je naglasiti kako se pravilno postavljenim cijenama veleprodajnih usluga, u slučaju kada ulaže operator sa značajnom tržišnom snagom, potiče penjanje drugih operatora na ljestvici ulaganja⁹, a i sam izbor veleprodajnih usluga povećava efikasnost ulaganja u NGN mreže. Naime, važno je da su od samog početka ulaganja u NGN mrežu operatorima na raspolaganju veleprodajni proizvodi kao što su *Bitstream Access* ili npr. sadašnji stupanj natjecanja temeljen na izdvajanju lokalne petlje (LLU), te koncept ljestvice ulaganja može biti očuvan samo ako, osim *Bitstream* pristupa, postoji obvezno raspetljavanje na nivou svjetlovodne niti i raspetljavanje potpetlje. Ovakav pristup veleprodajnim proizvodima omogućava tržišno natjecanje u područjima gdje je bivši monopolist izgradio FTTH mrežu.

Prvi i osnovni kriterij pri odlučivanju o pokretanju ciklusa ulaganja u NGN mreže je definiranje područja prema broju domaćinstava. Sukladno Direktivama BEREC-a i preporukama od strane EU komisije podjela tržišta odnosno područja prema broju domaćinstava je na:

- Crno područje;

⁹ Engl. *Ladder of investment*.

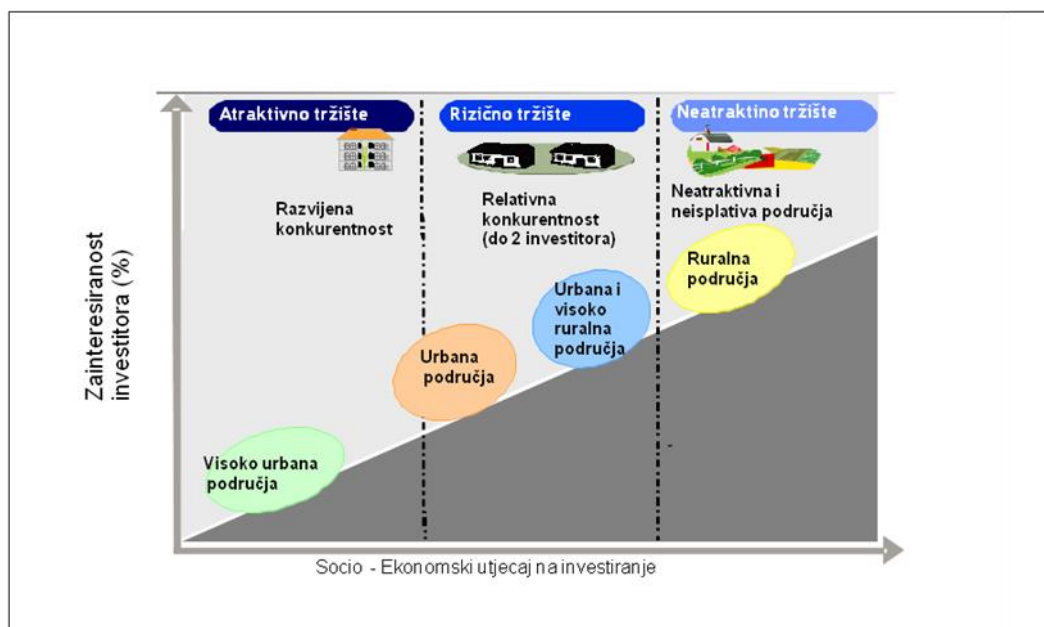
- Sivo područje;
- Bijelo područje.

Takva podjela utječe na razumnost ulaganja te mogućih modela zajedničkog ulaganja više investitora kao i odabir tehnologije i koncepta pristupne mreže.

Crno područje je područje s niskim troškom ulaganja po priključku i velikom konkurentnosti; nosi karakteristiku ulaganja više investitora u pristupne mreže nove generacije, gdje je moguće izgraditi i više paralelnih mreža ili je moguća dogovorna podjela tržišta između više investitora.

Sivo područje je područje koje nosi karakteristiku većeg ulaganja po krajnjem korisniku, konkurentnost je manja te je karakteristično po mogućem ulaganju u samo jednu mrežu nove generacije (FTTx) koja bi se temeljem reguliranja odnosa i najma infrastrukture ustupala i drugim zainteresiranim operatorima koji u tom slučaju ne bi ulagali u izgradnju nove mreže.

Bijelo područje je područje s visokim troškom ulaganja po krajnjem korisniku, rijetkoj naseljenosti te mogućim razvojem pristupnih mreža s razumnim troškovima kao što je pružanje širokopojsnih usluga s postojeće lokacije Operatora (engl. *central office*) ili korištenje mobilnih tehnologija koje ne iziskuju visoke troškove prilikom izrade pristupnih mreža, a pružaju zadovoljavajuću kvalitetu usluge (UMTS, LTE, WIMAX). U ovim područjima je za očekivati i određene subvencije i pomoć države kako bi se time osigurali prihvatljivi uvjeti svim stanovnicima RH.



Slika 2.5.1. Zainteresiranost investitora za pojedina tržišta ovisno o broju korisnika

2.5.3. Topologija i arhitektura pristupnih NGN mreža

Svaki od razrađenih modela izgradnje pristupnih mreža nove generacije ima niz utjecaja koji značajno utječu na odluku na koji način prići implementaciji i razvoju pristupnih mreža nove

generacije. Značajan utjecaj ima faktor iskorištenja infrastrukture pošto je u početnom periodu izuzetno zahtjevno postići optimalno iskorištenje kapaciteta.

Model mreže FTTE – central office lokacije

Danas se koristi tehničko rješenje pristupne mreže pružanja širokopojasnih usluga s postojeće lokacije „central office“ te bi od novih ulaganja bilo potrebno investirati u aktivnu opremu (DSLAM i Ethernet) i kapacitete.

Ovo rješenje ima osnovni nedostatak u mogućnosti pružanja širokopojasnih usluga korisnicima koji su udaljeni 2 km i više od lokacije gdje se nalazi oprema. U osnovi završni segment mreže prema krajnjem korisniku je postojeća pristupna bakrena mreža koja i dalje ostaje izložena sve većim zahtjevima za brzinama prijenosa te na kraju ne zadovoljava buduće zahtjeve krajnjeg korisnika za brzinama većim od 40 Mbit/s.

Model mreže FTTC

Koncept izrade pristupne mreže nove generacije zasnovano je na uvođenju aktivne opreme bliže korisniku tj. tehnološki modeli poput FTTC (*Fiber to the Curb/Cabinet*), FTTB (*Fiber to the Building*) i sl. mogu se smatrati samo kao prijelazne etape prema FTTH (*Fibre to the Home*) i razlikuju se u glavnom po dubini prodora optike prema korisniku.

U osnovi završni segment mreže prema krajnjem korisniku je postojeća pristupna bakrena mreža koja i dalje ostaje izložena sve većim zahtjevima za brzinama prijenosa, te na kraju ne zadovoljava buduće zahtjeve krajnjeg korisnika za brzinama većim od 40 Mbit/s. Uz to investiranje u ovaj koncept pristupnih mreža je kratkoročno i skupo radi troškova preusmjerenja postojećih mreža.

Model mreže FTTH – P2MP

Dva osnovna modela FTTH pristupne mreže su model *Točka-Točka* (P2P) i *Točka-Više točaka* (P2MP). Oba modela imaju svoje inačice kroz različite topologije mreže, različite situacije u kabelskoj kanalizaciji (postojanje, stupanj zauzeća i raspoložive dimenzije), različiti postotak pokrivenosti itd.

Ovaj model pristupne optičke mreže u svojoj osnovi podrazumijeva da svaki korisnik u svom prostoru ima osigurano jedno optičko vlakno kojim, dijeljenjem optičke snage, korisnik dobiva identičan signal kao i grupa njemu susjednih korisnika. Na drugoj strani na ODF-u u glavnom čvoru ta grupa korisnika dijeli jedno, zajedničko, optičko vlakno (relacija ODF-sprežnik). Dakle, na strani čvora jedno vlakno je ovdje posvećeno grupi korisnika, što se postiže ugradnjom sprežnika (djelitelja) optičke snage tzv. *splittera*.

Model mreže FTTH – P2P

Ovaj model pristupne optičke mreže u svojoj osnovi podrazumijeva da svaki korisnik u svom prostoru ima osigurano jedno ili dva optička vlakna koja s druge strane fizički završavaju na ODF-u u glavnom čvoru i služe isključivo za navedene korisnike. Dakle, svako vlakno je u cijelosti posvećeno određenom korisniku.

Prednosti P2P modela u odnosu na P2MP razmatrani iz aspekta pasivne opreme su veća prijenosna širina, veća fleksibilnost u davanju usluga, posvećenost pojedinačnom korisniku, jednostavnije planiranje i jednostavnije mjerenje (nadzor, lociranje kvarova).

Nedostaci P2P modela razmatrani iz aspekta pasivne opreme su neznatno viša cijena izgradnje, posebno početna, zauzimanje više prostora u centrali i DTK, veći troškovi sanacije kvarova i sl.

Međutim, istraživanja provedena od strane WIK Instituta (The Economics of Next Generation Access – Final Report) pokazala su kako bivši monopolisti mogu smanjiti svoje troškove i povećati profitabilnost izgradnje NGN mreže te mogu doseći točku profitabilnosti s manjim udjelom na maloprodajnom tržištu. To mogu postići na način da svoju infrastrukturu daju na raspolaganje drugim operatorima tj. ako daju veleprodajne usluge pristupa drugim operatorima, što bi zapravo značilo kako im veleprodajni prihodi u znatnoj mjeri mogu zamijeniti maloprodajne prihode promatrajući poduzeće u cjelini. Zaključak tog istraživanja je dakle suprotan odnosno iz navedenog proizlazi kako je ulaganje u P2P isplativije za samog investitora.

Model mreže – mobilne tehnologije

Korištenje modela mobilnih tehnologija za pružanje širokopojasnih usluga se razmatra kao zamjensko rješenje na područjima gdje je izuzetno teško i financijski neisplativo izgraditi nepokretnu pristupnu mrežu. Trenutna tehnologija koje se može koristiti u pružanju širokopojasnih tehnologija je mreža 3. generacije (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*, UMTS) dok je još u fazi testiranja tehnologija 4. generacije (engl. *Long Term Evolution*, LTE).

Ulaganja u ovaj tip pristupnih mreža opravdana su u ruralnim predjelima kao i urbanim gdje je izuzetno dug period ishodovanja imovinsko pravnih odnosa za gradnju nepokretnih pristupnih mreža.

2.5.4. Segmenti troškovnog modela

Troškovi modela mogu se podijeliti na tri osnovne kategorije:

- CAPEX (KAPITALNI IZDATAK) – najviša stavka koja se plaća na početku projekta, za vrijeme nadogradnje i proširenja – to je nedospio rashod koji najčešće dopijeva godišnje u obliku troškova amortizacije i kao takav se uključuje u trošak usluge.
- OPEX (OPERATIVNI IZDATAK) – to su najčešće troškovi održavanja mreže, ali i neki drugi troškovi. Troškovi održavanja mreže uključuju se u jedinični trošak usluge i dopijevaju prilikom realizacije prodaje dok neki drugi operativni troškovi odmah postaju rashod razdoblja.
- COGS (TROŠKOVI PRODANIH USLUGA) – to su troškovi koji su nastali nakon prodaje usluga i koji tek tada postaju rashod, dakle po realizaciji.

Slijede glavni utjecaji na troškove i savjeti kako smanjiti troškove pri implementaciji mreže.

CAPEX

Korisno je razumjeti relativni doprinos svake različite stavke CAPEX-a i samim time relativni potencijal troškovne štednje koji će, naravno, ovisiti o izabranom modelu pristupne mreže NGN. Pojednostavljena CAPEX podjela može se prikazati kroz:

- Troškove implementacije;
- Troškove ulaganja u aktivnu opremu u centralnom uredu;
- Troškove materijala (kablovi optičkih vlakana, završetci i ostali pasivni *hardware*).

Radovi na objektima su najskuplja stavka i samim time pružaju najveći potencijal za troškovnu redukciju – također najveće odstupanje između različitih situacija i scenarija.

Predviđen vijek trajanja kablova u zemlji je barem 25 godina – to je izvođačeva garancija za minimalni vijek trajanja, a stvarni vijek trajanja će najvjerojatnije biti duži. Aktivna oprema biti će nadograđena u tom vremenskom razdoblju, ali bi trebalo biti moguće ponovo upotrijebiti infrastrukturu. S tim na umu, isplati se uzeti u obzir dizajn za kabelsku opremu koja je sposobna podržavati različite mrežne arhitekture.

Investiranje u pristupne mreže nove generacije znači nužno ulaganje u tri osnovne skupine dijelova pristupne mreže:

- Investiranje u dijelu pristupnog čvora;
- Investiranje u mrežu;
- Investiranje u kućne instalacije.

Svi troškovi investiranja obuhvaćaju potrebne materijale i poslove (aktivnosti) bilo interne ili ugovorene vanjske izvođače radova.

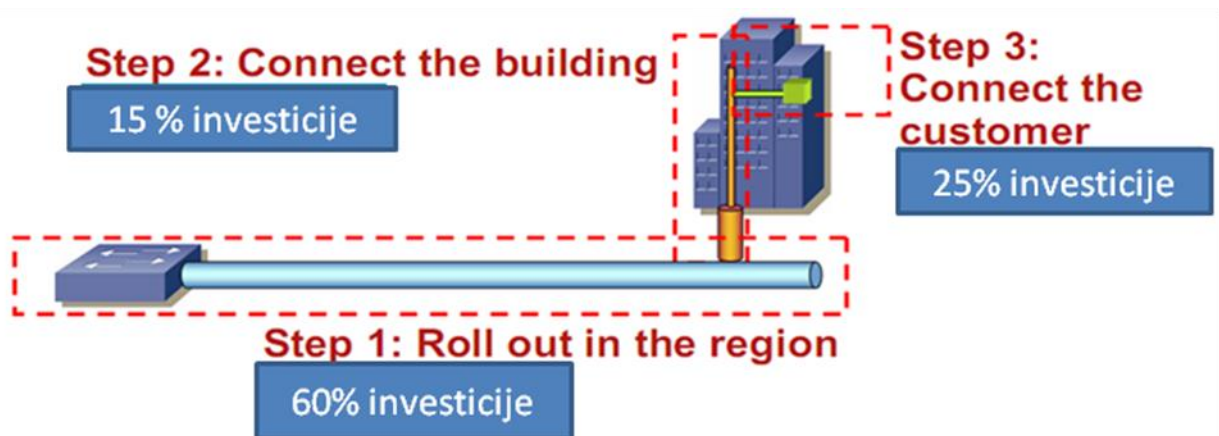
Sve troškovne podjele radi lakšeg donošenja odluke za pokretanje ciklusa investiranja potrebno je iskazati u obliku:

- prosječnog troška po stanu (*iznos po stanu*) odnosno po zgradi (*iznos po ulazu*);
- prosječan trošak *po metru položenog mrežnog kabela* za troškove mreže;
- prosječan trošak *po metru instalacijskog kabela* za sve tri opcije izgradnje kućnih instalacija.

Moguća optimizacija troškova moguća je kroz nekoliko utjecaja:

- Dostupnosti DTK – kroz primjenu novih rješenja;
- Mogućnost instalacije zračne optičke mreže (stupovi, fasade...);
- Korištenje infrastrukture drugih „komunalnih“ operatora (voda, plin, kanalizacija...);

- Optimizacijom topologije mreže i položajem spreznika u samoj mreži;
- Angažiranje klijenata u pripremne poslove;
- Naručivanje unaprijed – masovna inicijativa vezana za povezivanje za inicijalno razvijanje;
- Ponovna upotreba bakrenih mrežnih kablova unutar MDU-ova, na primjer, završavanje FTTB mreže sa VDSL-DSLAM-om;
- Dopustiti krajnjim korisnicima da plate opremu ili na način da je iznajme ili na način da je kupe;
- Omogućeno iznajmljivanje vodova.



Slika 2.5.2. Omjeri ulaganja u segmente pristupne mreže

Postojeća pristupna bakrena mreža izložena je sve većim zahtjevima za pojasnom širinom odnosno brzinama prijenosa, što zahtjeva konstantna ulaganja u rekonstrukciju i održavanje. S druge strane, sve veći broj korisnika širokopolasnih usluga unutar postojećih bakrenih kabela narušava kvalitetu traženih usluga. Kako se već planira investiranje u skraćenje korisničke petlje na nekoliko stotina metara, a i razmatra uvođenje novih bakrenih kabela poboljšanih karakteristika koji bi mogli odgovoriti na trenutne zahtjeve tržišta, osim trenutnih zahtjeva korisnika i one koji vrlo skoro slijede morao bi se razviti scenarij za trajnije rješenje kvalitetnog pružanja širokopolasnih usluga.

- **Investiranje u dijelu pristupnog čvora**

To su najčešće aktivnosti koje su vezane uz dio koji se nalazi unutar zgrade investitora, a vezane su uz omogućavanje spajanja pristupne mreže s portovima na aktivnom čvoru.

Ova troškovna cjelina može se razložiti na:

- troškove konzaltinga,
- troškove montažnih radova i

- troškove materijala.

Troškovi konzaltinga odnose se na sljedeće radove: izrada projektnog zadatka s idejnim rješenjem, izrada izvedbenog projekta, stručni nadzor, izrada izvedbeno tehničke dokumentacije i vođenje projekta.

Troškovi montažnih radova obuhvaćaju montažu ODF-a i postavljanje instalacijskih kabela što se može odraditi internom ili vanjskom uslugom.

Troškove materijala čine instalacijski kabele, ODF, sprežnici, *patch* kabele i ostali potrošni materijal.

- **Investiranje u mrežu**

To su aktivnosti vezane uz dio koji služi za povezivanje prostorija u kojem je smješten pristupni čvor s terminacijom mreže na objektu krajnjeg korisnika.

Ova troškovna cjelina može se razložiti na:

- troškove konzaltinga,
- troškove montažnih radova,
- troškove građevinskih radova i
- troškove materijala.

Troškovi konzaltinga odnose se na sljedeće radove: izrada projektnog zadatka s idejnim rješenjem, izrada (glavnog) izvedbenog projekta, stručni nadzor, izrada izvedbeno tehničke dokumentacije i vođenje projekta. Ovdje se troškovi konzaltinga uvećavaju ukoliko je potrebno izraditi projekt građevinskih radova (glavni i ili izvedbeni), a još se dodatno uvećavaju zbog plaćanja raznih pristojbi za ishođenje suglasnosti i lokacijske dozvole, te prava služnosti na novoizgrađenu DTK.

Troškovi montažnih radova uglavnom obuhvaćaju polaganje i spajanje kabela te montažu spojnice i razvodnih ormara.

Troškovi građevinskih radova predstavljaju radove na izgradnji DTK (iskopi, polaganje cijevi, ugradnja kabelskih zdenaca i vraćanje površina u prvobitno stanje), a isti uključuju i građevinski materijal (pijesak, beton, asfalt i sl.).

Troškove materijala čine; kabele, spojnice, razvodni ormari, sprežnici te kabelski zdenci, cijevi i ostali potrošni materijal.

- **Investiranje u kućne instalacije**

To su aktivnosti vezane uz dio koji služi za povezivanje krajnjeg korisnika s pristupnom mrežom.

Ova troškovna cjelina može se razložiti na:

- troškove konzaltinga,
- troškove montažnih radova i
- troškove materijala.

Troškovi konzaltinga odnose se na sljedeće radove: izrada projektnog zadatka s idejnim rješenjem, izrada izvedbenog projekta, stručni nadzor, izrada izvedbeno tehničke dokumentacije i vođenje projekta.

Troškovi montažnih radova uglavnom obuhvaćaju postavljanje kanalica, postavljanje i spajanje kabela, te montažu razvodnih ormara.

Troškove materijala čine: instalacijski kabeli, razvodni ormarići, kanalice i ostali potrošni materijal.

Navedeni troškovi kućne instalacije odnose se na izradu kućnih instalacija u zajedničkim dijelovima zgrade gdje se osim vertikalnog kabliranja (postavljanje vertikalnih kanalica, etažnih ormara i razvodnih instalacijskih kabela) postavljaju i horizontalne kanalice (postavljanje kanalica na etaži u zajedničkim dijelovima zgrade do ulaza u stan).

Završna faza ulaganja vezana je uz aktivnosti koje se događaju unutar samog prostora krajnjeg korisnika na horizontalnom kabliranju (postavljanje i spajanje priključnog kabela na etaži do stana i unutar stana do priključne kutije, zatim postavljanje kanalice unutar stana i montaža priključne kutije na zid u stanu).

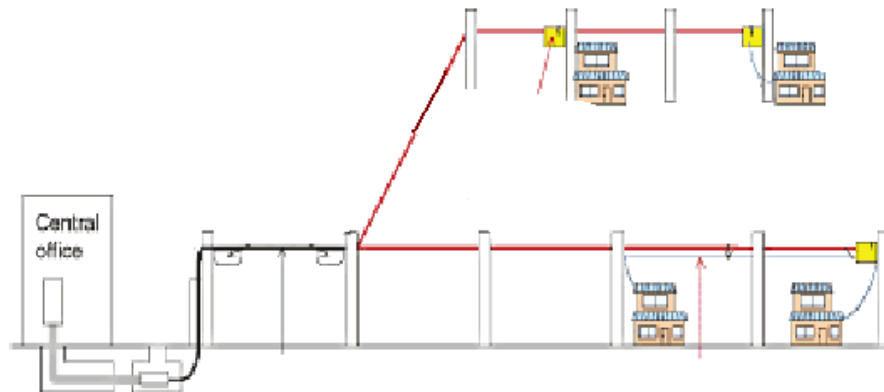
Jedno od alternativnih rješenja izgradnje pristupne optičke mreže primjena je samonosivih optičkih kabela, bilo na cijeloj dionici izgradnje ili dijelu dionice.

Ovakva rješenja nisu primarna već alternativna i mogu se koristiti u slučajevima kada nije moguća primjena klasičnih rješenja izgradnje pristupne optičke mreže uvlačenjem ili upuhivanjem svjetlovodnih kabela u postojeću ili novoizgrađenu kabelsku kanalizaciju, kabelačke cijevi ili mikrocijevi odnosno sustave mikrocijevi.

Primjena ovog rješenja predstavlja ujedno i jeftinije, ali i brže rješenje povezivanja krajnjeg korisnika na mrežu ali nije primjenjivo u svim sredinama, naročito u središtima većih gradova te rezidencijalnim područjima, gdje lokalna uprava ne dozvoljava ovakav tip gradnje. Ujedno, ovo rješenje je manje pouzdano, podložno atmosferskim utjecajima te samim tim skuplje u održavanju pri eksploataciji.

U slučaju korištenja samonosivih konstrukcija sustava mikrocijevi i mikrokabela sastoje se od više mikrocijevi koje imaju noseće uže od pocinčanih čeličnih žica ili aramidnih vlakana i zajednički plašt od polietilena. Te konstrukcije prije svega imaju namjenu za izgradnju zračnih optičkih mreža tehnologijom upuhivanja optičkih mikrokabela ili modularne optičke jedinice. Također za povezivanje-spajanje i zaštitu mikrocijevnih

sustava potrebno je osigurati odgovarajuću opremu koja mora omogućiti kvalitetan i siguran spoj te pružiti dovoljnu zaštitu spojnog mjesta te mjesta račvanja mreže.



Slika 2.5.3. Primjer nadzemne optičke mreže kao alternativnog rješenja s manjim troškovima

OPEX

Tipične stavke koje uključuje OPEX:

- Licencirane komunikacijske naknade, ako se primjenjuju (tj. univerzalni servisi);
- Administracija (najam ureda, auta itd.);
- Osoblje (zapošljavanje, trening, plaće, itd.);
- Troškovi za pravne poslove;
- Troškovi održavanja za POPs (najamnina, struja, itd.);
- *Backhaul*;
- Korisničko prihvaćanje i marketing;
- Održavanje mreže i otkrivanje smetnji.

Od svih navedenih troškova jedino su pravni troškovi ti koji se mogu prema uzročnosti razvrstati u operativne ili kapitalne troškove.

Ukoliko se ne posjeduje čitava zemlja preko koje prolazi mreža, onda se vlasniku zemlje moraju platiti prava postavljanja mrežnih kablova preko iste te zemlje, bez obzira na to dali se kablovi stavljaju u zemlju ili na vodove. Ako se želi steći pravo plaćanja paušalom, to će biti kategorizirano kao CAPEX; alternativa tome, u slučaju gdje se plaća periodička renta (mjesečna, godišnja), to će biti klasificirano kao OPEX. Drugim riječima, trošak prava može biti tretiran ili kao CAPEX ili kao OPEX, ali iskustvo je pokazalo da su se u najvećem broju slučajeva implementacije pravni troškovi tretirali kao operativni.

Backhaul

Ne smije se zaboraviti planiranje i budžetiranje za *backhaul* – mreža mora biti povezana sa ostatkom svijeta. Troškovi će ovisiti o tome da li se *backhaul* posjeduje u vlasništvu, iznajmljuju vlakna od drugog operatera ili se kupuje *bitstream*. Drugim riječima, treba se steći toliko kapacitet koji mreža koristi. U tom slučaju će ti troškovi biti klasificirani kao CAPEX, ali ako se posjeduju vlastita vlakna tada će *backhaul* troškovi biti klasificirani kao OPEX. *Bitstream* troškovi za operatera koji nudi vlakna mogu biti signifikantni, ovisno o dostupnosti, lokalnoj cijeni i stupnju natjecanja. Tada je izazov procijeniti i odrediti cijenu prava korištenja po korisniku, odlučiti koliko je prekomjerni upis *backhauila* (ako uopće postoji) koji će se dozvoliti i odlučiti dali se želi koristiti gornja granica (limit) kod upotrebe – to nije rijedak slučaj u regijama s visokim IP tranzitnim troškovima.

Nije dobra ideja imati samo jedan izvor pristupa za IP prijenos zbog mogućnosti kvara. Druga bi se pristupna točka trebala nositi sa 80% maksimalnog prometa, čak i onda kada nije često korištena.

Marketing je aktivnost koja se često zanemaruje u poslovnim slučajevima, a odnosi se na trošak privlačenja korisnika mreži.

Tamo gdje mogu biti dogovoreni ugovori sa zemljovlasnicima/kućnim vijećem, troškovi prodaje se šire između 50, 100, 500 ili više potencijalnih klijenata. Ako se pristup mreži prodaje svakom pojedinom zemljovlasniku/stanarskom vijeću onda se mora koristiti pristup niže cijene (npr. letci) kao način oglašavanja koji može biti pravi za limitirani broj klijenata.

Prodaja na manjem području može biti dobra ideja, ovisno o veličini vlastitog poslovanja i vlastite potencijalne korisničke baze. Korisnike treba osvijestiti na razvitak mreže te da je korisno imati mjesto gdje se mogu dobiti sve informacije. Dućan bi mogao omogućavati informacije o napretku razvijanja te također o listi proizvođača servisnih davatelja usluga koji će biti aktivni na tom području.

Kad je veleprodajni pristup vlaknima glavni proizvod, dobra je ideja razviti partnerstvo sa operaterima i davateljima usluga prije same izgradnje ako je moguće, jer će oni biti mogući korisnici. Potencijalni partneri bi također morali znati definiciju sučelja i procesa – neki gradski projekti vezani za vlakna su doživjeli neuspjeh zbog izgradnje suviše kompleksnih ili neodgovarajućih sistema i tako propustili napraviti posao sa davateljima usluge.

Svako će poslovanje imati neke fiksne troškove. U slučaju sa FTTH organizacijom biti će značajnih fiksnih elemenata vezanih za centralni sistem pri osiguravanju novih korisnika, zgrada, korisničke službe itd. To znači da će, gdje je potencijalni broj klijenata nizak, disproporcija visoke razine fiksnih troškova otežati razuman poslovni slučaj. Obratno, kako broj potencijalnih klijenata raste, fiksni centralni troškovi postaju manji problem.

Za male operatere veliki utjecaj neće imati troškovi centralnog sistema već troškovi zaposlenika. Mrežne organizacije sa manje od pet ljudi su rijetke, iako je moguće prometovati na taj način. Za većinu organizacija troškovi plaća zaposlenika utječu na održivu mrežnu veličinu.

Marketinški dio, naplaćivanje i korisnička zaštita, će se odraditi ako se mreža namjerava iznajmiti jednom ili više etabliranih davatelja usluga, ali onda onaj koji iznajmljuje mrežu mora dozvoliti odgovarajuću maržu kako bi se pokrili spomenuti troškovi. Međutim, generalno značajni davatelji usluge nisu zainteresirani za male posebne slučajeve zato što je za njih više troškovno učinkovitije ići na masovna tržišta.

2.5.5. Povrat ulaganja

Povrat ulaganja pri ulaganju u mreže nove generacije ovisi o nizu faktora kao što su:

- Trošak investiranja po korisniku;
- Gustoća odabranog tržišta;
- Spektar BB usluga koje se nudi (uključujući i sadržaje a time i cijena usluge);
- Očekivani prihodi po korisniku;
- Iskorištenje izgrađene infrastrukture, odnosno udio aktiviranih priključaka (engl. *take up rate*).

Osim izrade simulacije, odluku o ulasku u investicijski ciklus izgradnje pristupnih mreža nove generacije trebala bi podržati i strategija razvoja firme te stvaranje korisničke baze. To su osnovni pokretači investiranja.

Uz početne kapitalne investicije bitan utjecaj ima i smanjenje operativnih troškova (OPEX) iz razloga što može doći do:

- Smanjenja broja elemenata mreže (CO lokacija);
- Veće otpornosti na smetnje u odnosu na bakrene pristupne mreže;
- Smanjenja troškova utroška električne energije;
- Smanjenja broja djelatnika radi lakšeg održavanja;
- Centraliziranog i udaljenog održavanja i uključanja usluge.

Ovisno o konceptu pristupne mreže u najizazovnijem konceptu, povrat investicije trebao bi biti unutar 15 godina te je podjela rizika ulaganja nužna za zaštitu interesa investitora koji je voljan uložiti u razvoj pristupnih mreža nove generacije.

Projekti vlakana po prirodi su kapitalno intenzivni infrastrukturni projekti tako da su periodi isplate rijetko kraći od pet godina, a često su i duži. To znači da je financiranje od iznimnog značaja za spomenute projekte.

Razvatak simulacije za nove operatere, poslovna jedinica ili proizvod/usluga, ima jasne i kompleksne inpute. Kako bi se razvila mreža, treba investirati novac u CAPEX i na taj način izgraditi infrastrukturu, povezati se sa mrežom te iskoristiti radni kapital kako bi se platili

operativni troškovi kao što su plaće, uredski troškovi itd. A za povrat se očekuje generiranje prihoda i na kraju, nakon pokrivanja operativnih troškova, generiranje profita i povrata na kapital.

U nastavku su ukratko opisane neke od metoda procjena povrata ulaganja:

1. *Diskontirani novčani tok*

Diskontirani novčani tok (engl. *discounted cash flow*) uvažava vremensku komponentu, tj. vremensku preferenciju novca ukamaćivanjem ili diskontiranjem operativnog novčanog toka, za razliku od operativnog i totalnog novčanog toka, koji imaju statički karakter. To je kombinacija operativnog novčanog toka za trajanja korištenja investicije s totalnim novčanim tokom u odnosu prema investicijskim izdacima.¹⁰

Formula: *diskontirani novčani tok* = (novčani tok u godini n) / $(1+x\%)_{n-1}$

2. *Neto sadašnja vrijednost*

Procijenjena sadašnja vrijednost nekog plaćanja koje treba obaviti (ili primiti) sutra. Plaćanje se diskontira za iznos koji uzima u obzir vrijeme između današnjeg trenutka i dana kada ono dospijeva. Taj se iznos izračunava uzimajući u obzir očekivane kamatne stope i stupanj rizika povezanog s plaćanjem.

Neto sadašnja vrijednost investicijskog projekta je razlika između sadašnje vrijednosti budućeg prihoda od projekta i sadašnje vrijednosti njegovih budućih troškova.¹¹

3. *Interna stopa povrata*

Diskontna stopa često se koristi u budžetiranju kapitala koji čini neto sadašnju vrijednost svih novčanih tokova iz pojedinog projekta jednaka nuli. Općenito govoreći, što projekt ima veću internu stopu povrata, tim više je poželjno da se preuzme projekt. Kao takva, IRR se može koristiti za rangiranje nekoliko potencijalnih projekata koje tvrtka uzima u obzir. Uz pretpostavku da svi ostali faktori jednaki među različitim projektima, projekt s najvećom IRR vjerojatno bi se mogao smatrati najboljim.

4. *EBITDA (zarada prije kamata, poreza, deprecijacije i amortizacije)*

Aproksimativna mjera operativnog novčanog toka kompanije temeljena na podacima računa dobiti i gubitka kompanije. Izračunava se gledajući zaradu prije umanjeanja za kamatni trošak, poreze, deprecijaciju i amortizaciju. Ova mjera zarade od posebnog je interesa u slučajevima gdje tvrtke imaju velike količine stalnih sredstava koje su predmetom velikih amortizacijskih stopa (kao što je proizvodnja tvrtke) ili u slučaju gdje tvrtka ima veliku količinu stečene nematerijalne imovine u svojim knjigama i samim time su predmet velikih amortizacijskih stopa (npr. kupnja brenda ili stjecanje druge

¹⁰ <http://limun.hr/main.aspx?id=10397&Page=3>

¹¹ <http://www.moj-bankar.hr/Kazalo/N/Neto-sada%C5%A1nja-vrijednost>

kompanije). Budući da „iskrivljeno“ računovodstvo i financijski efekti na zaradu kompanije ne ulaze u EBITDA, to je dobar način da se usporede kompanije koje jesu, ali koje i nisu u istoj industriji. Ta mjera je također interesantna kompanijinim investitorima, budući da je EBITDA zapravo dohodak koji kompanija ima na raspolaganju za plaćanje kamata. Uglavnom, EBITDA je korisna mjera samo za velike kompanije sa značajnom imovinom, i/ili za kompanije sa značajnom količinom financiranja putem duga. Rijetko je ona korisna mjera za evaluaciju malih kompanija sa ne toliko značajnim kreditima.¹²

5. Slobodni novčani tok

Slobodni novčani tok je iznos novca kojeg poduzeće može distribuirati svim ulagačima (kreditorima, vlasnicima povlaštenih udjela i vlasnicima običnih udjela). Kako bi se poduzeće vrednovalo, mora se pronaći novčani tok kojeg je ono spremno kontinuirano producirati kroz duži vremenski period. Time se fokus stavlja na generiranje novčanog toka iz operativnog poslovanja.

	Prodaja (prihodi)
-	Troškovi
=	EBIT (zarada prije kamata i poreza)
-	Porez na EBIT
+	Povećanje u odgođenim porezima i obvezama za poreze
=	NOPLAT (OPERATIVNI PROFIT)
+	Amortizacija
-	Povećanje operativnog radnog kapitala
-	Povećanje ostale operativne imovine (minus ostale operativne obveze)
-	Ulaganja u zemljište, tvornice i opreme (CAPEX)
-	Ulaganje u <i>goodwill</i>
=	Slobodni novčani tok

6. Evaluacija uhodanog poslovanja

- pristup: „*scrap value*“

Može se objasniti kao suma dijelova vrijednosti komponenata projekta u slučaju da su pojedini elementi prodani na komade za „*scrap value*“ ili da su negdje ponovno upotrijebljeni.

- pristup: trajnost poslovanja

¹² <http://www.investorwords.com/1632/EBITDA.html>

Ako je mreža izgrađena i stavljena u poslovanje, poduzeće može privući kupce trajnošću poslovanja. Trajnosti poslovanja evaluiraju se koristeći točno utvrđene poznate metode. Postoje tri alternative:

- Usporediva transakcija: Na svakom je tržištu najbolji indikator vrijednosti stvarna cijena nedavno plaćena za identičnu imovinu. Rijedak je slučaj da je učinkovitost dva poduzeća na tržištu korporativnog vlasništva identična. Česta je praksa korištenja cijena plaćenih za slične ili jednake kompanije kao odrednice za evaluaciju trajnosti poslovanja.
- Diskontirani novčani tok: Omogućuje temelj za bilo koju procjenu. U teoriji vrednovanja, kupac će biti spreman platiti cijenu ekvivalentnu neto sadašnjoj vrijednosti budućih novčanih tokova projekta.
- Kapitalizacija dohotka: Jednostavna metoda koja koristi sadašnju vrijednost budućih prihoda kako bi se odredila prodajna vrijednost (koristi se odgovarajuća diskontna stopa).

Od ove tri spomenute metode, najbolja je metoda diskontiranog novčanog toka. Kada je dobro napravljena daje najbolje smjernice zato što koristi buduću potencijal projekta i odbija tu vrijednost natrag u sadašnjost koristeći set mjera, odražavajući trošak novca i rizik projekta.

- pristup: povijesni

U nedostatku prodaje ili drugih tržišnih transakcija pri određivanju cijene, računovođe se često oslanjaju na povijesni trošak kao najbolju bazu za evaluaciju. Potencijalni kupac ili investitor projekta vlakana mora razumjeti povijesni trošak koji ovisi o učinkovitosti originalnog osnivača ali je nebitan za određivanje tekuće vrijednosti te dobro ga sagledati bez obzira na to je li visok ili nizak.

U stvarnosti, mnogi projekti uvelike ovise o završnoj vrijednosti, a to ovisi o nekoliko ključnih pretpostavki, uključujući razinu neprekidnog godišnjeg novčanog toka – koji je funkcija projiciranih dugoročnih prihoda i svih različitih troškova – mjera rasta izabranih novčanih tokova i diskontnih mjera, a sve to skupa je stvar procjene.

7. *Terminal value*

Kako je namjera društava poslovanje u neograničenom vremenskom razdoblju, FFCF se procjenjuje za nekoliko godina unaprijed, s time da za zadnju godinu uzima *Terminal value* – TV, graničnu vrijednost koja odražava sve buduće FFCF nakon tog razdoblja. Među puno različitih pristupa izračuna TV najdosljedniji je model koji pretpostavlja da će FFCF imati konstantni rast u budućnosti i zato se FFCF diskontira s troškom kapitala umanjenim za stopu rasta. Za Terminal value najčešće se pretpostavlja da će biti jednaka kao peta godina poslovanja.

Formula: $Terminal\ value_n = (FFCF)_{n+1}/(trošak\ kapitala_{n+1} - g_n)$

Suma svih FFCF umanjena za vrijednost duga i uvećana za vrijednost vrijednosnih papira daje vrijednost kompanije. Dobivena vrijednost dijeli se s brojem dionica i to je procijenjena vrijednost kompanije po dionici.

Procjena je otežana ako se radi o novim kompanijama s malo povijesnih informacija, o kompanijama koje imaju gubitke i kompanijama koje nemaju usporedivih kompanija. Kod takvih procjena potrebno je osloniti se ili na povijesne informacije (ako ih ima) ili na informacije usporednih kompanija.

2.5.6. Poboljšanje poslovnog plana

NPV i IRR brojevi predstavljaju samo jedan od načina gledanja na poslovanje. Rezultati svih pretpostavki, uključujući CAPEX i OPEX kalkulacije, tržišne procjene i druge mogu biti neprihvatljive. Međutim, to ipak nije problem. Projektni planovi rijetko izgledaju dobro kada se prvi put slože. Najčešće treba ponoviti različite verzije poslovnog slučaja dok se ne dobije nešto što nudi pravi spoj povrata na ulaganje.

Ako pretpostavimo da se eventualan održiv scenarij može naći s pravom vrstom financijskih rezultata, onda je i dalje bitno da poslovni plan omogućava izradu ponavljanja. To će uključiti promjene pretpostavki kako bi se dokazalo da je poslovni plan jasan. Tipične promjene mogu uključivati:

- sporiju implementaciju od očekivanog;
- nižu penetraciju korisnika od očekivanog;
- viši CAPEX od predviđenog.

Kada je poslovni plan relativno stabilan, treba zabilježiti ključne mjere sa svakom učinjenom promjenom. Investitori se najčešće interesiraju za razloge promjena mjerenih jedinica. Ako se pažljivo bilježe utjecaji svake promjene jedanput kada poslovni plan postane javan, onda je zainteresiranima lako objasniti razloge promjena u IRR, NPV, zahtjevima financiranja itd.

Dobro je kad implementacija ide u korak sa slobodnim kapitalom. Dijeljenjem projekta na faze izbjegava se podizanje kapitala odjedanput na samom početku. Postojanje ciljeva na kraju svake faze koji se mogu identificirati omogućava da se investitore uvjere kako je njihov novac pametno uložen.

Uspjeh mreže, u očima investitora i dioničara, će biti mjeren generiranim novčanim tokom. Kako bi se postigao optimalni novčani tok, dizajn mreže bi trebao biti upravljan komercijalno, a ne tehnički.

Koeficijent iskorištenja izgrađenih kapaciteta i infrastrukture mreže nove generacije jedan je od faktora koji znatno utječe na ukupne troškove koji direktno utječu na definiranje cijene usluge te povrat investicije pa tako i na donošenje odluke o pokretanju ulaganja na određenom području. Postizanje dobre iskoristivosti kapaciteta u početku investicijskog ciklusa izuzetno je teško postići u prvih 5 godina te je rizik ulaganja tim veći. Pregledom svih izazova, koji se pojavljuju pri odlučivanju za investiranje u mreže nove generacije koje nose i velike rizike

za investitora, razvijen je niz alata za provjeru ispravno donesene odluke kao i definiranje nužnih koraka da se izbjegnu mogući rizici koji proizlaze iz ulaganja. Investiranje se može udeseterostručiti donošenjem jedne krive odluke u jednom segmentu izgradnje te time uništiti investitora prije samog nuđenja usluga.

2.5.7. Umjesto zaključka

Problematika ovog poglavlja, vezana uz ukupne troškove i isplativost ulaganje u NGN pristupnu infrastrukturu obuhvatila je ključna pitanja vezana uz razvitak NGN mreže na području Republike Hrvatske te će se daljnjim fazama ovog projekta razmotriti mogući pravci budućeg investiranja u infrastrukturu uzimajući u obzir trenutni stupanj razvoja infrastrukture u Republici Hrvatskoj, nacionalne specifičnosti kao što su gustoća stanovništva, geografske karakteristike (veliki broj otoka i ruralnih područja), mogućnosti tržišta da prihvati nove usluge, pristupa operatora financiranju ulaganja u mreže NGN i sl. Što se tiče samog ulaganja u NGN mreže, treba naglasiti kako su bivši monopolisti u boljoj poziciji za ulaganje u NGN mreže nego alternativni operatori jer u područjima koja se pokazuju kao isplativa u smislu gustoće naseljenosti i gdje bivši monopolist ima potreban tržišni udio pristupnih linija, ali i gdje su mreže djelomično amortizirane, postoji mali ili nikakav rizik ulaganja. Stoga regulator kod određivanja rizika ulaganja treba postupati s krajnjim oprezom od slučaja do slučaja kako bi mogao procijeniti stvarni rizik ulaganja operatora na određenim područjima jer procjenjivanjem previsokog rizika ulaganja djelovao bi demotivirajuće na konkurentnost tržišta. No, s druge strane procjena preniskog rizika od strane regulatora ugrozila bi daljnja ulaganja u NGN mrežu. Nadalje, u tom kontekstu, bitna su i pitanja vezana za izračun pojedine veleprodajne usluge za regulatorne potrebe uz razvoj primjenjivih troškovnih modela kako bi se mogli zadovoljiti zahtjevi praćenja i evidencije troškova NGN mreža od strane regulatora.

Literatura

- [1] Zakon o elektroničkim komunikacijama, <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/340018.html>
- [2] Press release 24.2.2010 - FTTH council Europe
- [3] Više prezentacija BB world forum Berlin, 10.2007.
- [4] FTTH Business guide 2.2010 – FTTH council Europe
- [5] Jure Brkljačić: Investiranje u pristupne mreže nove generacije-Regulatorni aspekti mreža i usluga, 4.5.2010., seminarski rad.
- [6] Jure Brkljačić: Odlučivanje temeljem troška- Odlučivanje o načinu investiranja u pristupne mreže nove generacije, 4.12.2010., seminarski rad.
- [7] HAKOM: Analiza tržišta veleprodajnog širokopojsnog pristupa, srpanj 2009.

- [8] HAKOM: Analiza tržišta veleprodajnog (fizičkog) pristupa mrežnoj infrastrukturi (uključujući dijeljeni ili potpuni izdvojeni pristup) na fiksnoj lokaciji
- [9] BEREC: Annex to the BEREC Report - Next Generation Access - Implementation Issues and Whole Sale Products
- [10] BEREC: Next Generation Access - Implementation Issues and Wholesale Products
- [11] ECTA: The Economics of Next Generation Access - Final Report, 10.9.2008.
- [12] Final Report for OPTA: The business case for fibre - based access in the Netherlands, 24.8.2008.
- [13] Report for Ofcom: GPON Market Review - Competitive Models in GPON - Initial Phase, 26.10.2009.
- [14] Final Report for Ofcom: Competitive models in GPON, 1.12.2009.
- [15] CULLEN INTERNATIONAL: Big Five Update 124, 20.10.-25.11.2010.
- [16] OECD: Working Party on Communication Infrastructures and Services Policy - DEVELOPMENTS IN FIBRE TECHNOLOGIES AND INVESTMENT, 3.4.2008.
- [17] INTERCONNECT COMMUNICATIONS: Next Generation Networks - Creating a Dedicated Cost Model
- [18] OVUM: Cost allocation in an NGN environment - A presentation to the IRG roundtable, 28.9. 2006.
- [19] Module 7. New Technologies and Impacts on Regulation, 1.9.2011.
- [20] <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/>, FTTH Business guide 2.2010 – FTTH council Europe
- [21] <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/>, Press release 24.0.2010 - FTTH council Europe
- [22] <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/>, Yankee group research Q3 2009
- [23] <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/>, Više prezentacija BB world forum Berlin 10.2007.
- [24] <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/>, Next Gen network – ADC Krone white paper
- [25] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:02002L0058-20091219:EN:NOT>, Privacy
- [26] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:02002L0020-20091219:EN:NOT>, Authorization
- [27] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:02002L0019-20091219:EN:NOT>, Access

- [28] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:02002L0021-20091219:EN:NOT>, Framework
- [29] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:02002L0022-20091219:EN:NOT>, Universal Service
- [30] <http://limun.hr/main.aspx?id=10397&Page=3>, Universal Service
- [31] <http://www.moj-bankar.hr/Kazalo/N/Neto-sada%C5%A1nja-vrijednost>, Universal Service
- [32] <http://www.investopedia.com>, Universal Service

3. Uporaba digitalne dividende za nove usluge

Prelaskom s analognog na digitalno emitiranje TV signala oslobađa se dio radiofrekvencijskog spektra, a oslobođeni dio spektra naziva „digitalnom dividendom“. Kako bi se digitalna dividenda što učinkovitije iskoristila u gospodarskom i kulturološkom smislu, treba razraditi njenu uporabu, kao i način dodjele, uz usklađivanje sa zemljama regije i Europske Unije.

3.1. Pregled postojećih scenarija korištenja digitalne dividende u EU

3.1.1. Načela uporabe digitalne dividende u europskim zemljama

Prestankom rada analognih odašiljača u zemaljskom radiodifuzijskom sustavu u frekvencijskim pojasevima VHF III i UHF IV/V, oslobađa se dio radiofrekvencijskog spektra koji se može rabiti za dodatne televizijske programe, pokretne komunikacijske usluge, širokopojasni pristup Internetu, radiomikrofone te druge elektroničke komunikacijske usluge. Oslobođeni dio spektra naziva se „digitalna dividenda“. Digitalnoj dividendi mogli bi se pribrojiti i tzv. bijeli prostori (engl. *white spaces*). To su kanali koji se ne rabe na određenom prostorno ograničenom području unutar frekvencijskih pojaseva namijenjenih radiodifuziji televizijskog signala. Ti vrijedni dijelovi spektra nisu neiskorišteni već ih mogu rabiti prostorno ograničene radijske usluge (npr. radijski mikrofoni) pod uvjetom da ne stvaraju smetnje u radu radiodifuzijskog sustava. Učinkovitom uporabom digitalne dividende stvara se dodatna vrijednost za širu društvenu zajednicu. Ta vrijednost ne mora biti samo ekonomska već može biti i kulturološka (više prostora za emitiranje programa iz područja kulture i obrazovanja) i sociološka (širokopojasni pristup u ruralnim područjima). Kako bi se digitalna dividenda što učinkovitije iskoristila važno je u narednom razdoblju uskladiti uporabu oslobođenog radiofrekvencijskog spektra i tehnologije u zemljama regije i Europske Unije.

Na Svjetskoj radiokomunikacijskoj konferenciji WRC-07 (*World Radiocommunication Conference*), održanoj u organizaciji ITU-a u Ženevi u studenome 2007. godine, raspravljalo se o mogućnosti dodjele radiofrekvencijskih kanala iz pojasa 470-862 MHz mobilnim uslugama. Konačnim sporazumom dopuštene su u Regiji 1 mobilne usluge u pojasu 790-862 MHz i to nakon 17. srpnja 2015. godine, [1]. Taj datum odgovara planiranom datumu dovršetka prelaska s analognog na digitalno zemaljsko emitiranje televizijskih programa za države potpisnice sporazuma GE-06, [2]. Jedna od službi, koja može rabiti ovaj pojas, je IMT (*International Mobile Telecommunication*). IMT uključuje IMT 2000 (3G - mobilni sustavi treće generacije, UMTS, CDMA 2000, WiMAX) kao i napredne IMT usluge (4G - mobilni sustavi četvrte generacije).

Na WRC-07 usvojene su dvije komplementarne rezolucije. Prva rezolucija potvrđuje prvenstvo sporazuma GE-06 u Regiji 1 i poziva na zaštitu radiodifuzijskih usluga od interferencije uzrokovane radom IMT sustava u istom pojasu. Za države potpisnice sporazuma GE-06, uporaba pojasa 790-862 MHz za mobilne službe mora biti predmetom

procesa koordinacije, a određivanje dijela pojasa UHF za mobilne usluge ne znači njihov prioritet u odnosu na druge službe, kojima je pojas 470-862 MHz ranije bio dodijeljen na primarnoj osnovi. Druga rezolucija poziva ITU da do iduće Svjetske radiokomunikacijske konferencije, koja će se održati 2011. godine, provede istraživanja o posljedicama moguće dodjele pojasa 790-862 MHz mobilnim službama. Rezultat istraživanja treba biti studija koja će pokazati kakav je utjecaj uvođenja mobilnih usluga na radiodifuzijske službe u istom i susjednim frekvencijskim pojasevima te koje mjere treba poduzeti radi omogućavanja koegzistencije radiodifuzijskih i mobilnih usluga u pojasu od 790-862 MHz.

Neophodno je da administracije svake države samostalno ocijene stanje u svojoj državi i donesu odluku o uporabi digitalne dividende. Prestankom rada analognih zemaljskih odašiljača oslobodit će se frekvencije za nove usluge, a te nove usluge mogu donijeti i značajnu ekonomsku dobit ako se dijelovi frekvencijskog pojasa prodaju na javnoj dražbi. Prilikom donošenja odluke o načinu uporabe spektra administracije pojedinih zemalja moraju uzeti u obzir rješenja susjednih zemalja, s kojima moraju uskladiti svoje planove i aktivnosti, tako se odluke o načinu uporabe spektra trebaju temeljiti na regionalnim dogovorima.

Europske radiodifuzijske udruge (European Broadcasting Union, Lagardere active, Groupe Canal +, ProSiebenSat.1 Group, RTL Group, VPRT) upozoravaju da otvaranje spektra mobilnim uslugama u pojasu koji je tradicionalno bio namijenjen radiodifuziji, može stvoriti velike probleme zbog interferencije. Interferencija nije trivijalan problem i može izazvati iznenađujući gubitak slike i zvuka. Slušateljima i gledateljima koji su kupili digitalne uređaje treba biti zajamčen stabilan prijam i visoka kvaliteta slike i zvuka. Pored toga, radiodifuzijske udruge upozoravaju da upravljanje radijskim spektrom na tržišnim osnovama predstavlja opasnost za europske radiodifuzijske sustave. Trgovanje spektrom može ograničiti djelotvornu uporabu spektra i raznovrsnost ponude. U različitim zemljama različita su stanja na medijskom tržištu i u uporabi su različite strukture radiodifuzijskih sustava s obzirom na udio i značaj pojedinih vrsta radiodifuzijskih sustava (zemaljskih, kabelskih, satelitskih). Stoga svaka pojedina država treba imati slobodu donošenja odluka o načinu uporabe spektra primarno namijenjenog radiodifuziji kako bi mogla provoditi vlastitu audiovizualnu politiku, omogućiti pluralizam medija te kulturnu i jezičnu raznolikost.

Oslobodeni pojas širine 72 MHz pokazuje se nedovoljnim za uspostavljanje nekoliko radijskih mobilnih mreža s visokim brzinama prijenosa, što je jedan od temeljnih zahtjeva. Radi poticanja konkurentnosti 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 ograničenjima radi zaštite od nastanka štetnih smetnji za ostale korisnike spektra. Pojas digitalne dividende nalazi se unutar pojasa koji je na međunarodnoj razini predviđen za radiodifuziju televizijskog signala što čini ova ograničenja još složenijima.

10. srpnja 2009. godine Europska komisija donijela je dokument o uporabi digitalne dividende pod nazivom „*Transforming the digital dividend opportunity into social benefits and economic growth in Europe*“, [3]. Komisija je najavila izradu plana upravljanja

radiofrekvencijama kako bi se olakšalo harmoniziranje digitalne dividende (pojasa od 790-862 MHz) za uporabu u širokopojasnom mobilnom pristupu Internetu.

ECC CEPT (*Electronic Communications Committee of the CEPT*) je u studenom 2009. godine usvojio paket regulatornih dokumenata koji se odnose na digitalnu dividendu i kojima se TV kanali od 61 do 69 utvrđuju kao najprikladniji pojas za uporabu u širokopojasnim mobilnim/fiksnim komunikacijskim mrežama na europskoj razini. Najvažniji od tih dokumenata je odluka „ECC/DEC/(09)03 on harmonised conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 790 - 862 MHz“, [4], koja je utemeljena na rezultatima studija kompatibilnosti objavljenih u dokumentima CEPT Reports 30 „The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 - 862 MHz for the digital dividend in the European Union“ i CEPT Reports 31 „Technical considerations regarding harmonisation options for the digital dividend in the European Union“, „Frequency (channelling) arrangements for the 790-862 MHz band“, [5, 6]. Navedenim dokumentima omogućava se fleksibilan pristup uporabi spektra koji ostavlja nacionalnim administracijama odluku kako koristiti pojas 790-862 MHz, ali se naglašava da se pri uporabi pojasa 790-862 MHz treba pridržavati načela tehnološke neutralnosti. Ako nacionalne administracije donesu odluku da se navedeni pojas rabi za mobilne/fiksne komunikacijske mreže, tada administracije trebaju usvojiti harmonizirane tehničke uvjete specificirane u ECC/DEC/(09)03. ECC/DEC/(09)03 uključuje više različitih rješenja za implementaciju mobilnih/fiksnih komunikacijskih mreža koje se mogu temeljiti na, [4]:

- uporabi frekvencijskog dupleksa (FDD, *Frequency Division Duplex*) u cijelom pojasu 790-862 MHz za implementaciju mobilnih/fiksnih komunikacijskih mreža;
- uporabi vremenskog dupleksa (TDD, *Time Division Duplex*) u cijelom pojasu 790-862 MHz za implementaciju mobilnih/fiksnih komunikacijskih mreža;
- uporabi mješovitog FDD/TDD rješenja za implementaciju mobilnih/fiksnih komunikacijskih mreža.

ECC/DEC/(09)03 omogućava i nastavak uporabe pojasa 790-862 MHz za radiodifuzijske i druge usluge. Preferirani način podjele pojasa 790-862 MHz u skladu s ECC/DEC/(09)03 je podjela na uparene frekvencijske blokove širine 2 x 5 MHz uz FDD način rada i dupleksni razmak 11 MHz, Slika 3.1.1. Za uzlaznu vezu na raspolaganju je 6 blokova po 5 MHz (ukupno 30 MHz), a isto vrijedi za silaznu vezu. Alternativna mogućnost je podjela pojasa na neuparene frekvencijske blokove uz TDD način rada prikazana na Slici 3.1.2. Na raspolaganju je 13 blokova po 5 MHz (ukupno 65 MHz). Kombinacija uparenih i neuparenih blokova prikazana je na Slici 3.1.3.

790-791	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
Guard band	Downlink						Duplex gap	Uplink					
1 MHz	30 MHz (6 blocks of 5 MHz)						11 MHz	30 MHz (6 blocks of 5 MHz)					

Slika 3.1.1. Podjela pojasa 790-862 MHz na uparene frekvencijske blokove širine 2 x 5 MHz za FDD način rada

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
Guard band	Unpaired												
7 MHz	65 MHz (13 blocks of 5 MHz)												

Slika 3.1.2. Podjela pojasa 790-862 MHz na neuparene frekvencijske blokove širine 5 MHz za TDD način rada

Option	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	TDD
6		TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	TDD
7			TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
8			TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	5 MHz	TDD	TDD	TDD	TDD

Centre gap
 Guard band
 Restricted block

Slika 3.1.3. Podjela pojasa 790-862 MHz na frekvencijske blokove uz kombinaciju uparenih i neuparenih blokova

Namjena i uporaba radiofrekvencijskog spektra u Republici Hrvatskoj propisana je u Pravilniku o namjeni radiofrekvencijskog spektra (NN 136/08). Sastavni dio Pravilnika je „Tablica namjene radiofrekvencijskog spektra“, koja određuje namjenu radiofrekvencijskih pojaseva u Republici Hrvatskoj. Pravilnikom su određeni i frekvencijski pojasevi za radiodifuziju radijskih i televizijskih signala, a u „Tablicu namjene radiofrekvencijskog spektra“ uključena je moguća primjena pojasa 790-862 MHz za mobilne/fiksne komunikacijske mreže na temelju javne dražbe, što je u skladu s odlukom ECC/DEC/(09)03. Slika 3.1.4. prikazuje izvadak iz „Tablice namjene radiofrekvencijskog spektra“ koji pokazuje da se u Hrvatskoj pojas 790-862 MHz može rabiti za radiodifuziju u skladu s frekvencijskim planom za digitalnu televiziju (GE-06), za radiomikrofone u skladu s preporukom „ERC/REC 70-03 Relating to the use of Short Range Devices (SRD)“ te za mobilne komunikacije u skladu s ECC/DEC/(09)03.

TABLICA NAMJENE RADIOFREKVENCIJSKOG SPEKTRA

NAMJENA U REPUBLICI HRVATSKOJ	UPORABA	PRIMJENA	DOKUMENT	OPĆA BILJEŠKA	NAČIN IZDAVANJA DOZVOLA
-------------------------------	---------	----------	----------	---------------	-------------------------

790-862 MHz RADIODIFUZIJA POKRETNIA 5.316	civ.	TV/DTV	GE06	TV UHF pojas V (582-862 MHz)	Na zahtjev /Natječaj /Javna dražba Na zahtjev Javna dražba
		Radiomikrofoni	ERC/REC 70-03		
		IMT	ECC/DEC/(09)03		

Slika 3.1.4. Izvadak iz „Tablice namjene radiofrekvencijskog spektra“ za pojas 790-862 MHz

U „Strategiji prelaska s analognog na digitalno emitiranje televizijskih programa u Republici Hrvatskoj“ koju je Vlada RH donijela 31.7.2008., pojas 790-862 MHz nije zauzet radiodifuzijskim uslugama, Slika 3.1.5. S obzirom da je u Hrvatskoj 5. listopada 2010. završen proces prelaska s analogne na digitalnu radiodifuziju televizijskih programa u zemaljskoj mreži, ovaj pojas postaje raspoloživ za nove elektroničke komunikacijske usluge.

Kanal	21	55	56	60	61	69	70
Radijska frekvencija	470MHz		750MHz		790MHz		860MHz
Vrsta usluge	DVB-T/H		DVB-T		IMT		
MUX A – državni	5×SDTV*						
MUX B – državni	5×SDTV**						
MUX C – državni	raspoloživo: 5×SDTV						
MUX D – regionalni/ državni	1 – 3×SDTV*** + raspoloživo: 2 – 4 SDTV (regionalni/državni)						
MUX E – državni	DVB-H: raspoloživo oko 30 TV programa ili oko 60 radijskih programa						
MUX F – državni/ regionalni	raspoloživo: DVB-T ili DVB-H						
MUX G – regionalni/ državni	raspoloživo: DVB-T ili DVB-H						
MUX H – regionalni	raspoloživo: DVB-T ili DVB-H						

* Namijenjeno za opće i/ili specijalizirane TV programe javne televizije (Hrvatska radiotelevizija)

** Namijenjeno za opće i/ili specijalizirane TV programe komercijalnih nakladnika televizije na državnoj razini

*** Namijenjeno za opće TV programe postojećih komercijalnih nakladnika televizije na razinama nižima od državne razine

Slika 3.1.5. Raspoloživi multipleksi i radiodifuzijske usluge u pojasevima UHF IV/V

3.1.2. Pregled načina uporabe digitalne dividende u europskim zemljama

Pojedine zemlje Europske unije imaju različite poglede na iskorištavanje dijela oslobođenog spektra nakon prelaska s analognog na digitalno televizijsko odašiljanje. Sve veći broj europskih NRA (*National regulatory authorities*) agencija i vlada nastoje osigurati slobodni pojas od 790-862 MHz za mobilne širokopojasne usluge, Slika 3.1.6. U svibnju 2010. godine Europska komisija je izdala skupinu tehničkih pravila za zemlje članice koja definiraju oslobađanje pojasa za navedenu svrhu. Pravila trebaju minimizirati potencijalnu interferenciju

s radiodifuzijskim uslugama na susjednim kanalima te postaviti temelje za tehničko usklađivanje.



Slika 3.1.6. Uporaba digitalne dividende za mobilne komunikacije u Europi

Proces dodjele pojasa 790-862 MHz u nekim zemljama Europske Unije već je započeo ili je najavljen za vrlo skoro razdoblje, a odvija se kroz javnu dražbu koncesija. Cijene pojasa postignute na novim dražbama ne mogu se uspoređivati s onima prije jednog desetljeća, kada su mobilni operatori zakupljivali frekvencijski prostor koji bi im omogućio veće kapacitete za usluge 3G mreža. Razlog tomu je manji broj ponuditelja na dražbama, ali i veća razina opreznosti mobilnih operatora. Uzrok suzdržanosti mobilnih operatora dijelom leži u činjenici da vlade nisu donijele odluku o namjeni drugih frekvencijskih pojaseva.

Rješavanje tehničkih poteškoća zahtjeva suradnju i koordinaciju sa susjednim zemljama. Neke europske zemlje koje nisu članice Europske Unije koriste pojas 790-862 MHz za druge namjene (osim televizijskog odašiljanja) što bi moglo uzrokovati interferenciju s mobilnim širokopojasnim uslugama. Potrebno je što prije dogovoriti zajednički pristup problematici kako bi se što učinkovitije iskoristio ovaj dragocjeni resurs.

Njemačka



Prijelaz na digitalno odašiljanje televizijskog signala u Njemačkoj završen je u 25. studenog 2008. godine, dvije godine ranije nego je planirano, [7]. Gašenje analognog satelitskog i kablenskog odašiljanja planira se do kraja 2012. godine.

Prije uvođenja digitalnog odašiljanja, pojas od 174-216 MHz u VHF-u te pojasevi 470-862 MHz i 863-865 MHz u UHF-u bili su namijenjeni za rad radiomikrofona i za pomoćne usluge u radiodifuziji (engl. *Services Ancillary to Broadcasting/Services Ancillary to Programme making*, SAB/SAP).

Također, za neprofesionalnu uporabu bili su namijenjeni pojasevi 790-814 MHz i 838-862 MHz. Prelaskom na digitalno odašiljanje televizijskog signala u zemaljskoj mreži, uporaba pojasa 790-862 MHz oslobađa se za druge namjene. Odredbama iz 2009. godine uporaba tog područja određena je za širokopojasne mobilne komunikacije kako bi se omogućio širokopojasni pristup Internetu poglavito u ruralnim područjima sa slabijom fiksnom infrastrukturom. Odašiljanje televizijskog signala dopušta se u pojasu 470-790 MHz, s tim da tzv. „bijeli pojasevi“ u tom području služe za rad radijskih mikrofona i za pomoćne usluge u radiodifuziji (SAB/SAP).

Javni nakladnici televizije trenutno koriste tri multipleksa, što privatnima ostavlja samo jedan. Za uslugu DVB-H dodijeljen je jedan multipleks, a uvođenje dodatnih multipleksa za navedenu tehnologiju se ne predviđa u skoroj budućnosti. Usluga digitalnog odašiljanja televizijskog signala omogućena je na kanalima 21-50, dok su kanali 50-60 namijenjeni za neke profesionalne uporabe. Velike, nacionalne mreže koriste SFN, a u slučaju lokalnog odašiljanja primjenjuje se MFN. Usluga DVB-T prenosi se uporabom MPEG-2 kompresije, iako se planira prelazak na H.264/AVC kompresiju. Odašiljanje HDTV signala nije predviđeno pa bi se HDTV programi trebali uključiti u postojeće multiplekse za SDTV.

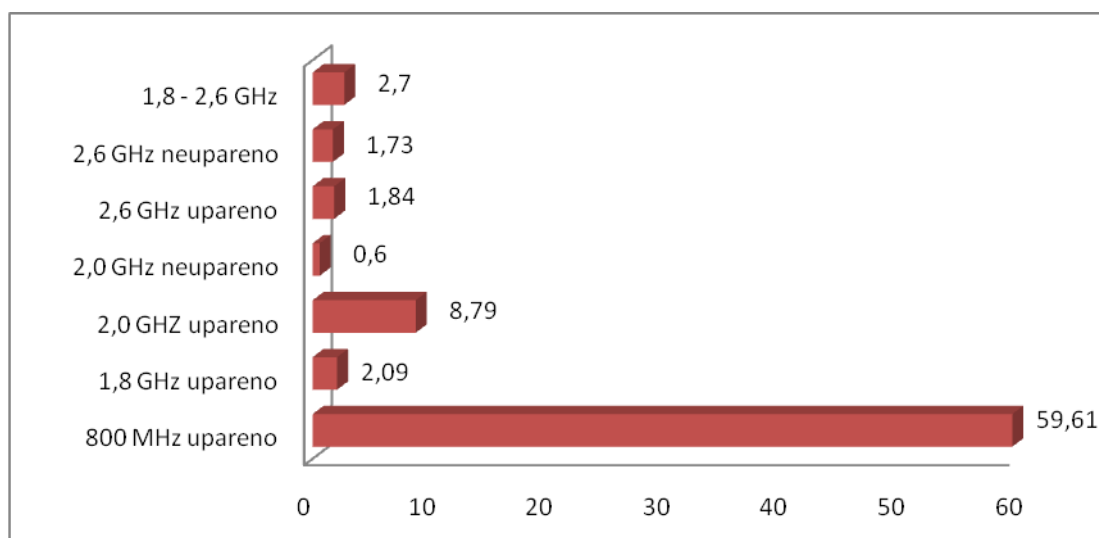
U rujnu 2009. godine, njemački regulator BNA (*Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen*) objavio je uvijete javne dražbe koncesija za pojas namijenjen mobilnim širokopojasnim uslugama, [8]. Javna dražba trajala je od 12. travnja do 20. svibnja 2010. godine, a sudjelovala su četiri ponuditelja (*E-Plus, Telefónica O2 Germany, Telekom Deutschland* i *Vodafone D2*). Osim frekvencijskog područja oko 800 MHz, u dražbu je uključeno još nekoliko pojasa: 1,8 GHz, 2 GHz i 2,6 GHz, Tablica 3.1.1. U pojasu od 800 MHz, koji je privukao najveće zanimanje, ponuđeno je šest uparenih blokova frekvencija širine 5 MHz. Licence su dodijeljene na razdoblje od 15 godina, zaključno s 31. prosincem 2025. godine. Za pojas oko 800 MHz dogovoreni su dodatni uvjeti temeljeni na ECC/DEC/(09)03 te CEPT izvještajima 30 i 31. Jedna od dodatnih odredbi za navedeni pojas uključuje uporabu FDD načina rada, kao i uređenje frekvencijskih blokova.

Tablica 3.1.1. Podjela pojasa na javnoj dražbi

Frekvencijski pojas (GHz)	Upareno	Blokovi	Širina pojasa (MHz)
0,8	Da	6 x (2 x 5 MHz)	60
1,8	Da	5 x (2 x 5 MHz)	50
2,0	Da	4 x (2 x 4,95 MHz)	3,6
2,0	Ne	14,2 MHz + 5 MHz	19,2

2,6	Da	14 x (2 x 5 MHz)	140
2,6	Ne	10 x 5 MHz	50

Javnom dražbom prodane su koncesije za cijelo područje ukupne veličine 358,8 MHz. Koncesije za područje oko 800 MHz veličine 60 MHz prodane su za 3,57 milijardi eura, dok su ostali pojasevi, ukupne veličine 298,8 MHz, prodani za 0,81 milijardu eura. Prema tome, cijena po jednom Hz područja u pojasu od 800 MHz je iznosila oko 59,61 eura, dok je prosječna cijena ostalih pojaseva bila oko 2,7 eura po jednom Hz širine pojasa, Slika 3.1.7.



Slika 3.1.7. Cijena pojasa po 1 Hz širine pojasa (euro/1Hz) u različitim pojasevima

Raspodjela spektra među ponuditeljima je približno ravnomjerna, a najveći dio je zauzeo ponuditelj *Telefónica O2 Germany* s 99,1 MHz, slijede *Telekom Deutschland* (95 MHz) i *Vodafone D2* (94,9 MHz), dok je posljednji *E-Plus* sa 69,8 MHz. Pojas oko 800 MHz ravnopravno je podijeljen na tri ponuditelja *Telefónica O2 Germany*, *Telekom Deutschland* i *Vodafone D2*, a svaki je dobio prostor od 20 MHz.

Švedska



Švedska je bila jedna od prvih država koja je provela prelazak na digitalno odašiljanje televizijskog signala u zemaljskoj mreži, a postupak je završen još 29. listopada 2007. godine. Uvedeno je pet multipleksa u pojasu UHF 470 -862 MHz, a planiralo se uvođenje još dva multipleksa, [7]. Do kraja 2015. godine planiralo se uspostavljanje šestog multipleksa na pojasu 470-790 MHz te, ukoliko bude potrebno, i u pojasu 174-230 MHz (VHF III). Međutim, šesti multipleks uspostavljen je već u prosincu 2009. godine, a to je ujedno i prvi multipleks koji upotrebljava kompresiju H.264/AVC.

Prema odluci WRC-07, još u prosincu 2007. godine određeno je da će se pojas 790 -862 MHz osloboditi za mobilne širokopojasne usluge. Prema tome, pet multipleksa pomaknuto je na

pojas 470-790 MHz, ali planira se dodjela dodatnih frekvencijskih područja. Koristi se kombinacija SFN-a i MFN-a, a na svim multipleksima se planira postepeni prelazak na H.264/AVC kompresiju. U veljači 2010. godine regulator je pokrenuo raspravu o prelasku na tehnologiju DVB-T2, a odašiljanje HDTV signala službeno je pokrenuto 1. studenog 2010. godine.

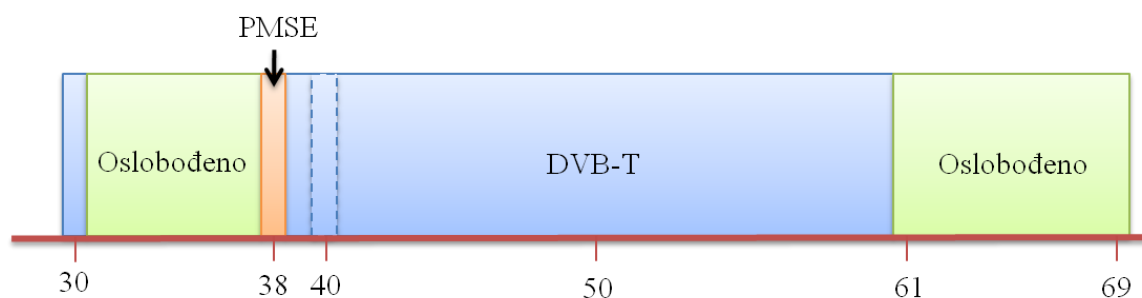
Švedski regulator PTS (*Post & Telestyrelsen*) planira dodjelu koncesija za oslobođeni pojas frekvencija digitalne dividende. Donesena je odluka o podijeli pojasa od 800 MHz na šest dijelova od kojih svaka pokriva blok dva puta po 5 MHz, [9]. Za svaki upareni blok može se dodijeliti posebna koncesija. Frekvencijski blokovi predstavljaju uparene blokove za FDD s tim da je uzlazna veza smještena u bloku u gornjem dijelu pojasa. Trajanje koncesija ograničeno je na 25 godina, a jedan ponuditelj može kupiti najviše dvije koncesije. Ključni uvjet uporabe tih blokova je izbjegavanje stvaranja interferencije koja će smetati odašiljanju digitalnog televizijskog signala. Dana 7. rujna 2010. godine PTS je pozvao na javnu raspravu o uvjetima licenciranja [10], a komentari su primani do 5. listopada 2010. godine. Javna dražba najavljena je za prvu polovicu 2011. godine.

Ujedinjeno Kraljevstvo



Postupak prijelaza na digitalno odašiljanje u Ujedinjenom Kraljevstvu nije još potpuno proveden iako je započeo još 17. listopada 2007. godine. Trenutno oko 80% kućanstava koristi digitalni prijam TV signala, a potpuni prijelaz na digitalno odašiljanje planira se do kraja 2012. Godine, [11].

Osnovnu platformu za isporuku televizijskog signala čini DVB-T uz uporabu šest multipleksa u UHF pojasu (od toga su tri nacionalna i tri lokalna). Nekoliko DAB multipleksa na nacionalnoj i lokalnoj razini radi u pojasu VHF III. Većina mreža radi u MFN načinu, a prijelaz na SFN način rada prepušten je operatorima multipleksa. Uvođenje odašiljanja HDTV programa preko DVB-T2 sustava počelo je 1. prosinca 2009. godine, a planira se potpuno uspostavljanje do kraja 2012. godine.



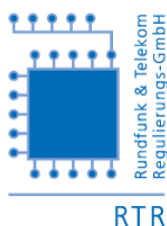
Slika 3.1.8. Reorganizacija namjene frekvencijskih pojaseva u UK

Organizacija Ofcom, regulator u Ujedinjenom Kraljevstvu, razvila je detaljan plan prelaska na digitalno odašiljanje i rano počela s planiranjem dodjele pojasa, [12]. Plan oslobađanja pojasa malo se razlikuje od zaključka WRC-07, ali Ofcom radi na reviziji namjene frekvencija kako bi se usuglasili s ostalim europskim zemljama. Prije prijelaza na digitalno odašiljanje

televizijskog signala u zemaljskoj mreži, za potrebe odašiljanja televizijskog signala koristili su se kanali 21-68 (s dodatnim ograničenjima na kanalima 36 i 38). Prijelazom na digitalno odašiljanje planira se oslobađanje kanala u području oko 800 MHz (točnije 790-862 MHz ili kanali 61- 69) i u području oko 600 MHz (točnije 550-606 MHz ili kanali 31-37), Slika 3.1.8. Tokom 2009. godine oslobođen je kanal 36 (590-598 MHz) namijenjen aeronautičkim radarima. Također se planira oslobađanje kanala 38 (606-614), koji je služio za potrebe radioastronomije. Navedeni kanal preuzeo bi ulogu kanala 69, PMSE (Programme Making & Special Events) kanala koji se tradicionalno koristio za potrebe proizvodnje programa i posebnih događaja. Oslobađanjem navedenih kanala omogućit će se proširenje raspoloživog spektra sa 64 MHz na 80 MHz (kanali 31-40). Ukupni oslobođeni prostor, zajedno s pojasom oko 800 MHz, tada bi imao 128 MHz raspoložive širine pojasa (550-606 MHz i 790-862 MHz).

U listopadu 2010. godine, regulator Ofcom izvijestio je kako provode tehničko ispitivanje da bi procijenili utjecaj interferencije pojasa oko 800 MHz na usluge digitalnog odašiljanja televizijskog signala. U razdoblju od rujna 2010. godine do ožujka 2011. godine planira se provođenje procjene efikasnosti različitih postupaka ublažavanja mogućih interferencija. Početkom 2011. godine predviđa se rasprava o pojasu oko 800 MHz te provođenje javne dražbe koncesija za pojaseve oko 800 MHz i 2,6 GHz početkom 2012. godine.

Austrija



Gašenje analognog odašiljanja televizijskog signala u zemaljskoj mreži u Austriji počelo je u ožujku 2007. godine, a planiran je završetak do kraja 2010. godine, [13]. Uvedena su dva multipleksa sa 7 kanala za nacionalnu namjenu te jedan za potrebe regionalnih i lokalnih programa. Četvrti multipleks rezerviran je za mobilne TV usluge ili DVB-H, a pokriva samo četiri najveća grada u državi. U travnju 2010. godine uvedena su još dva multipleksa za odašiljanje HDTV signala. Većinom se koristi SFN, osim u planinskim područjima gdje se upotrebljava MFN. U svim multipleksima koristi se MPEG-2 kompresija, ali ostavlja se mogućnost prelaska na H.264/AVC. U travnju 2010. godine započelo je ispitivanje DVB-T2 norme na digitalnoj platformi.

Trenutno se koristi pojas 174-216 MHz za radijske mikrofone te pojas od 470-862 MHz za SAB/SAP usluge tj. za komunikacijske usluge potrebne u proizvodnji programa. Nakon prelaska na digitalno odašiljanje korisnicima će ostati nešto manji pojas za SAB/SAP usluge. Početkom 2009. godine odlučeno je da se neće izdavati dozvole za TV odašiljanje u tom pojasu dok se ne donese odluka o namjeni UHF potpojasa. 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.

Dana 27. travnja 2010. godine donesena je odluka o oslobađanju digitalne dividende za uporabu u širokopojasnim mobilnim komunikacijama. Austrijski regulator RTR izdao je studiju o uporabi frekvencijskog pojasa od 800 MHz, koja uključuje 4 scenarija, [14]:

1. uporaba digitalne dividende za potrebe radiodifuzije televizijskog signala,

2. uporaba digitalne dividende za potrebe mobilnog širokopojasnog pristupa Internetu,
3. kombinirana uporaba digitalne dividende za potrebe radiodifuzije televizijskog signala i bežični širokopojasni pristup Internetu,
4. odgađanje odluke.

Najzastupljenija opcija je prepuštanje uporabe digitalne dividende mobilnim operaterima zbog nacionalne konvergencije, snižavanja cijena usluga te većih brzina prijenosa podataka. Oslobođanje digitalne dividende (pojasa 790-862 MHz) planira se krajem 2011. godine ili početkom 2012. godine.

Španjolska



Nakon Ujedinjenog Kraljevstva i Švedske, Španjolska je treća država koja je počela s uvođenjem digitalnog odašiljanja još 2000. godine. Ipak, zbog poteškoća u prelasku s analognog na digitalno odašiljanje, uvođenje je otkazano nakon dvije godine. Novi plan uvođenja digitalnog odašiljanja donijet je 2005. godine, a potpuni prelazak na digitalnu televiziju izveden je do 3. travnja 2010. godine.

Prije prelaska na digitalno odašiljanje postojalo je 9 multipleksa, od kojih se 5 koristilo na nacionalnoj razini, tri lokalno te jedan regionalno, [7]. Nakon prelaska na digitalno odašiljanje omogućena je jednaka pokrivenost signalom kakva je bila kod analognog odašiljanja. Zadržan je jedan regionalni multipleks te 5 nacionalnih, a do siječnja 2015. godine planira se oslobađanje kanala 61-69 i uvođenje dodatnih multipleksa. Konačno stanje trebalo bi uključivati 8 nacionalnih multipleksa i 2 regionalna. Odašiljanje HDTV signala na digitalnoj platformi definirao je u travnju 2010. godine nacrtom „*Royal Decree*“. Na svim multipleksima koristi se MPEG-2 kompresija i DVB-T/DVB-T2 tehnologija.

U siječnju 2010. godine, provedena je rasprava o dodjeli pojasa oko 800 MHz, 1,8 GHz i 2,6 GHz, a sudjelovale su 32 organizacije. Digitalna dividenda namijenjena je mobilnim operaterima te je podijeljena u šest uparenih blokova po 5 MHz (ukupno 60 MHz). Manjak slobodnih frekvencija ispod 1 GHz i dobri uvjeti propagacije elektromagnetskog vala u tim pojasevima bili su ključni u donošenju odluke da se koncesije ograniče na 20 MHz po operatoru kako bi više operatora imalo pristup tom dijelu spektra. Javna dražba bit će održana 2011. godine, a koncesije će vrijediti do 2030. godine.

Francuska



Prilazak na digitalno odašiljanje signala u Francuskoj planira se obaviti do 30. studenoga 2011. godine. Akcijski plan *France numérique 2012* definira provođenje svih aktivnosti. Vlada je u listopadu 2008. godine donijela dokument *Plan de développement de l'économie numérique* u kojem se određuje da se svom stanovništvu mora do kraja 2012. godine pružiti širokopojasni pristup Internetu.

Definirano je šest nacionalnih multipleksa, s tim da je prvi rezerviran za javno odašiljanje, a peti za HDTV signale, [7]. Također je jedan multipleks dodijeljen za potrebe prijenosa mobilnog TV signala. Mreža odašiljača radi na SFN i MFN načinima, a svi multipleksi koriste DVB-T tehnologiju. Pojas VHF III namijenjen je samo za digitalnu radiodifuziju audiosignala. Do studenog 2011. godine planira se odašiljanje HDTV signala za 90% populacije.

Dana 23. prosinca 2008. godine izmijenjen je plan dodijele frekvencija kako bi se oslobodio pojas 790-862 MHz za potrebe mobilnih usluga. U studenom 2010. godine, francuski ministar za industriju, energiju i digitalnu ekonomiju, Eric Besson, najavio je dostupnost licenci za digitalnu dividendu 2011. godine, [15].

Nizozemska



Nizozemska je prva europska zemlja koja je počela s uvođenjem digitalnog odašiljanja, a proces prelaska bio je dosta potpomognut velikom popularnošću kablenskog i satelitskog emitiranja. Prelazak je završen 11. prosinca 2006. godine.

Uspostavljeno je pet multipleksa od kojih je jedan javne namjene, a ostala tri privatne. Svi multipleksi dostupni su na nacionalnoj razini, a jedan multipleks se koristi za mobilnu televiziju, tj. tehnologiju DVB-H. Koristi se SNF te kompresija MPEG-2 za DVB-T i kompresija H.264/AVC za DVB-H. Odašiljanje HDTV signala preko digitalne platforme još se ne provodi, a odluka o uvođenju prepušta se autoriziranim tijelima. Planira se uvođenje još dva multipleksa te oslobađanje dijelova spektra tokom 2011. i 2012. godine, [7].

Nizozemska vlada planira, prema izvještaju „*Strategic Mobile Communications Paper*“, digitalnu dividendu prepustiti mobilnim operatorima na javnoj dražbi koncesija krajem 2011. godine ili početkom 2012. godine. Osim pojasa oko 800 MHz, na dražbi će se ponuditi i frekvencije pojasa oko 900 MHz i 1,8 GHz, a licence će vrijediti do 2030. godine. Blokovi veličine 2x10 MHz rezervirani su za nove operatore u tom pojasu, što uključuje operatore Ziggo i Tele2 Netherlands. Frekvencije digitalne dividende koje će biti ponuđene na dražbi trenutno se koriste za druge potrebe poput radijskih mikrofona. Za takve potrebe ponuđene su nove frekvencije i rješenja pa se očekuje oslobađanje digitalne dividende do 2013. godine.

Švicarska



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Švicarska je započela prelazak na digitalno odašiljanje 24 srpnja 2006. godine, a postupak je završen 26. studenog 2007. Uspostavljen je jedan nacionalni multipleks za DVB-T te četiri dodatna lokalna multipleksa u planinskim područjima, [7]. Jedan nacionalni multipleks rezerviran je za DVB-H usluge, a uspostavljen je 13. svibnja 2008. godine. Svi multipleksi nalaze su u području UHF. Mreže na nacionalnoj razini su SFN vrste, dok su lokalne MFN, ali planira se potpuni prelazak na SFN. Mreže koriste tehnologiju DVB-T i kompresiju MPEG-2, a još se raspravlja o prelasku na

tehnologiju DVB-T2 i kompresiju H.264/AVC. Odašiljanje HDTV signala ne provodi se preko mreža zemaljskih odašiljača nego samo preko satelita.

U studenom 2008. godine donesena je politička odluka o oslobađanju pojasa frekvencija 790-862 MHz za potrebe širokopojsnih mobilnih komunikacija. Međutim, implementacija nije moguća prije 2015. godine. Dana 29. studenog 2010. švicarski regulator objavio je planove javne dražbe frekvencija za potrebe mobilnih komunikacija koja će se održati u prvoj polovici 2011. godine. Javna dražba uključivat će pojas frekvencija oko 800 MHz, ali i pojaseve oko 900 MHz, 1,8 GHz, 2,1 GHz i 2,6 GHz te postojeće GSM i 3G pojaseve (čije licence prestaju 2013. i 2016. godine), [16]. Digitalna dividenda oslobodit će se za uporabu do 1. siječnja 2013. godine. Ponude za dražbu frekvencija mogu se slati do 18. ožujka 2011. godine, a licence se imati valjanost do 31. prosinca 2028. godine.

Finska



U Finskoj je proces prijelaza na digitalno odašiljanje televizijskog signala u zemaljskoj mreži započeo dosta rano pa je analogno odašiljanje ugašeno još u rujnu 2007. godine.

Trenutno se koristi potpuno digitalna platforma na četiri multipleksa u UHF pojasu, od kojih je jedan namijenjen mobilnoj televiziji (DVB-H), [7]. Planira se razvoj još dva multipleksa, po jedan u UHF-u i VHF-u. Svi multipleksi rade na principu MFN načina te koriste MPEG-2 kompresiju. VHF multipleks primarno je namijenjen prijenosu HDTV signala. Ministar transporta i komunikacija najavio je u srpnju 2009. godine da se 31. prosinca započinje s odašiljanjem HDTV signala na digitalnoj platformi.

U lipnju 2008. godine vlada je donijela odluku o uporabi digitalne dividende (odnosno frekvencijskog pojasa 790-862 MHz) za širokopojsne mobilne komunikacije. Međutim, mogućnosti uporabe navedenog pojasa u Finskoj uvelike ovise o Rusiji. Problem predstavlja upotreba kanala 45, 54 te 58-69 za potrebe radionavigacije zrakoplova. Rusija planira prelazak na digitalno odašiljanje (i oslobađanje pojasa oko 800 MHz) tek 2015. godine. Dio slobodnog UHF pojasa koji je namijenjen za mobilne komunikacije preuzeo bi ulogu pružanja usluge SAB/SAP.

Do 2012. godine planira se uvođenje šest nacionalnih multipleksa te jednog regionalnog. Također donesena je odluka o namjeni pojasa 450-470 MHz za pružanje širokopojsnih usluga radi vrlo dobrih mogućnosti primjena za slabo naseljena područja.

Portugal



Portugalska vlada planira prekinuti analogno odašiljanje do 26. travnja 2012. godine. Trenutno je uspostavljeno šest multipleksa, od kojih tri

imaju nacionalno pokrivanje, a tri su lokalne namjene. Nacionalni multipleksi zasnivaju se na SFN načinu rada, DVB-T tehnologiji te H.264/AVC kompresiji. Planiraju se dodatni multipleksi koji će poslužiti za digitalno odašiljanje, ali i mobilnu televiziju (DVB-H). U nekim multipleksima planira se odašiljanje HDTV signala.

U listopadu 2008. godine vođena je rasprava o namjeni digitalne dividende nakon prelaska na digitalno odašiljanje televizijskog signala, [17]. Na raspravi su prevladavala mišljenja da se oslobođeni pojas oko 800 MHz treba dodijeliti za širokopojasne mobilne komunikacije, odašiljanje HDTV signala te mobilnu televiziju. Međutim, odluka o namjeni digitalne dividende ostaje neriješena do potpunog gašenja analognog odašiljanja signala, a predviđa se usklađivanje namjene u skladu s ostalim zemljama članicama Europske Unije.

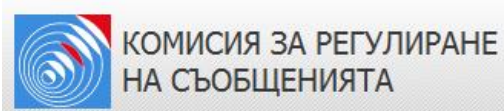
Danska



Prijelaz s analognog na digitalno odašiljanje TV signala obavljen je u Danskoj do 1. studenog 2009. godine, [18]. Postupak je dosta potpomognut velikom zastupljenošću satelitskog i kablenskog prijenosa. Planirano je uvođenje šest multipleksa nakon prelaska na digitalno odašiljanje, ali uspostavljena su samo dva. Jedan multipleks sadrži lokalne i regionalne programe te koristi MPEG-2 kompresiju. Drugi multipleks, kodiran u H.264/AVC formatu, koristi se za odašiljanje HDTV i SDTV signala. Do 2010. godine uspostavljena su još četiri multipleksa od kojih je jedan namijenjen za DVB-H tehnologiju. Razmatra se uvođenje još dva multipleksa čija bi namjena mogla biti prijenos HDTV signala ili širokopojasni pristup Internetu.

Danska vlada donijela je odluku da će pojas 790-862 MHz rezervirati za širokopojasni mobilni pristup Internetu, [19]. Radi se o promjeni ranije odluke kojom je vlada sve frekvencije, (osim 8 MHz digitalne dividende), dodijelila digitalnoj distribuciji video/audiosignala. Frekvencije 823-831 MHz vlada je namijenila za potrebe bežičnih mikrofona. Ipak, navodi se kako promjena odluke neće utjecati na kvalitetu novih digitalnih TV usluga. Ovom odlukom danska vlada uskladila je organizaciju digitalne dividende sa susjednim zemljama Finskom i Švedskom.

Bugarska



Prema planu o uvođenju DVB-T usluge, donesenom 31. siječnja 2008. godine, Bugarska planira potpuno gašenje analognog odašiljanja do 21. prosinca 2012. godine, [7]. Nakon uvođenja digitalnog odašiljanja, bugarski regulator očekuje definiranje 33 multipleksa, od čega bi šest imalo nacionalno pokrivanje, a 27 regionalno. Također očekuju da će do kraja 2012. godine 95-98% populacije biti pokriveno svim nacionalnim multipleksima. Mreže na nacionalnoj razini radit će na MFN principu, a na regionalnoj razini na SFN principu. Planira se uvođenje DVB-T tehnologije s MPEG-2/H.264/AVC kompresijom. Odluka o mobilnoj televiziji i odašiljanju HDTV signala nije još donesena. Bugarska vlada još nije odlučila ni o namjeni oslobođenog spektra digitalne dividende.

Slovenija



Slovenija je prešla na digitalno odašiljanje TV signala 1. prosinca 2010. godine. Nekoliko televizijskih programa i dalje ostaje dostupno na analognim platformama sve do lipnja 2011. godine. Dodijeljene su

dvije koncesije za nacionalne DVB-T multiplekse, kao i za jedan regionalni, [7]. Svi multipleksi zasnivaju se na SFN načinu rada, uz uporabu DVB-T tehnologije i H.264/AVC kompresije. Odašiljanje HDTV signala je u postupku testiranja na području glavnog grada. Prijenos se obavlja na dva kanala UHF pojasa, 26 i 47, a koristi se tehnologija DVB-T.

Odluka o uporabi digitalne dividende još nije donesena, ali plan namjene radiofrekvencijskih frekvencija (*Splošni akt o načrtu uporabe radijskih frekvenc, NURF-1*) definira uporabu pojasa 470-790 MHz za digitalno odašiljanje TV signala. Pojas oko 800 MHz imao bi namjenu za televiziju i mobilne komunikacije.

Slovenija je namijenila pojas 410-430 MHz za:

1. širokopojasni radijski pristup (engl. *Broadband Wireless Access, BWA*),
2. sustave za zaštitu i spašavanje (engl. *Public Protection and Disaster Relief, PPDR*),
3. privatne i javne mobilne radiokomunikacije (engl. *Private Mobile Radio / Public Access Mobile Radio, PMR/PAMR*).

Italija



Italija planira provesti prijelaz na digitalno odašiljanje do 12. prosinca 2012. godine. U srpnju 2010. godine talijanski regulator AgCom odobrio je novi frekvencijski plan gdje je odlučeno

oslobađanje frekvencija za nacionalnu uporabu uz uvođenje novih pet digitalnih multipleksa, [7]. Također planira se oslobađanje frekvencija za lokalnu televiziju, tj. najmanje 65 lokalnih kanala za svaku regiju ili 13 multipleksa. Prema tome, uspostavlja se 16 DVB-T multipleksa, od kojih se osam dodjeljuje postojećim analognim mrežama, a osam operatorima postojećih DVB-T multipleksa. Reorganizacija frekvencija trebala bi dovesti do oslobađanja dijela spektra za širokopojasni mobilni pristup, tj. pet multipleksa planira se osloboditi za digitalnu dividendu. Dodatni multipleks namijenjen je za uslugu mobilne televizije - DVB-H.

Dana 3. kolovoza 2009. godine, AgCom je pokrenuo javne konzultacije o nacrtu regulacije digitalne dividende (Resolution 427/09/CONS). Nacrt je imao namjenu implementacije pravila za oslobađanje digitalne dividende. Također, vodi se rasprava o dodijeli frekvencija telefonskim komunikacijama što se ne slaže s europskim smjernicama. Nakon konačnog odobrenja regulacije pokrenut će se tzv. „beauty contest“, a predviđa se da će se održati do kraja 2011. godine. *Beauty contest* uključuje rangiranje ponuditelja po više kriterija umjesto samo financijskih kriterija. Dopušteno je sudjelovanje stranim operatorima, a svaki može zakupiti koncesije za samo pet multipleksa.

Mađarska



Prelazak na digitalno odašiljanje televizijskog signala u Mađarskoj se planira do 1. siječnja 2012. godine. Određeno je uvođenje pet multipleksa - četiri nacionalna DVB-T multipleksa te jedan namijenjen za DVB-H, [7]. Ipak, do konačnog gašenja analognog odašiljanja raspoložive su samo frekvencije za dva DVB-T i jedan DVB-H multipleks. Licence za te multiplekse izdane su

na razdoblje od 12 godina. Sve mreže radit će u SFN načinu rada uz uporabu H.264/AVC kompresije. Prijenos HDTV signala moguć je na multipleksima na DVB-T platformi.

Trenutno nema slobodnih frekvencija u području 470-790 MHz, a frekvencije 798-814 MHz i 830-846 MHz dodijeljene su za nevladinu uporabu do 2015. godine. Mađarski regulator pokušava slijediti europske smjernice u vezi odluka o digitalnoj dividendi. Ipak se predviđa da to neće biti ostvarivo prije 2015. godine jer neke susjedne zemlje nisu članice Europske unije te će pokušati štititi analogno odašiljanje što je duže moguće.

Mađarska je iskazala zanimanje za usklađivanjem tehničkih uvjeta s ostalim zemljama Europske Unije za učinkovitu uporabu pojasa 790-862 MHz te smanjenje interferencije između odašiljanja televizijskog signala i usluga digitalne dividende.

Rumunjska



Rumunjska planira prestanak rada analognih odašiljača obaviti do 1. siječnja 2012. godine. Donesena je odluka o uspostavljanju šest multipleksa za DVB-T, dva nacionalna i četiri lokalna i regionalna, [7]. Do 30. srpnja 2010. godine uspostavljena su dva multipleksa, a ostala četiri do 31. rujna 2010. godine. Planira se postizanje pokrivenosti do 80% populacije sa svim multipleksima do 31. prosinca 2011. godine. Ipak, analogno odašiljanje u VHF pojasu ostat će dostupno do 2015. godine, a prenosit će se nacionalni, javni programi.

Digitalna dividenda, tj. pojas frekvencija 790-862 MHz, bila je korištena za vojne i vladine potrebe. Nakon potpunog prelaska na digitalno odašiljanje signala, pojas 790-830 MHz namijenio bi se za mobilne komunikacije. Međutim, vode se pregovori da se pojas frekvencija 830-862 MHz ostavi za vladine potrebe.

Dana 30. ožujka 2010. godine Rumunjska je bila domaćin regionalnom susretu, pod nazivom „*Digital Dividend – Challenges and Opportunities in the Region*“, na kojem se raspravljalo o uporabi digitalne dividende u središnjoj i istočnoj Europi. Na susretu je sudjelovalo deset zemalja: Bugarska, Hrvatska, Grčka, Mađarska, Makedonija, Moldavija, Crna Gora, Srbija, Slovenija i Rumunjska. Glavni zaključak susreta je nacrt „*Calendar of the Switchover in the region*“, koji je definirao rokove prelaska na digitalno odašiljanje u regiji.

Češka



U travnju 2008. godine češka vlada donijela je plan TTP (*Technical Transition Plan*) kojim se definira rok potpunog prelaska na digitalno odašiljanje do lipnja 2012. godine. Definira se uvođenje jednog javnog i četiri privatna multipleksa za digitalnu televiziju. Također se planira uvođenje jednog multipleksa za mobilnu televiziju, [7]. Mreže će biti MFN tipa, a planira se uporaba DVB-T tehnologije i MPEG-2 kompresije.

Uporaba digitalne dividende uskladit će se s obukom WRC-07, tj. prepustit će se mobilnim komunikacijskim mrežama. Češki regulator također je održao javnu raspravu o mogućoj

uporabi oslobođenih kanala u pojasu frekvencija 470-862 MHz za nove usluge i odašiljanje HDTV signala. Konačna odluka o digitalnoj dividendi još nije donesena, a predviđa se da neće biti moguća do prelaska s analognog na digitalno odašiljanje.

Poljska



U Poljskoj je gašenje analognog odašiljanja započelo u rujnu 2009. godine, ali konačan prelazak na digitalno odašiljanje očekuje se do 21. srpnja 2013. godine. Planira se uvođenje tri multipleksa, a mreže bi radile na MFN principu rada uz DVB-T tehnologiju i H.264/AVC kompresiju. Također se razmišlja o uvođenju mobilne televizije i odašiljanja HDTV signala, [7].

Digitalna dividenda se trenutno koristi za:

- vojne potrebe zrakoplovne radionavigacije (ARNS),
- licence mobilnih operatora (vrijede do 2018. godine),
- DVB-T odašiljanje u prijelaznom razdoblju implementacije digitalnog odašiljanja.

Poljsko zrakoplovstvo izvještava kako će svi ARNS sustavi prestati s radom do 2017. godine, ali poljski regulator pokušava smanjiti taj rok na 2015. godinu. Također, provode se dodatni pregovori o izmjeni uvjeta licence mobilnog operatora koji posjeduje koncesiju za područje digitalne dividende. Nakon prelaska na digitalno odašiljanje, uporaba digitalne dividende ovisit će uvelike o ruskoj odluci o uporabi tog frekvencijskog područja. Bez dopuštenja iz Rusije i Bjelorusije, Poljska ne može koristiti frekvencije za mobilne usluge (poput LTE i WIMAX).

Slovačka



Slovačka vlada odredila je rok za potpuno gašenje analognog signala do kraja 2012. godine. Strategija uvođenja digitalnog odašiljanja donesena 2001. godine definira pet ili šest multipleksa, [7]. Dva multipleksa namijenjena su nacionalnoj razini, jedan lokalnoj/regionalnoj, dok bi se jedan ili dva multipleksa uspostavila za prijenos HDTV signala i jedan za dodatne podatkovne usluge.

Mreže rade u SFN načinu, iako se planira uvođenje i MFN mreža nakon 2012. godine. Koristi se kombinacija DVB-T i DVB-T2 tehnologije, kao i MPEG-2 i H.264/AVC kompresije.

Slovački komunikacijski regulator, TU SR, održao je javnu raspravu o uporabi digitalne dividende u ožujku 2009. godine. Odlučeno je slijediti nacrt WRC-07 o uporabi digitalne dividende, tj. pojasa 790-862 MHz, za mobilne komunikacije.

Norveška



Proces prelaska na digitalno odašiljanje u Norveškoj počeo je u ožujku 2008. godine, a završen 1. prosinca 2009. godine. Dogovoreno je uvođenje pet multipleksa na pojasu 470-790 MHz. Mreže su SFN i MFN tipa, a koristi se tehnologija DVB-T i kompresija H.264/AVC.

Oslobođene frekvencije tokom prelaska na digitalno odašiljanje Norveška planira uporabiti za mobilne komunikacije, [20]. Raspodjela pojasa obaviti će se preko javne dražbe u drugoj polovici 2012. godine, a trenutno se vodi razmatranje o oslobodenju još nekih dijelova pojasa.

Republika Hrvatska



Vlada Republike Hrvatske prihvatila je strategiju prelaska na digitalno odašiljanje 31. srpnja 2008. godine, gdje se definira potpuno gašenje analognog odašiljanja do 1. siječnja 2011. godine. Proces prelaska planirao se obaviti u dvije faze. U prvoj fazi uvode se dva nacionalna multipleksa, a u drugoj dodatni regionalni multipleksi, kao i multipleksi za DVB-H i HDTV. Proces je uspješno dovršen 5. listopada 2010. godine te je ostvarena pokrivenost od 98% stanovništva prvim multipleksom i oko 95% stanovništva drugim.

Odluka o uporabi oslobođenih frekvencija još nije donešena. Planira se provođenje javne rasprave 2011. godine te usklađivanje postupaka sa susjednim zemljama. Dražba licenci za pojas digitalne dividende očekuje se nakon 2012. godine.

Bosna i Hercegovina



DTT forum izdao je, 2009. godine, dokument „Strategija prelaska s analogne na digitalnu zemaljsku radiodifuziju u frekvencijskim opsezima 174-230 MHz i 470-862 MHz u Bosni i Hercegovini“. U navedenom dokumentu definira se rok potpunog gašenja analognog odašiljanja televizijskog signala za 31. prosinca 2011. godine.

Bosna i Hercegovina ima na raspolaganju osam nacionalnih multipleksa i dva dodatna multipleksa za lokalno pokrivanje. Tokom prijelaza na digitalno odašiljanje planira se uvođenje dva multipleksa na nacionalnoj razini koji bi koristili kompresiju H.264/AVC i DVB-T tehnologiju. Nacionalne mreže radit će kao SFN mreže.

Odluka o namjeni oslobođenih frekvencija, kao i iskorištavanju digitalne dividende, nije još donešena. Ipak, navodi se kako bi one mogle biti iskorištene za neke nove usluge, mobilne komunikacije ili poboljšanje pokrivenosti digitalnim signalom.

Srbija



Godine 2009. donesena je Strategija i akcijski plan za prijelaz s analognog na digitalno odašiljanje radio i televizijskog programa u Republici Srbiji u kojoj je odlučeno da će se do 4. travnja 2012. godine obaviti prelazak s analognog na digitalno odašiljanje. Kanali 61-69 neće se koristiti za digitalnu radiodifuziju kako bi se oslobodili za korištenje u okviru digitalne dividende.

Srpski regulator odlučio je koristiti H.264/AVC kompresiju i DVB-T2 tehnologiju za digitalno odašiljanje. U procesu gašenja analognog odašiljanja predviđa se oslobađanje širine pojasa 120 MHz. Nakon završetka tog procesa donijet će se odluka o uporabi oslobođenog

pojasa u skladu s potrebama za nove usluge poput odašiljanja HDTV signala, mobilne televizije i sl. Predviđa se namjena digitalne dividende za širokopojasne mobilne komunikacije.

U travnju 2010. godine Europska unija odobrila je sredstva za potporu prelaska na digitalno odašiljanje za Srbiju. Potpora je u obliku pružanja DTT opreme i tehničke pomoći.

Crna Gora



Dokument „Strategija prelaska sa analognih na digitalne radio-difuzne sisteme u Crnoj Gori“ donesen je 2008. godine. U njemu se predviđa prestanak analognog odašiljanja analognog signala do 31. prosinca 2012. godine. Odlučeno je da će se koristiti kompresija H.264/AVC, ali nisu iznijeti nikakvi planovi u vezi digitalne dividende.

Europska unija osigurat će dio sredstava za ubrzanje prelaska na digitalno odašiljanje u obliku potrebne opreme i podrške za uvođenje.

Literatura

[1] ITU - WRC Final Acts - WRC-07, Geneva, 2007.

[2] ITU - Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06), Geneva, 2006.

[3] European Commission, Information Society and Media Directorate-General, Consultation document - Transforming the digital dividend opportunity into social benefits and economic growth in Europe, 2009.

[4] ECC/DEC/(09)03, Harmonised conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) in the band 790-862 MHz, 2009.

[5] CEPT Report 030: Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate on “The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 - 862 MHz for the digital dividend in the European Union”, 2009.

[6] CEPT Report 31: Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate on “Technical considerations regarding harmonisation options for the digital dividend in the European Union”, “Frequency (channelling) arrangements for the 790-862 MHz band”, 2009.

[7] http://www.dvb.org/about_dvb/dvb_worldwide/

[8]

http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1911/EN/Areas/Telecommunications/TelecomsRegulation/FrequencyManagement/Broadcasting/broadcasting_node.html

- [9] <http://www.pts.se/en-gb/Industry/Radio/Autctions/Licences-in-800-MHz-band/>
- [10] <http://www.pts.se/en-gb/Documents/Consultations/200/Public-consultation-on-draft-auction-rules/>
- [11] <http://stakeholders.ofcom.org.uk/market-data-research/tv-research/dtv/dtu-q2-2010/>
- [12] <http://stakeholders.ofcom.org.uk/consultations/800mhz/>
- [13] http://www.mtid.gov.rs/upload/documents/Ministarska_Konferencija2/2010-06-16-Zlabinger-DD-Belgrade.pdf
- [14] http://www.rtr.at/de/komp/DigitaleDividende/DigitaleDividende_Studie.pdf
- [15] <http://www.gomonews.com/digital-dividend-france-is-paving-the-way-for-harmonised-decisions-across-europe-says-analysys-mason/>
- [16] <http://www.telecompaper.com/news/switzerland-to-auction-mobile-licences-in-h1-2011>
- [17] <http://www.anacom.pt/render.jsp?contentId=969245>
- [18] <http://www.arma.org.ro/admin/uploads/assets/535fd64b63853820c746.pdf>
- [19] <http://www.amta.org.au/articles/amta/Denmark.allocates.digital.dividend.spectrum.to.mobile.Russia.reviews.position>
- [20] <http://www.npt.no/ikbViewer/Content/Stein-Gudbgjorgsrud-Teleplan.pdf?documentID=50381>

3.2. Analiza tehničkih karakteristika i problema interferencije s analognom difuzijom te usklađivanje RF spektra sa susjednim zemljama

3.2.1. Problematika koegzistencije analognog i digitalnog odašiljanja

Iako je tranzicijski period prelaska emitiranja TV programa s analognih na digitalne sustave na svjetskoj razini određen do kraja 2015 godine, preporuke Europske komisije su da se prijelaz ostvari do kraja 2012 godine. Trenutno, većina zemalja već je prešla na digitalno emitiranje televizijskog i radio signala. Hrvatska je to učinila do kraja 2010 godine, i time stvorila preduvjete za raspoloživost tzv. digitalne dividende, odnosno spektra koji bi mogao biti upotrijebljen i za druge usluge osim digitalne televizije. Problem u maksimalnom korištenju spektralnog područja TV difuzije nalazi se u činjenici da su planovi dvaju susjednih zemalja (Srbije i Bosne i Hercegovine) prijeći na digitalno emitiranje tek 2012 godine. Stoga je u tom razdoblju, u slučaju potrebe za potpunim iskorištenjem spektra, prigodom planiranja uzeti u obzir spektralne maske i aktivnosti odašiljača u susjednim zemljama koji još uvijek rade koristeći analogne sustave. Korištenjem alata za planiranje sustava odašiljača koje posjeduje HAKOM, te eventualno kombiniranje s alatom SEAMCAT, besplatno dostupnim

alatom Europskog komunikacijskog ureda, može se doći do podataka o načinima optimalne utilizacije u ovom prijelaznom periodu.

3.2.2. Problematika učestalih smetnji iz susjednih zemalja

Svjedoci smo [1] smetnji koje se iz susjednih zemalja protivno međunarodnim sporazumima i ITU-R propisima emitiraju blizu granice s Republikom Hrvatskom, i uzrokuju interferenciju sa signalom digitalne televizije. Ovakve smetnje bile su prisutne i u prošlosti, kada su se teško mogle izbjeći zbog zauzetosti spektra analogne televizije. Danas je donekle moguće privremeno izbjeći nepokrivenost pojedinih teritorijalnih dijelova (Istre, Dalmacije) TV signalom uzrokovanu interferencijama, i to prelaskom na rad u alternativni multipleks, jer je zahvaljujući uvođenju digitalne televizije oslobođen je dio spektra. Dugoročno, oslobođeni dio spektra, spektralna dividenda, naći će svoju uporabu, bilo kroz dodjelu mobilnim uslugama, kao što se trenutno očekuje, bilo kroz neke druge primjene. U tom slučaju, svaka protupropisna smetnja bit će nerješiv problem pokrivanja signalom, kao što je to bilo i u doba analogne televizije.

Valja imati na umu da su regulacije ITU-R, s obzirom na međunarodno pravo, karaktera i težine međudržavnih ugovora, pa je stoga ne poštovanje tih preporuka vid agresije jedne susjedne zemlje na drugu, doduše bez oružja i ljudskih žrtava. Kako same odredbe ITU-R preporuka nisu definirale kaznene odredbe za njihovo nepoštivanje, ovi slučajevi smetnji donekle su u pravnom vakuumu, te se uobičajeno traže rješenja putem prijave smetnji administraciji susjedne zemlje, reagiranje diplomatskim kanalima preko ministarstava vanjskih poslova i slično. Na žalost, ovi su postupci uglavnom u prošlosti nisu polučili vrlo mali uspjeh.

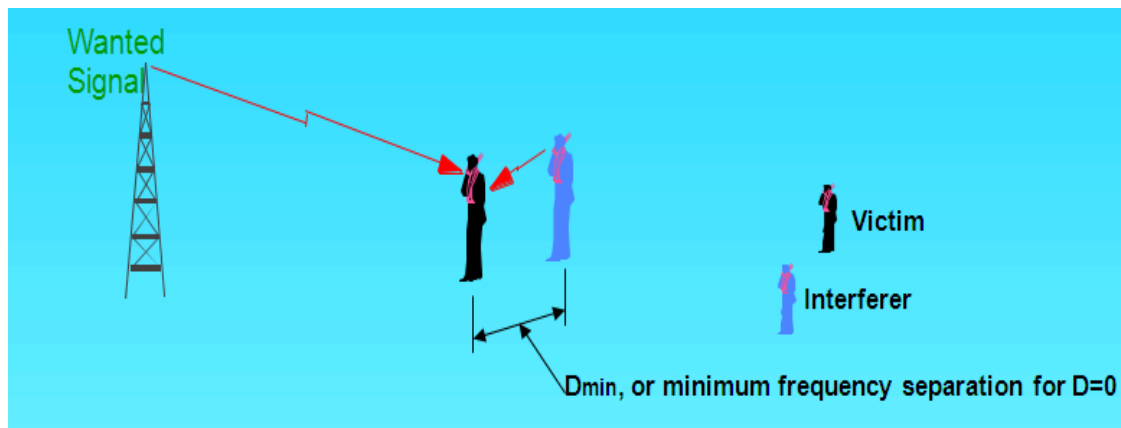
Stoga bi u sljedećem razdoblju valjalo razmotriti koje je još mjere moguće upotrijebiti. Povuku li se paralele s vojnom agresijom, suverene države imaju pravo zaštititi se istom mjerom – vojnom silom. Je li konačno rješenje instalacija vlastitih odašiljača-smetala, kako bi se nelegalnom smetajućem odašiljaču na susjednom teritoriju prouzročila interferencija na njegovom ciljanom području emitiranja, i time ga se učinilo besmislenim troškom i prisililo na gašenje? Ova bi mjera samoobrane trebala biti prisutna kao zadnja raspoloživa mjera, no ona trenutno nije predviđena u niti jednom legislativnom aktu Republike Hrvatske.

Bilo bi poželjno pokrenuti inicijativu da se zakonski propiše postupak po kojem bi se djelovalo nakon što se iscrpe sve mjere izbjegavanja smetnji propisani ITU-R preporukama. Taj postupak bi vjerojatno uključivao opisano započinjanje protusmetnje, pa bi također bilo potrebno propisati u čijoj bi se to nadležnosti (npr. HAKOM-a, MUP-a, HV-a ili Odašiljača i Veza) nalazilo. U svakom slučaju, s obzirom da se ovaj problem javljao u prošlosti, i javlja se u sadašnjosti, potrebno je posvetiti mu vrlo konkretnu pažnju i pokrenuti javnu raspravu o modelu postupanja.

3.2.3. Korištenje alata SEAMCAT u planiranju izbjegavanja smetnji

Za izbjegavanje smetnji i radiofrekvencijsko planiranje, radio odjel Europskog komunikacijskog ureda (engl. *European Communications Office*, ECO) razvio je i razvija svima dostupan softverski alat SEAMCAT [2] – *Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool* (Napredni alat za radiofrekvencijski spektar korištenjem Monte Carlo analize). Ovaj alat omogućuje statističko modeliranje različitih scenarija radio smetnji za provođenje studija istovremenog rada i kompatibilnosti između radiokomunikacijskih sustava u istom ili u susjednim frekvencijskim pojasevima.

Radijski spektar je ograničen i može se optimalno koristiti jedino ako je osigurana kompatibilnost između radiokomunikacijskih sustava koji rade u istom ili susjednom frekvencijskom pojasu. Na primjer, važan kriterij za kompatibilnost je odnos između željenog i neželjene razine signala u nečijem ulaznom prijamniku (prijamnik-žrtva). Ovaj parametar se koristi za uspostavljanje minimalne dozvoljene udaljenosti između žrtve i interferirajućeg sustava ili poslužitelja u nekom zemljopisnom području ili u frekvencijskoj domeni. Razmatrajući samo susjedne pojaseve, najznačajniji mehanizmi interferiranja su neželjene emisije iz odašiljača kao i blokiranje i intermodulacija u žrtvinom prijamniku. Klasični pristup za procjenu ovih mehanizama interferencije je MCL metoda (*Minimum Coupling Loss*) ilustrirana na Slici 3.2.1., ali pokazalo se da je ona prekruta i u mnogo slučajeva preteška za implementaciju. Zato je napravljen statistički simulacijski model baziran na Monte-Carlo metodi, SEAMCAT (Slika 3.2.2.). Ovaj model i softverska implementacija koja ga podupire omogućuju brzo, ali pouzdano razmatranje prostornih i vremenskih distribucija (raspodjela) primljenih signala i rezultirajuće statističke vjerojatnosti interferencije u mnoštvu mogućih scenarija.



Slika 3.2.1. Princip MCL metode

Monte -Carlo simulacijska metoda se temelji na principu uzimanja uzoraka slučajnih varijabli koristeći funkciju vjerojatnosti njihove gustoće (radi jednostavnosti nazvane „raspodjele“ u okolišu SEAMCAT-a). Korisnik prvo definira raspodjelu mogućih vrijednosti parametara razmatranih radiokomunikacijskih sustava (antena, visine, snaga, operativne frekvencije, pozicije primopredajnika i tako dalje). Nakon toga, SEAMCAT koristi ove raspodjele kako bi generirao slučajne uzorke (engl. *snapshots*) odgovarajuće unesenim parametrima. Za svaki slučajni uzorak, SEAMCAT izračunava snagu interferencije i snagu željenog signala i izračunate vrijednosti pohranjuje u podatkovna polja. Kao konačan korak, SEAMCAT izvodi

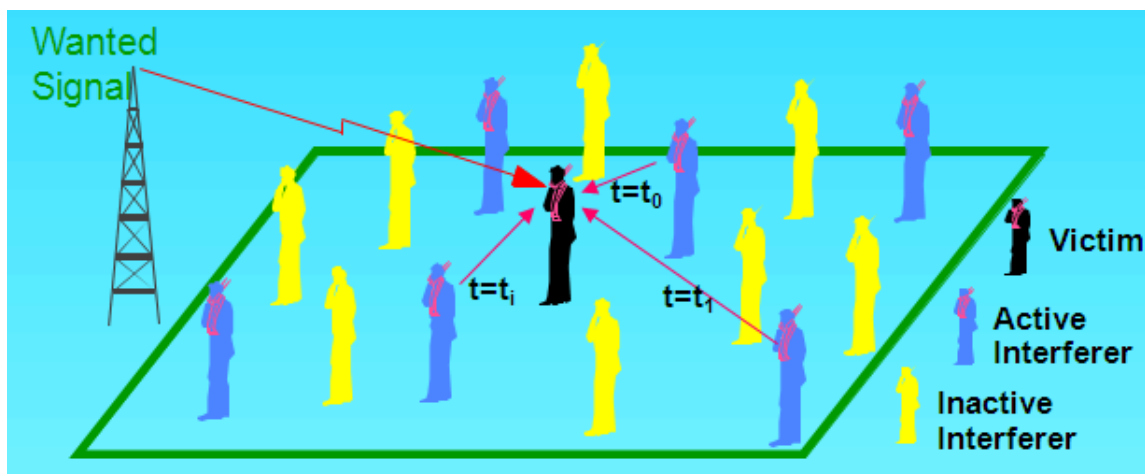
vjerojatnost interferencije, uspoređujući odnose željenog i neželjenog signala u žrtvinom prijamniku, za svaki slučajni uzorak. Za CDMA (*Code Division Multiple Access*) simulaciju, generiranje slučajnih uzoraka uključuje dodatnu kompleksnost.

Općenito, SEAMCAT se može koristiti za rješavanje sljedećih inženjerskih problema:

- Za obavljanje studija istovremenog rada i kompatibilnosti između radiokomunikacijskih sustava u istom ili u susjednim frekvencijskim pojasevima;
- Za procjenu odašiljačke i prijamnikove maske;
- Za procjenu limita određenih parametara sustava, kao što su neželjena emisija, blokiranje i limiti razine intermodulacijska.

Koristeći SEAMCAT mogu se modulariti različite radiokomunikacijske službe, kao što su:

- Mobilne službe;
- Fiksne službe;
- Radiodifuzijske usluge.



Slika 3.2.2. Princip Monte-Carlo metode

Literatura

[1] Večernji list: Talijani pojačali „upad“ u hrvatske frekvencije, Istra bez TV programa, 4.1.2011., <http://www.vecernji.hr/biznis/talijani-pojacali-upad-hrvatske-frekvencije-istra-bez-tv-programa-clanak-235210>

[2] <http://www.ero.dk/SEAMCAT>

<http://www.seamcat.org/>

3.3. Aukcijski mehanizmi za raspodjelu elektromagnetskog spektra

Raspodjela elektromagnetskog spektra u početku se odvijala na četiri načina [1]: pomoću komparativne usporedbe (administrativni proces čiji popularniji naziv je natjecanje ljepote, engl. *beauty contest*), pomoću lutrije, prema redoslijedu pristizanja zahtjeva (engl. *first come first served*) te pomoću aukcija. Do kraja 90-ih godina 20. stoljeća koristile su se prve tri metode, a nakon toga kreće pojačana upotreba aukcija [2, 3]. Kako se lutrije i raspodjela prema redoslijedu pristizanja više ne koriste u nastavku će biti objašnjena preostala dva načina za raspodjelu spektra.

3.3.1. Zahtjevi pri raspodjeli spektra

Neovisno o metodi koja se koristi za raspodjelu resursa, država ima određene zahtjeve koje je potrebno uzeti u obzir [4]. Oni uključuju efikasnu raspodjelu spektra te efikasno korištenje spektra, transparentnost pri dodjeli licenci te izostanak diskriminacije između ponuđača kao i stvaranje uvjeta za tržišno natjecanje.

Učinkovita raspodjela podrazumijeva Pareto efikasnost što znači da se licence dodjeljuju onim ponuđačima kojima one najviše vrijede, a vrijednost licence ponuđaču predstavljena je povratom ulaganja koje ponuđač očekuje ukoliko mu se dodijeli licenca [5]. Učinkovito korištenje spektra usko je povezano s efikasnom raspodjelom spektra jer ponuđač kojemu spektar najviše vrijedi nastojat će ga efikasnije i iskoristiti.

Stvaranje uvjeta za tržišno natjecanje znatno ovisi o broju licenci koje se dodjeljuju pri čemu država treba odlučiti koliko se licenci prodaje simultano te da li ponuđačima treba dati do znanja da neće biti postavljanja ograničenja na broj licenci koje će biti izdane. Drugim riječima, ukoliko se razvojem novih tehnologija ili oslobađanjem postojećeg spektra javi potreba za novim licencama, iste će biti dostupne (novim) sudionicima na tržištu.

Ostali zahtjevi koji se mogu uzimati u obzir pri raspodjeli spektra su geografske udaljenosti i gustoća naseljenosti područja za koje se dodjeljuje spektar te rokovi puštanja u uporabu mreže i/ili određenih usluga za koje je spektar potreban.

3.3.2. Metode za raspodjelu spektra

Aukcije u raspodjeli spektra korištene su prvi puta u Novom Zelandu [6], nakon čega su ih usvojile Australija i Sjedinjene Američke Države [7,8]. S druge strane, u Europi su aukcije i komparativna usporedba bile podjednako zastupljene u raspodjeli spektra i dodjeli licenci za treću generaciju mreža [9,10].

Između aukcija i komparativne usporedbe postoje znatne razlike, ali i određene sličnosti [11]. Glavna razlika je u postavljanju naglaska na mehanizam za određivanje cijene pa je tako kompetitivno natjecanje središnji dio aukcije [8], ali ne i kompetitivne usporedbe. U aukciji se korištenjem dobro definiranih ekonomskih principa ponuđači natječu oko cijene po kojoj žele otkupiti licencu za korištenje spektra [7] dok u komparativnoj usporedbi cijenu i način raspodjele određuje povjerenstvo koje tijekom zatvorenog postupka evaluacije pruža subjektivnu ocjenu raspodjele spektra. Komparativna usporedba nema takvu teoretsku

podlogu kao aukcije jer se temelji na subjektivnim procjenama, ali je korektna prema ponuđačima jer koristi iste kriterije za evaluaciju svih ponuda. Kriterija obično ima više te se određuju težinski faktori za svaki pojedini kriterij te povjerenstvo donosi odluku na temelju procjene koja ponuda ima najbolju kombinaciju navedenih kriterija [12]. Razlika između aukcija i komparativne usporedbe nije tako velika kao što se na prvi pogled čini pa tako ponuđači moraju ispuniti određene kriterije kako bi mogli sudjelovati u aukciji dok u komparativnoj usporedbi cijena može biti jedan od kriterija odlučivanja.

Raspodjela spektra pomoću aukcija

Ponuđači u aukcijama kroz svoje ponude otkrivaju predviđanja o prihodima koja očekuju od korištenja spektra za koji se natječu. Ukoliko je aukcija dobro dizajnirana dat će dobar poredak ponuđača čime će osigurati da licence dobiju najkompetitivniji ponuđači [13]. Aukcije su, zahvaljujući skupu dobro definiranih pravila, transparentne i pogodne za izbjegavanje korupcije jer između ostalog se ne oslanjaju na angažiranje tehničkih i financijskih stručnjaka čiji je zadatak identificirati najboljeg ponuđača. Kako je cilj aukcije maksimizirati prihode, upotrebom aukcije profitira država i društvo.

Aukcije imaju i svojih negativnih strana [2, 14]. Ukoliko je cijena licence previsoka [15, 16] može doći do obeshrabrivanja od sudjelovanja u aukciji, favoriziranja financijski bolje stojećih ponuđača, usporavanja postizanja efikasne upotrebe spektra, kašnjenja pri puštanju nove mreže i/ili određenih usluga u uporabu, smanjenja investicija u razvoj/poboljšanje mreže/usluga, povećanje cijena usluga koje se pružaju korisnicima [17].

Raspodjela spektra pomoću komparativne usporedbe

Komparativna usporedba može biti strukturirana na više načina. Učestali postupak je postaviti cijenu licence te odrediti ostale kriterije za donošenje odluke. Pa tako ponuđači u svojim ponudama navode planove razvoja i puštanja mreže/usluga u upotrebu te njihove očekivane razine kvalitete, tehnologije koje će pri tome koristiti te geografsku pokrivenost signalom i broje korisnika kojima će mreža/usluga biti dostupna. Prednost komparativne usporedbe je u jednakosti prema svim ponuđačima, činjenica da predviđanja budućeg korištenja ne igraju glavnu ulogu pri donošenju odluke o dodjeli licence te fiksna cijena licence čijim postavljanjem na dovoljno nisku razinu se može omogućiti postizanje određenog cilja poput nacionalne pokrivenosti, brži razvoj mreže, osiguravanje prihvatljivih cijena za građanstvo.

Negativne strane komparativne usporedbe uključuju obvezu ponuđača da otkriju svoje privatne informacije ili da se obvežu na investiranje u infrastrukturu i/ili pružanje najnižih cijena u slučaju dodjele licence. Kako povjerenstvo za dodjelu licenci tijekom zatvorenog postupka evaluacije pruža subjektivnu ocjenu raspodjele spektra komparativna usporedba podložna je žalbama s obzirom da je izbor ponekad teško obrazložiti jer uključuje mnoštvo kriterija te je samim time predstavlja određeni rizik zbog mogućnosti pojave korupcije [18].

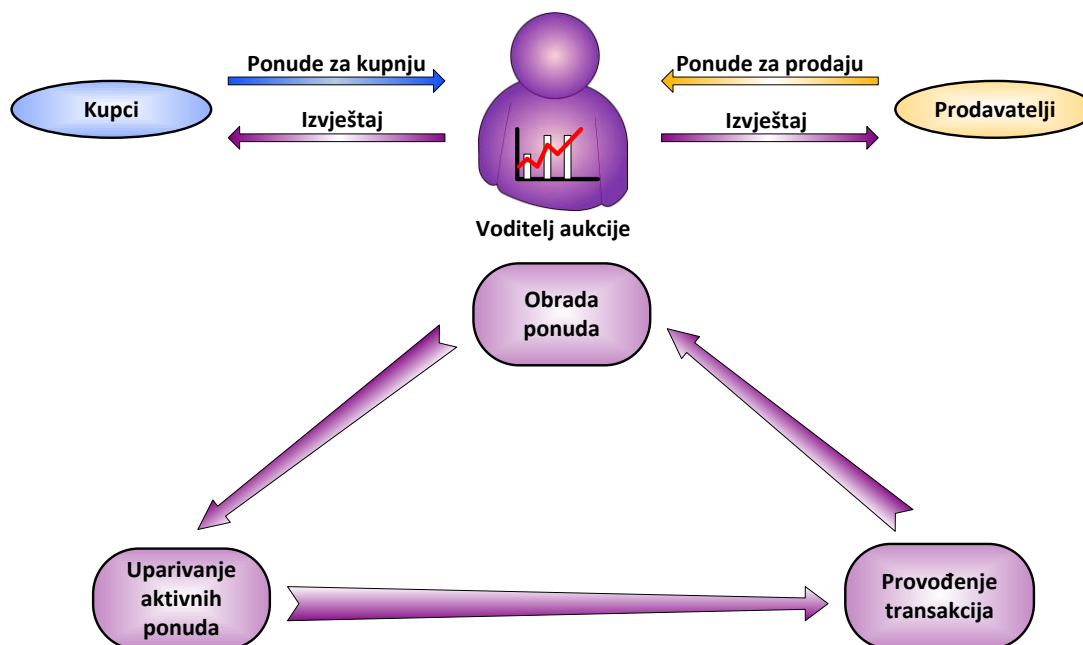
3.3.3. Aukcije

Veza između umjetne inteligencije (engl. *Artificial Intelligence*, AI) i ekonomije u zadnje vrijeme privlači sve više pažnje jer se razni mehanizmi umjetne inteligencije koriste za

raspodjelu resursa što se smatra jednom od temeljnih zadaća ekonomije. Tako aukcije predstavljaju okosnicu višedisciplinarnih istraživanja jer su jedan od osnovnih mehanizama pomoću kojega razni ekonomski sustavi određuju raspored resursa, a prema Herodotovim zapisima koristile su se i 500 godina prije Krista [19].

Prema definiciji, aukcija je tržišna institucija koja djeluje u skladu s unaprijed definiranim skupom pravila pomoću kojih se računa najpoželjniji ekonomski ishod društvenih interakcija [20]. Zahvaljujući tom dobro definiranom skupu pravila, aukcije su prikladan mehanizam za realizaciju faze pregovaranja u transakcijskom modelu elektroničkog trgovanja sadržajem. Slika 3.3.1. prikazuje entitete koji sudjeluju u aukciji te temeljne aktivnosti koje se odvijaju u pojedinoj aukciji [21]. Sudionici aukcije su trgovci (engl. *traders*) koji ovisno o porukama koje šalju mogu imati ulogu kupca (engl. *buyer*) ili prodavača (engl. *seller*). Kupci šalju ponude za kupnju (engl. *bid*) nekog proizvoda ili usluge, dok prodavači šalju ponude za prodaju (engl. *ask*) tog istog proizvoda ili usluge. Na temelju primljenih ponuda voditelj aukcije (engl. *auctioneer*) određuje raspodjelu resursa (proizvodi, usluge, novac).

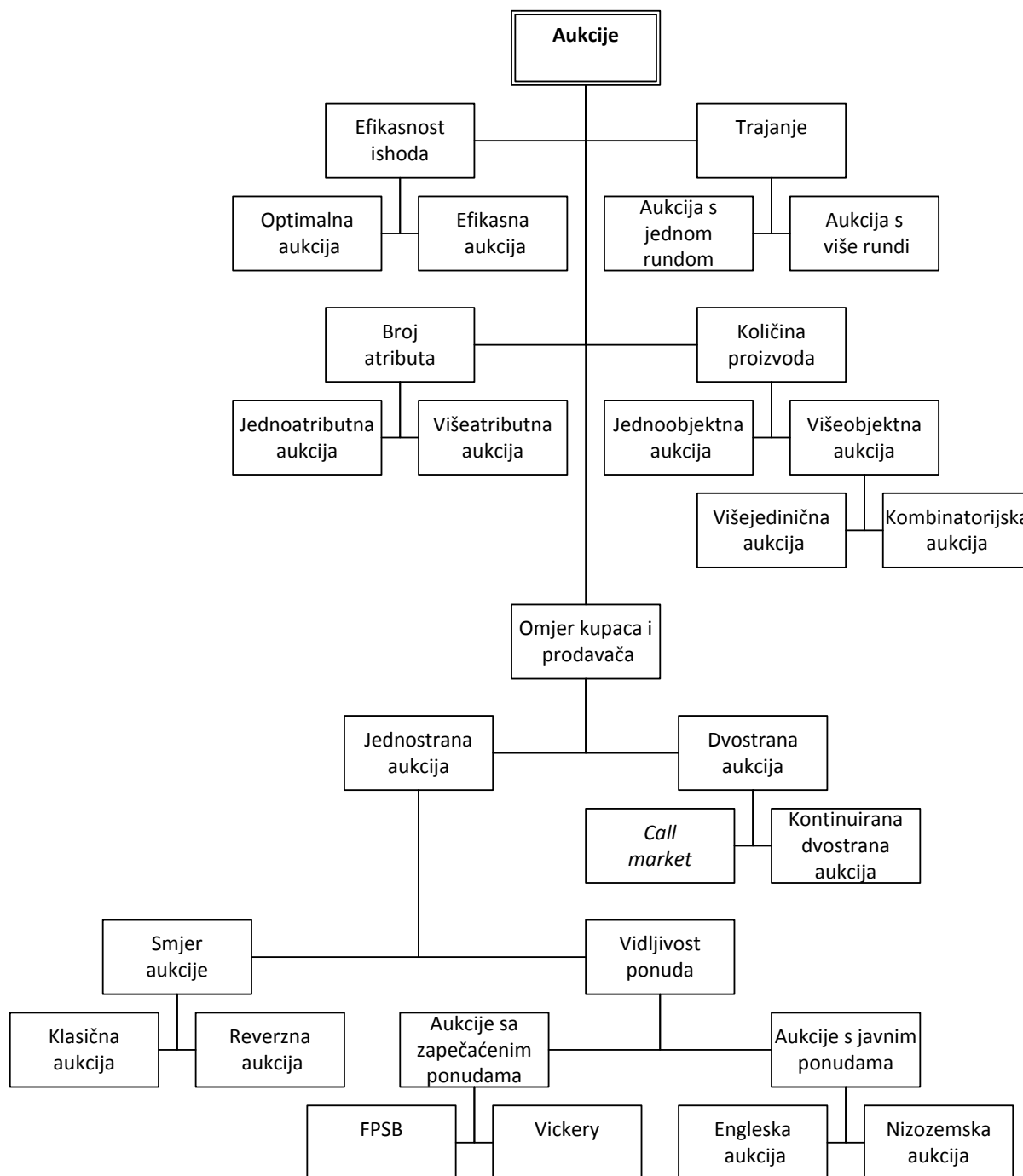
Aukcije razlikujemo prema načinu na koji obavljaju tri temeljne aktivnosti [22]. Prva aktivnost uključuje primanje i obradu ponuda za kupnju ili prodaju. Valjane poruke uključuju se u skup aktivnih ponuda te se provodi uparivanje aktivnih ponuda. Druga, a ujedno i najvažnija, aktivnost odnosi se na provođenje transakcije (engl. *clearing*). Posebno definiranim pravilima određuje se cijena po kojoj se provodi transakcija između uparenih ponuda za kupnju i prodaju. Treća aktivnost provodi se u većini aukcija, a tiče se slanja izvještaja s informacijama o statusu aktivnih ponuda u toku trgovanja.



Slika 3.3.1. Sudionici i temeljne aktivnosti aukcije

Postoji veliki broj raznih vrsta aukcija pa ih tako možemo razlikovati prema broju trgovaca koji sudjeluju u aukciji te prema raznim drugim svojstvima od kojih su samo neka broj rundi, vidljivost ponuda, trajanje i količina proizvoda koji se prodaju. Na Slici 3.3.2. prikazana je

moгуća klasifikacija aukcija prema navedenim svojstvima. Ovisno o broju rundi od kojih se sastoje, aukcije možemo podijeliti na aukcije s jednom rundom (engl. *One-shot auctions*) te aukcije s više rundi (engl. *Repeated auctions*). Višeatributne aukcije (engl. *Multi-attribute auctions*) proširenje su klasične teorije o aukcijama [23], a omogućavaju trgovanje proizvodima i uslugama kod koji je potrebno pregovarati o više atributa, a ne samo o cijeni kao što je to slučaj u jednoatributnim aukcijama. Prema količini proizvoda/usluga koji se prodaju u pojedinoj aukciji razlikujemo jednoobjektne (engl. *Single-object auctions*) i višeobjektne aukcije (engl. *Multi-object auctions*) koje se pak dijele na višejedinične aukcije (engl. *Multi-item auctions*) u kojima se prodaje više komada istog (najčešće standardiziranog) proizvoda te kombinatorijske aukcije (engl. *Combinatorial auctions*) u kojima se trguje kombinacijom više različitih proizvoda [24].



Slika 3.3.2. Klasifikacija aukcija

Aukcije su jednostrane (engl. *Single-sided auctions*) ukoliko je dozvoljeno slanje samo ponuda za prodaju ili samo ponuda za kupnju, dok je u dvostranim aukcijama (engl. *Double auctions*) dozvoljeno slanje obje vrste ponuda. Pri spomenju pojma aukcija najčešće se podrazumijevaju klasične jednostrane aukcije u kojima sudjeluje jedan prodavač i više potencijalnih kupaca. Njima suprotne su reverzne aukcije (engl. *Reverse auctions*), vrsta jednostranih aukcija u kojima sudjeluje jedan kupac i više prodavača. Ovisno o vidljivosti ponuda tijekom aukcije razlikujemo aukcije s javnim ponudama (engl. *Open-cry auctions*) i aukcije sa zapečaćenim ponudama (engl. *Seal-bid auctions*).

Poznatije vrste aukcija s javnim ponudama su engleska i nizozemska aukcija od jednostranih aukcija te call market od dvostranih aukcija. Aukcija sa zapečaćenim ponudama i plaćanjem najviše ponuđene cijene (engl. *First-price seal-bid*, FPSB) i Vickery aukcija koja se još naziva i aukcija sa zapečaćenim ponudama i plaćanjem druge najviše ponuđene cijene (engl. *Second-price seal-bid*, SPSB) te kontinuirana dvostrana aukcija (engl. *Continuous Double Auction*, CDA) poznatije vrste aukcija sa zapečaćenim ponudama.

Postoje dva smjera dizajniranja aukcija kada se gleda efikasnost ishoda pa tako razlikujemo efikasne i optimalne aukcije. Cilj efikasnih aukcija je maksimizirati efikasnost raspodjele (engl. *allocative efficiency*) te podijeliti suvišak (engl. *surplus*) koji je u aukciji nastao između voditelja aukcije i trgovaca. Drugim riječima, aukcija je efikasna ukoliko je pobjednik aukcije onaj trgovac kojemu predmet trgovanja najviše vrijedi. S druge strane, optimalne aukcije orijentirane su na maksimiziranje prihoda trgovca prodavača (u klasičnoj aukciji) ili očekivane korisnosti trgovca kupca (ukoliko je aukcija reverzna) [25].

Aukciju možemo promatrati i kao igru u kojoj se sudionici ponašaju strateški, a njihovo ponašanje te sam ishod igre proučava teorija igara (engl. *game theory*) [26, 27]. Odabir strategije koja određuje ponašanje trgovaca u igri ovisi o količini informacija koje pojedini trgovac posjeduje, a koje se odnose na detalje o ostalim trgovcima koji sudjeluju u igri. Ukoliko svi trgovci simultano odabiru strategije radi se o statičkim igrama (engl. *static games*) dok u dinamičkim igrama (engl. *dynamic games*) trgovci odabiru strategije slijedno jedan za drugim što donosi prednost trgovcima koji kasnije odabiru svoju strategiju.

Trgovčeva funkcija isplativosti (engl. *payoff function*) određuje visinu njegovih prihoda koji su rezultat djelovanja u skladu s određenom strategijom, a koji ujedno ovise i o odabranim strategijama drugih trgovaca. Ukoliko svaki trgovac zna funkcije isplativosti ostalih trgovaca radi se o igri s potpunim informacijama (engl. *complete information*). Dovoljno je da jedan trgovac nije siguran kakve su funkcije isplativosti ostalih trgovaca da igra postane igra s nepotpunim informacijama (engl. *incomplete information*). Kada osim funkcije isplativosti svaki trgovac zna i cijelu povijest trgovanja u određenoj igri tada govorimo o igri sa savršenim informacijama (engl. *perfect information*), dok izostanak informacija vezanih uz povijest trgovanja karakterizira igre s nesavršenim informacijama (engl. *imperfect information*) [28].

3.3.4. Aukcije za trgovanje spektrom

Inicijalno je u Novom Zelandu za raspodjelu spektra korištena Vickery aukcija. Rezultati prve tri aukcije kritizirani su jer se smatralo kako je država prodajom licenci mogla više zaraditi. Stoga je u sljedeće tri raspodjele korištena aukcija sa zapečaćenim ponudama i plaćanjem najviše ponuđene cijene¹³. Dok su se prve raspodjele spektra u Novom Zelandu odvijale pomoću aukcija sa zapečaćenim ponudama, u Australiji se početna raspodjela spektara

¹³ <http://www.rsm.govt.nz/cms/licensees/spectrum-auctions/previous-radio-tender-auction-results-information/tenders>

odvijala pomoću Engleske aukcije¹⁴. Za razliku od Novog Zelanda i Australije u Sjedinjenim Američkim Državama raspodjela spektra odvijala se pomoću simultane aukcije s više rundi (engl. *Simultaneous Multiple Round Auction*, SMRA). Osim Australije i Novog Zelanda, format aukcije SMRA za raspodjelu spektra kasnije je preuzela većina zemalja. Kako su s vremenom identificirani određeni nedostaci formata SMRA, pojedine zemlje su modificirale navedeni format u skladu sa svojim potrebama. Početkom 2008. godine u Velikoj Britaniji¹⁵ za raspodjelu dijela spektra prvi puta je korištena kombinatorijska taktna aukcija (engl. *Combinatorial Clock Auction*, CCA). U današnje vrijeme formati aukcija SMRA i CCA najčešće se koriste za raspodjelu spektra.

Simultana aukcija s više rundi

Simultana aukcija s više rundi (engl. *Simultaneous Multiple Round Auction*, SMRA) također se naziva i simultana rastuća aukcija (engl. *Simultaneous Ascending Auction* [29]), a prvi puta je korištena 1994. godine za raspodjelu dijela spektra u Sjedinjenim Američkim Državama. Format aukcije SMRA koristi se za prodaju više proizvoda (u slučaju raspodjele spektra radi se o frekvencijskim blokovima) pri čemu se ponude za kupnju daju u više rundi. U svakoj rundi kupci simultano daju zapečaćene ponude za frekvencijske blokove za koje su zainteresirani. Po završetku runde objavljuju se rezultati u kojima se za svaki frekvencijski blok navodi trenutna vodeća ponuda te identitet kupca koji ju je ponudio. Osim rezultata runde, također se objavljuje minimalni inkrement za koji kupac mora uvećati ponudu ukoliko želi sudjelovati u sljedećoj rundi. Inkrement je najčešće određeni postotak (npr. 5-10%) od trenutne vodeće ponude ili unaprijed definirani iznos.

Osnovna pravila u aukciji određuju kako se kupac može natjecati za bilo koju skupinu frekvencijskih blokova u skladu s pravilima o aktivnosti koja određuju njegovu pogodnost za sudjelovanje u određenoj rundi. Aukcija završava po isteku runde u kojoj nije predana niti jedna nova ponuda za bilo koji frekvencijski blok.

Ostala pravila uključuju razna ograničenja [7] koja se razlikuju u pojedinim provedenim aukcijama. Kako bi potakli natjecanje među kupcima, regulatori mogu uvesti ograničenja na broj frekvencijskih blokova za koje se kupci mogu natjecati. Također, kako bi potaknuli interes za sudjelovanjem u aukcijama, regulatori mogu smanjiti ulazne prepreke određenim manjinskim skupinama te im dodjeljuju određene početne povlastice. U svakoj aukciji razlikuje se tri vrste uplata. Tako kupci do nekog definiranog perioda prije početka aukcije uplaćuju predujam kojim određuju najveću kombinaciju frekvencijskih blokova za koju se mogu natjecati u određenoj rundi. Nakon što kupac pobijedi u aukciji, uplata za kupljeni frekvencijski blok obično se razdvaja na polog koji se najčešće uplaćuje po završetku aukcije te ostatak koji se uplaćuje nedugo po završetku aukcije ili u ratama s određenom dinamikom plaćanja.

¹⁴ http://www.acma.gov.au/WEB/STANDARD/pc=PC_300178

¹⁵ <http://stakeholders.ofcom.org.uk/consultations/10-40GHz/summary>

Pravila o aktivnosti koriste se kako bi se kontrolirao tempo aukcije jer kupci moraju u svakoj rundi dati određeni broj ponuda kako im se ne bi smanjila pogodnost za sudjelovanje u sljedećim rundama. Kupcima se dodjeljuje određeni (manji) broj prava na odustajanje od sudjelovanja u trenutnoj rundi te korištenjem tog prava im se ne smanjuje pogodnost za sudjelovanje u budućim rundama. Postavljanjem minimalnog inkrementa osigurava se završetak aukcije u razumnom roku pri čemu iznos inkrementa može biti nešto viši u ranijim rundama koje karakterizira veća aktivnost nego u kasnijim rundama koje karakterizira niža aktivnost kupaca. Tempo aukcije postavlja se i određivanjem broja rundi koje se provode svaki dan za trajanja aukcije pri čemu se duljina pojedine runde, kao i minimalni inkrement, može razlikovati u ranijim rundama aukcije od definirane duljine pojedine runde kada se radi o kasnijim rundama u aukciji. Iako prema osnovnom pravilu aukcija završava ukoliko u trenutnoj rundi nije bila niti jedna ponuda, regulator može zadržati pravo zadržavanja aukcije otvorenom kako bi spriječio preuranjeni završetak aukcije pri čemu snižavanjem vrijednosti minimalnog inkrementa potiče aktivnost kupaca.

Kada je u pitanju informiranost kupaca, svi kupci znaju tko su preostali sudionici u aukciji, koliki su bili njihovi polozi te koji sudionici imaju određene privilegije. Na kraju svake runde objavljuje se tko su davatelji najboljih ponuda u toj rundi kao i iznosi ponuđeni u tim ponudama. Također se objavljuju informacije o pogodnost kupaca za sudjelovanje u sljedećim rundama kao i iznos preostalih prava na odustajanje od sudjelovanja u trenutnoj rundi. Po završetku runde kupac koji je dao najbolju ponudu za neki frekvencijski blok može tu ponudu povući, ali će za taj potez platiti određenu kaznu, a iznos trenutne najbolje ponude postavlja se na iznos druge najbolje ponude za taj frekvencijski blok.

U formatu aukcije SMRA može dogoditi da kupac koji želi dva susjedna frekvencijska bloka je trenutni pobjednik samo za jedan od ta dva bloka. Ukoliko je kupac dao takav polog da se može natjecati samo za dva frekvencijska bloka, tada on dok ima vodeću ponudu za jedan od ta dva frekvencijska bloka ne može promijeniti par susjednih frekvencijskih blokova za koje se natječe. Problem u kome kupac otkupi manji dio spektra od onog koji mu je potreban naziva se problem izloženosti (engl. *exposure problem*). Ovaj nedostatak uklonjen je u formatu aukcije SMRA+S (engl. *SMRA with switching*) koji se, uz manje izmjene određivanja cijena, koristio nekoliko puta u Finskoj¹⁶, Norveškoj¹⁷¹⁸, i Švedskoj¹⁹²⁰. U formatu aukcije SMRA+S kupac može povući vodeću ponudu za jedan ili više frekvencijskih blokova uz

¹⁶ <http://www.ficora.fi/en/index/palvelut/palvelutaiheittain/radiotaajuudet/huutokauppa.html>

¹⁷

http://www.npt.no/portal/page/portal/PAG_NPT_NO_EN/PAG_NPT_EN_HOME/PAG_RESOURCE_TEXT?p_d_i=-121&p_d_c=&p_d_v=50655

¹⁸

http://www.npt.no/portal/page/portal/PAG_NPT_NO_EN/PAG_NPT_EN_HOME/PAG_RESOURCE_TEXT?p_d_i=-121&p_d_c=&p_d_v=44552

¹⁹ <http://www.pts.se/en-gb/Industry/Radio/Autcttions/Licences-in-800-MHz-band/>

²⁰ <http://www.pts.se/en-gb/Industry/Radio/Autcttions/Licences%20in%202500-2690%20MHz/>

obavezno davanje ponuda za druge frekvencijske blokove pri čemu broj novih ponuda mora biti ekvivalentan broju povučenih ponuda.

Još jedna modifikacija formata aukcije SMRA je format aukcije SMRA+C²¹ (engl. *SMRA with combinatorial bids*). U formatu aukcije SMRA+C kupci mogu davati ponude za pojedine frekvencijske blokove kao i za pakete frekvencijskih blokova. Ukoliko je kupac dao ponudu za paket frekvencijskih blokova, ovisno o visini njegovog ponuđenog iznosa i iznosa koje su ponudili drugi kupci, on će na kraju runde biti pobjednik svih frekvencijskih blokova koje je naveo u paketu ili neće biti pobjednik niti jednog od tih blokova.

Kombinatorijska taktna aukcija

Kombinatorijska taktna aukcija (engl. *Combinatorial Clock Auction*, CCA) je pojednostavljenije formata aukcije SMRA+C jer kupci prvo daju ponude za željenu količinu frekvencijskih blokova, a nakon toga se kombinatorijskim ponudama određuje raspodjela pojedinih frekvencijskih blokova. Korištenjem formata aukcije CCA izbjegava se situacija u kojoj kupac dobije samo dio potrebnog spektra, dakle kupac u aukciji dobije traženu količinu spektra ili ne dobije ništa. Format aukcije CCA razvila je konzultantska kuća DotEcon, a prvi puta je upotrijebljena u Velikoj Britaniji za prodaju spektra u područjima 10, 28, 32 and 40GHz.

Format aukcije CCA sastoji se od dvije faze: prva faza (engl. *principal stage*) i faza raspodjele (engl. *assignment stage*). U svakoj rundi prve faze kupci daju ponude u kojima navode koliko frekvencijskih blokova žele te cijenu koju za njih nude. Cijene blokova se podižu u svakoj rundi i runde se ponavljaju sve dok ne ponuda i potražnja ne izjednače, a ponude kupaca su javne. Na kraju prve faze postoji dodatna runda u kojoj kupci daju zapečaćenu ponudu u kojoj daju finalnu ponudu za pakete za koje su se natjecali u prethodnim rundama te ponude za pakete za koje se nisu natjecali u prethodnim rundama, ali su bili podobni za nadmetanje oko njih. Po završetku dodatne runde na kraju prve faze određuju se pobjednici, koliko frekvencijskih blokova je svaki od njih osvojio te cijene koje će za te blokove platiti. Cijena koju pojedini pobjednik plaća nije ona koju je ponudio nego njegova oportunistička cijena, tj. najmanja cijena koju je mogao ponuditi a s kojom bi pobijedio u toj aukciji. Faza raspodjele najčešće se sastoji od jedne runde u kojoj se kupcima predstave različite kombinacije dijelova spektra koje im mogu biti dodijeljene. Kupci mogu izraziti svoje preferencije (ako ih imaju) kada je u pitanju raspodjela konkretnih frekvencijskih blokova koji će im biti dodijeljeni.

Dok format aukcije CCA omogućava kupcima davanje ponuda za pakete frekvencijskih blokova čime se eliminira problem izloženosti kupca, zbog kompleksnosti donošenja odluka o pobjednicima te određivanja cijene u dodatnoj rundi prve faze smanjuje se transparentnost aukcije iz perspektive kupaca. Još jedan nedostatak očituje se u činjenici kako kupci u prvoj fazi ne mogu izraziti svoju vrijednost za točno određene frekvencijske blokove. Ukoliko postoji značajna razlika u vrijednosti pojedinih frekvencijskih blokova koji su grupirani u

²¹ <http://www.pts.se/upload/Ovrigt/Radio/Auktioner/800-auction.pdf>

određenu skupinu generičkih frekvencijskih blokova tada kupci mogu imati problema pri davanju ponuda u prvoj fazi jer nisu sigurni koje frekvencijske blokove će dobiti u fazi raspodjele.

Literatura

- [1] McMillan, J.: *Why auction the spectrum?* Telecommunications Policy 19(3) (1995) 191 – 199
- [2] Klemperer, P.: *How (not) to run auctions: The European 3G telecom auctions.* European Economic Review 46(4-5) (2002) 829 – 845
- [3] van Damme, E.: *The European UMTS-auctions.* European Economic Review 46(4-5) (2002) 846 – 858
- [4] Organisation for Economic Co-operation and Development, Working Party on Telecommunication and Information Services Policies: *Spectrum Allocation: Auctions and Comparative Selection Procedures: Economic Arguments.* (2001)
- [5] Morris, A.C.: *Spectrum auctions: Distortionary input tax or efficient revenue instrument?* Telecommunications Policy 29(9-10) (2005) 687 - 709
- [6] Bourdeau de Fontenay, A.: *Auctions vs. Beauty Contests, Is It the Question? A New Look at Access and Spectrum Allocation in France and in the US.* Communications & Strategies 36(4) (1999) 111 – 123
- [7] Cramton, P.: *The FCC Spectrum Auctions: An Early Assessment.* Journal of Economics & Management Strategy 6(3) (1997) 431 – 495
- [8] Bajari, P., Yeo, J.: *Auction design and tacit collusion in FCC spectrum auctions.* Information Economics and Policy 21(2) (2009) 90 – 100
- [9] Fuentelsaz, L., Macas, J.P., Polo, Y.: *The evolution of mobile communications in Europe: The transition from the second to the third generation.* Telecommunications Policy 32(6) (2008) 436 – 449
- [10] Cartelier, L.: *Auctions Versus Beauty Contests: The Allocation of UMTS Licences in Europe.* Annals of Public and Cooperative Economics 74(1) (2003) 63 – 85
- [11] Prat, A., & Valletti, T.: *Spectrum auctions versus beauty contest: Costs and benefits.* Prepared for the OECD working party on telecommunications and information services policies. (2000)
- [12] Andersson, P., Hultn, S., Valiente, P.: *Beauty contest licensing lessons from the 3G process in Sweden.* Telecommunications Policy 29(8) (2005) 577 – 593
- [13] Jehiel, P., Moldovanu, B.: *An economic perspective on auctions.* Economic Policy 18(36) (2003) 269 – 308

- [14] Valletti, T.M.: *Spectrum trading*. Telecommunications Policy 25(10-11) (2001) 655 – 670
- [15] Janssen, M.C., Karamychev, V.A.: *Selection effects in auctions for monopoly rights*. Journal of Economic Theory 134(1) (2007) 576 – 582
- [16] Gruber, H.: *Spectrum limits and competition in mobile markets: the role of licence fees*. Telecommunications Policy 25(1-2) (2001) 59 – 70
- [17] Kwon, Y., Lee, J., Oh, Y.: *Economic and policy implications of spectrum license fee payment methods*. Telecommunications Policy 34(3) (2010) 175 – 184
- [18] Brgers, T., Dustmann, C.: *Awarding telecom licences: the recent European experience*. Economic Policy 18(36) (2003) 215 – 268
- [19] Milgrom, P. R., Weber, R. J.: *A theory of auctions and competitive bidding*, Econometrica, 50(5) (1982) 1089–1122
- [20] McAfee, P. R., McMillan, J.: *Auctions and Bidding*, Journal of Economic Literature, 25(2) (1987) 699–738
- [21] Wurman, P. R., Wellman, M. P., Walsh, W. E.: *Specifying Rules for Electronic Auctions*, AI Magazine, 23(3) (2002) 15–24
- [22] Wurman, P. R., Wellman, M. P., Walsh, W. E.: *A Parametrization of the Auction Design Space*, Games and Economic Behavior, 35(1-2) (2001) 304–338
- [23] Krishna, V.: *Auction Theory*. San Diego, CA, USA: Academic Press (2002)
- [24] Cramton, P., Shoham, Y., Steinberg, R. (eds.): *Combinatorial Auctions*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press (2006)
- [25] Bergin, J.: *Microeconomic Theory: a Concise Course*. New York, NY, USA: Oxford University Press (2005)
- [26] Neumann, J. V., Morgenstern, O.: *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press (1944)
- [27] Fudenberg, D., Tirole, J.: *Game Theory*. Cambridge, MA, USA: MIT Press (1991)
- [28] Gibbons, R.: *Game Theory for Applied Economists*. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1992.
- [29] Milgrom, P.: *Putting auction theory to work: The simultaneous ascending auction*. Journal of Political Economy, 108(2) (2000) 245-272