

Analiza širokopojasnog pristupa Internetu primjenom višekriterijske metode PROMETHEE

Antolčić, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:590226>

Rights / Prava: [In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Mario Antolčić

**ANALIZA ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU
PRIMJENOM VIŠEKRITERIJSKE METODE PROMETHEE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

Zagreb, 24. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Planiranje telekomunikacijskih mreža**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 3921

Pristupnik: **Mario Antolčić (0135183929)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Analiza širokopojasnog pristupa Internetu primjenom višekriterijske metode PROMETHEE**

Opis zadatka:

Opisati karakteristike širokopojasnih pristupnih tehnologija. Analizirati razvoj širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji. Identificirati kriterije pri izboru tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu. Primijeniti višekriterijsko odlučivanje u funkciji izbora tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu korištenjem metode PROMETHEE. Predložiti višekriterijski model izbora tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



doc. dr. sc. Ivan Orgurević

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU
PRIMJENOM VIŠEKRITERIJSKE METODE PROMETHEE
ANALYSIS OF BROADBAND INTERNET ACCESS USING
THE MULTICRITERIA METHOD PROMETHEE**

Mentor:

doc. dr. sc. Ivan Grgurević

Student:

Mario Antolčić

0135 183 929

Zagreb, 2017.

ANALIZA ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU PRIMJENOM VIŠEKRITERIJSKE METODE PROMETHEE

SAŽETAK

U diplomskom radu istražuje se važnost i karakteristike širokopojasnih pristupnih tehnologija te se analizira grupa čimbenika kao potencijalnih kriterija za izbor tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu. Kao polazna osnova promatraju se trendovi razvoja širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji (EU). Svrha istraživanja je identifikacija kriterija i podkriterija koji utječu na planiranje i razvoj širokopojasnog pristupa Internetu te primjena višekriterijske analize u procesu planiranja i razvoja širokopojasnih pristupnih tehnologija. Primjenom metode Promethee I i II odabire se najprihvatljivija alternativa.

KLJUČNE RIJEČI: širokopojasni pristup, višekriterijsko odlučivanje, metoda Promethee, identifikacija kriterija i alternativa.

SUMMARY

The research presented in this graduate thesis examines the importance and characteristics of broadband access technologies and analyzes a group of factors as potential criteria for choosing technology for broadband Internet access. As a starting point, trends of the development of broadband internet access in the Republic of Croatia and the European Union (EU) are being considered. The purpose of the research is to identify the criteria and sub-criteria that influence the planning and development of broadband Internet access and the use of multi-criteria analysis in the planning and development process of broadband access technologies. The most acceptable alternative is chosen using Promethee I and II.

KEYWORDS: broadband access, multiple criteria decision making, Promethee method, identify the criteria and sub-criteria

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	KARAKTERISTIKE ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH TEHNOLOGIJA	3
2.1.	DSL TEHNOLOGIJE	5
2.2.	SVJETLOVODNE PRISTUPNE MREŽE	22
2.3.	RADIJSKI ŠIROKOPOJASNI PRISTUP	29
2.4.	PRISTUP PUTEM SATELITSKIH VEZA	32
3.	ANALIZA RAZVOJA ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU U REPUBLICI HRVATSKOJ I EUROPSKOJ UNIJI	33
4.	IDENTIFICIRANJE KRITERIJA PRI IZBORU TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA	38
4.1.	EKONOMSKI KRITERIJI	40
4.2.	TEHNIČKO - TEHNOLOŠKI KRITERIJI	45
4.3.	DRUŠTVENI KRITERIJI	49
4.4.	OSTALI KRITERIJI	53
5.	VIŠEKRITERIJSKO ODLUČIVANJE U FUNKCIJI IZBORA TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU	58
5.1.	AHP METODA	60
5.2.	ANP METODA	62
5.3.	ELECTRE METODA	63
5.4.	PROMETHEE	64
6.	VIŠEKRITERIJSKI MODEL IZBORA TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU	65
6.1.	PRIMJER VREDNOVANJA KRITERIJA I ALTERNATIVA	68
6.2.	PRIKAZ DOBIVENIH REZULTATA TESTNOG VREDNOVANJA	74
7.	ZAKLJUČAK	78
	LITERATURA	80
	POPIS KRATICA	83
	POPIS ILUSTRACIJA	86

1. UVOD

Postojeća širokopojasna pristupna mreža većinom bazirana na bakrenim paricama, nije dugoročno rješenje za rastuće zahtjeve korisnika. Glavni strateški cilj Vlade Republike Hrvatske je stvaranje preduvjeta za ubrzani razvoj infrastrukture širokopojasnog pristupa Internetu i usluga za koje su potrebne velike brzine pristupa, kao temelja koji će omogućiti daljnji razvoj informacijskog društva i društva znanja, uz osiguranje dostupnosti usluga širokopojasnog pristupa pod jednakim uvjetima na cijelom području Republike Hrvatske. Iz tog razloga kreirana je Strategije razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020. godine. Tehnološki pomak u smislu povećanja kvalitete i dostupnosti velikog broja širokopojasnih usluga na sve većem području uzrokovao je liberalizaciju tržišta i profiliranje novih telekomunikacijskih operatora koji su u mogućnosti samostalno ili zajednički pružiti usluge koje su nekad bile podržane samo od jednog davatelja usluga, a nastale se i mnoge nove telekomunikacijske usluge.

U ovom diplomskom radu opisuju se širokopojasne pristupne tehnologije dostupne na području Republike Hrvatske. Svrha diplomskog rada je identifikacija kriterija i podkriterija koji utječu na planiranje i razvoj širokopojasnog pristupa Internetu te primjena višekriterijske analize u procesu planiranja i razvoja širokopojasnih pristupnih tehnologija. Cilj diplomskog rada je na temelju sustavne analize postojećih relevantnih istraživanja predložiti višekriterijski model izbora tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu, primjenom metode višekriterijske analize Promethee I i II. Tematika ovog diplomskog rada opisana je kroz sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Karakteristike širokopojasnih pristupnih tehnologija
3. Analiza razvoja širokopojasnog pristupa Internetu u RH i EU
4. Identificiranje kriterija pri izboru tehnologije širokopojasnog pristupa
5. Višekriterijsko odlučivanje u funkciji izbora tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu
6. Višekriterijski model izbora tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu

7. Zaključak

Uvodno poglavlje daje osnovnu sliku o radu te definira cilj, svrhu i strukturu diplomskog rada.

U drugom poglavlju opisane su tehničke karakteristike širokopojasnih pristupnih tehnologija dostupnih na području Republike Hrvatske.

Kroz treće poglavlje promatraju se trendovi razvoja širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji. Za prikaz stvarnog stanja korišteni su aktualni statistički podaci prema istraživanju Državnog zavoda za statistiku (DZS), HAKOM-a i Statističkog ureda Europskih zajednica (Eurostat).

Četvrto poglavlje usmjereno je na analizu i identifikaciju kriterija i podkriterija pri izboru tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu. Identifikacija kriterija promatra se s pozicije davatelja telekomunikacijskih usluga, a u funkciji izgradnje i proširenja postojeće infrastrukture širokopojasnog pristupa Internetu.

U petom poglavlju prikazane su i opisane najčešće korištene metode višekriterijskog odlučivanja u funkciji donošenja odluka na temelju više kriterija.

U šestom poglavlju prikazan je prijedlog modela višekriterijskog odlučivanja s obzirom na izbor kriterija i podkriterija bitnih pri izboru tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu. Kroz ovo poglavlje provodi se i detaljna analiza definiranih kriterija, odnosno njihovo vrednovanje te međusobno uspoređivanje s alternativama, kako bi se došlo do konačnog rješenja izbora tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu. Višekriterijska optimizacija provodi se korištenje programske podrške *Visual Promethee* (verzija 1.4).

U sedmom poglavlju, Zaključku, sintetizirane su sve informacije prikupljene i obrađene tijekom ovog rada.

Na kraju rada, nalazi se Literatura, koja daje uvid u sve knjige i analitike te internetske stranice korištene pri izradi diplomskog rada.

2. KARAKTERISTIKE ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH TEHNOLOGIJA

Uvođenje novih telekomunikacijskih usluga i njihovo dovođenje korisnicima pretpostavlja postojanje rasprostranjene i složene širokopojasne pristupne komunikacijske mreže. Pristupna mreža omogućuje povezivanje pretplatnika na različiti UPS (udaljeni pretplatnički stupanj) bez obzira je li načinjena od bakrenih žica, koaksijalnih kabela, svjetlovodnih vlakana ili bežičnih veza. Općenita podjela širokopojasne mreže je na žični (uključujući optički) i radijski odnosno bežični pristup.

Kod žičnog pristupa koristi se bakrena parica, optička vlakna, koaksijalni kabel te komunikacija preko vodova energetske mreže. Veza optičkim kabelom je podijeljena na optiku od točke do točke i pasivnu optičku mrežu. Zadnja kategorija je bežični pristup koja se može podijeliti na WiMAX i pokretne pristupe mreži, satelitski pristupi pristup putem bežične optike.

Vrste širokopojasnog pristupa su:

- **žični:**

- DSL tehnologije (koriste upredenu paricu);
- širokopojasni pristup Internetu koaksijalnim kabelima i
- BPL (komunikacije vodovima energetske mreže)

- **svjetlovodi:**

- od točke do točke i
- pasivne optičke mreže (PON)

- **bežični** (engl. *wireless*):

- radijski (WiMAX, LTE);
- satelitski i
- optički (FSO – engl. *Free Space Optics*)

Segmentacija telekomunikacijske mreže prikazana je na slici 1.



Slika 1. Segmentacija telekomunikacijske mreže [6]

Segmentaciju telekomunikacijskih mreža dijelimo na dva dijela. Prvi dio nam predstavlja pristupna mreža čija je osnovna zadaća povezivanje krajnjih korisnika sa jezgrenom mrežom. Tipovi pristupne mreže ovise o željama i mogućnostima korisnika i može ih se podijeliti, kako je već ranije opisano, na žične i bežične. Drugi dio telekomunikacijske mreže predstavlja jezgreni dio. Zadaća jezgrene mreže je da ostvaruje kontrolu i upravljačku funkciju, osigurava usluge poslužiteljskim sustavima u samoj mreži te povezuje sustav sa ostalima davateljima usluga. Prikaz segmentacije nalazi se na slici 1.

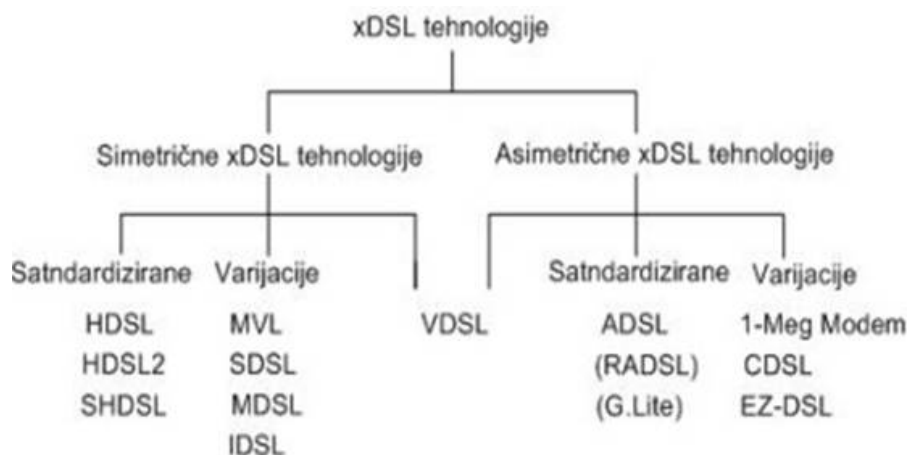
2.1. DSL TEHNOLOGIJE

DSL (engl. *Digital Subscriber Loop*) je naziv tehnologije koja omogućava digitalni prijenos preko bakrenih vodova (parica) do krajnjeg korisnika usluge. Glavna prednost tehnologije prijenosa putem digitalnih pretplatničkih linija u usporedbi s ostalim širokopojasnim tehnologijama u fiksnim pristupnim mrežama je mogućnost korištenja postojeće bakrene infrastrukture koja se koristi za pružanje govorne usluge.

Slika 2. prikazuje podjelu xDSL tehnologija na simetrične i asimetrične, a neke od inačica DSL-a (zajednički se obično označavaju kao xDSL) su [2]:

- HDSL (engl. *High Data Rate Digital Subscriber Line*) - tipično 2 Mbit/s na dvije parice;
- SDSL (engl. *Symmetric Digital Subscriber Line*) - tipično 1 Mbit/s na jednoj parici;
- ADSL (engl. *Asymmetric Digital Subscriber Line*) - moguće do 24 Mbit/s prema korisniku jednosmjerno (podinačice su npr ADSL2 i ADSL+);
- RADSL (engl. *Rate-Adaptive Digital Subscriber Line*) - brzina prema potrebi do 1 Mbit/s;
- VDSL (engl. *Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line*) - do 52 Mbit/s prema korisniku;
- VDSL2 (engl. *Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line 2*) - poboljšani VDSL i
- G.SHDSL (engl. *G. Symmetric High-speed Digital Subscriber Line*) - standardizirani SDSL.

Na slici 2. prikazana je podjela simetrične i asimetrične xDSL tehnologije.



Slika 2. Simetrične i asimetrične xDSL tehnologije [22]

Standardna PSTN¹ (eng. *Public Switch Telephone Network*) i lokalne pristupne mreže su dizajnirane s vodičima čija je transmisija ograničena na analogni kanal veličine 3400 Hz za prijenos govora. Tako, na primjer, telefoni i fax uređaji koriste frekvencijski spektar između 0 i 3400 Hz. Najveća moguća brzina prijenosa podataka je 56 Kbps. Nasuprot tomu, DSL tehnologija koristi mnogo širi frekvencijski pojas nego što je 3,4 KHz. Međutim, postoji niz problema koji ometaju korištenje višeg frekvencijskog spektra, od kojih su 3 najveća [2]:

1. Slabljenje (engl. *Attenuation*) - rasipanje snage prijenosnog signala kako on putuje duž bakrene parice.
2. Premošteni odvojci (engl. *Bridged Taps*) - su produžeci petlje bez završetka koji uzrokuju dodatno slabljenje signala.
3. Preslušavanje (engl. *Crosstalk*) - je preklapanje signala susjednih parica u snopu odnosno smetnje između dvije linije koje su u istom snopu, uzrokovane električnom energijom koju obje nose.

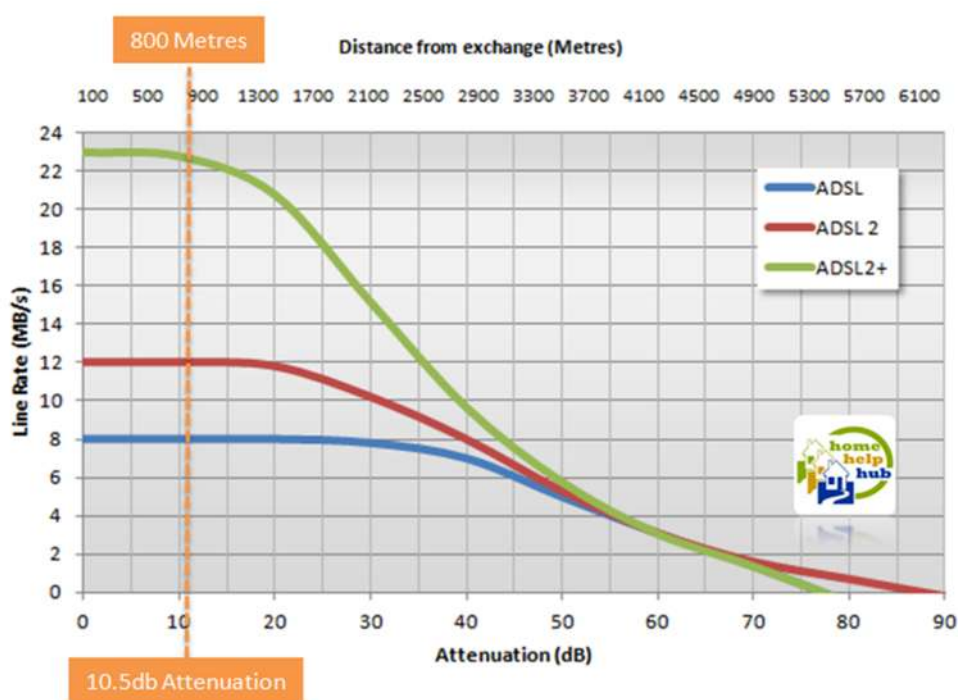
Lokalna pristupna mreža se sastoji od lokalnih petlji (engl. *Local Loop*) i opreme koja povezuje komutacijski sustav tj. centralu s korisničkom opremom. Mreža se tipično sastoji od višezilnih kablova koji nose korisničke parice do distributivnog sučelja opskrbe (engl. *FDI-Feeder Distribution Interface*) odakle se parica produžuje

¹ Javna komutirana telefonska mreža osnovno je namjenjena za održavanje govorne komunikacije.

do svakog pojedinačnog korisnika. Neki korisnici su udaljeni od centrale tako da to zahtjeva dugačku lokalnu petlju. Tada dolazi do slabljenja tj. prigušenja i izobličenja analognog signala, što je prikazano slikom 3.

Zato je uopćeno domet DSL-a do 5.5 km te više ako je lokalna petlja izvedena kao svjetlovod. Kako bi se povećao domet DSL-a, a na područjima gdje je izvedba sa svjetlovodima u lokalnoj petlji preskupa, definirano je kompromisno rješenje, tj. prijenos signala preko posredničke točke u kojima završavaju petlje, koje koriste digitalnog nositelja petlje DLC (engl. *Digital Loop Carrier*) i koje su bliže korisniku.

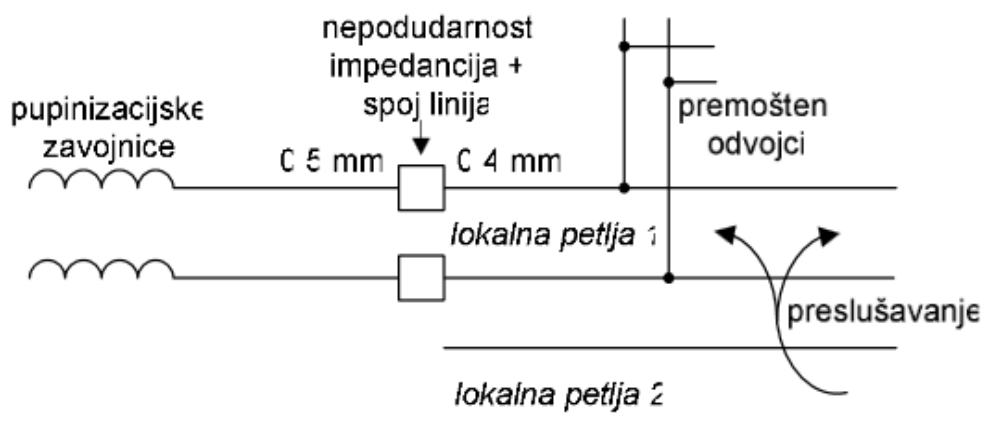
Posredničke točke su udaljeni terminali RT (engl. *Remote Terminals*) koji smanjuju efektivnu duljinu bakrene pretplatničke linije te time unapređuju pouzdanost usluge.



Slika 3. Prikaz slabljenja signala s rastom udaljenosti od centrale [23]

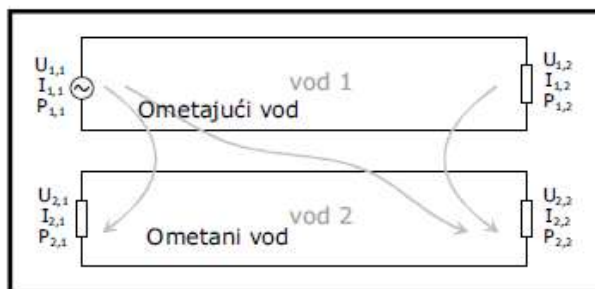
Premošteni odvojak može biti bilo koji dio petlje koji nije direktno na liniji između centrale i korisničkog terminala (prikazano na slici 4). Može biti i neiskorištena parica spojena na nekoj posredničkoj točki ili produžetak linije iza korisničke lokacije. Gubici na frekvenciji signala dostižu $\frac{1}{4}$ valne duljine od duljine produžetka. Kako su frekvencija i valna duljina obrnuto proporcionalne, kraće prenosnice imaju veći

utjecaj na širokopojasne, a duže prenosnice na uskopojasne signale. Većina petlji ima bar jedan premošteni odvojak. [2]



Slika 4. Premošteni odvojak [2]

Električna energija koja se prenosi linijom u obliku moduliranog signala, zrači elektromagnetsku energiju na susjedne žice tj. linije koje su u istom snopu. Susjedne parice u snopu koje odašilju ili primaju informacije u istom opsegu frekvencija mogu uzrokovati značajne smetnje i izobličenja signala. To se događa zbog toga što se signal induciran preslušavanjem miješa s originalnim signalom koji je namijenjen za prijenos. Rezultat je drugačiji valni oblik signala od originalnog. [25]



Prigušenje preslušavanja - **na bližem kraju** (paradiafonija)

$$a_p = 20 \times \log \frac{U_{11}}{U_{21}} = 20 \times \log \frac{I_{11}}{I_{21}} = 10 \times \log \frac{P_{11}}{P_{21}} \dots \dots \dots [dB]$$

Prigušenje preslušavanja - **na daljem kraju** (telediafonija)

$$a_t = 20 \times \log \frac{U_{11}}{U_{22}} = 20 \times \log \frac{I_{11}}{I_{22}} = 10 \times \log \frac{P_{11}}{P_{22}} \dots \dots \dots [dB]$$

Slika 5. Prigušenje preslušavanja [25]

Postoje dvije kategorije preslušavanja. Preslušavanje na bližem kraju i preslušavanje na udaljenom kraju. Preslušavanje na bližem kraju je utjecajnije jer ometajući signal sa susjedne parice može prouzročiti značajnu deformaciju primarnog signala. Preslušavanje na daljnjem kraju je manje značajno jer interferirajući signal koji je na drugom kraju petlje oslabi dok putuje preko petlje. Prikaz definiranja prigušenja vidljiv je na slici 5. [25]

Od DSL širokopojasnih pristupnih tehnologija danas su najzastupljenije ADSL, ADSL2, ADSL2+ i VDSL. U daljnjem tekstu iste će biti opisane.

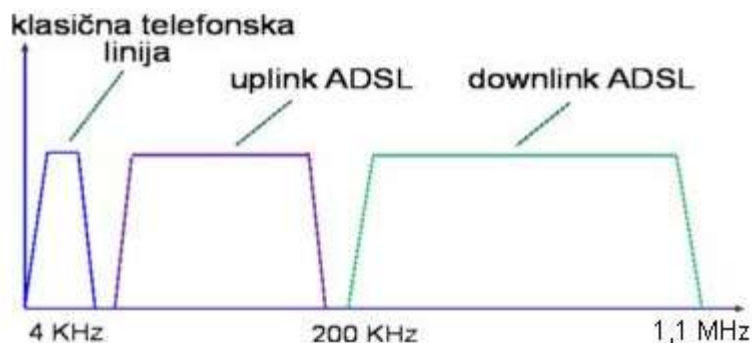
ADSL (engl. *Assymetric Digital Subscriber Line*) je asimetrična digitalna pretplatnička linija. Analogna telefonska usluga koristi frekvencijski pojas od 0Hz do 4kHz za prijenos govora. Asimetrične širokopojasne pristupne tehnologije koriste slobodni frekvencijski pojas iznad 4 kHz, prikazane u tablici 1., te primjenom određenih modulacijskih tehnika omogućuju prijenos podatka po istoj bakrenoj parici koja se koristi za analognu govornu uslugu. Asimetričnost znači mogućnost mnogo bržeg protoka podataka od mreže ka korisniku (engl. *downstream*), nego što je to u odašiljanju podataka od korisnika ka mreži (engl. *upstream*). [4]

Tablica 1. Frenkvencijski pojas ADSL tehnologije [2]

Tehnologija	25 - 138 kHz	138 - 1104 kHz	1104 - 2208 kHz
ADSL	<i>upstream</i>	<i>downstream</i>	<i>ne koristi</i>
ADSL2	<i>upstream</i>	<i>downstream</i>	<i>ne koristi</i>
ADSL2+	<i>upstream</i>	<i>downstream</i>	<i>downstream</i>

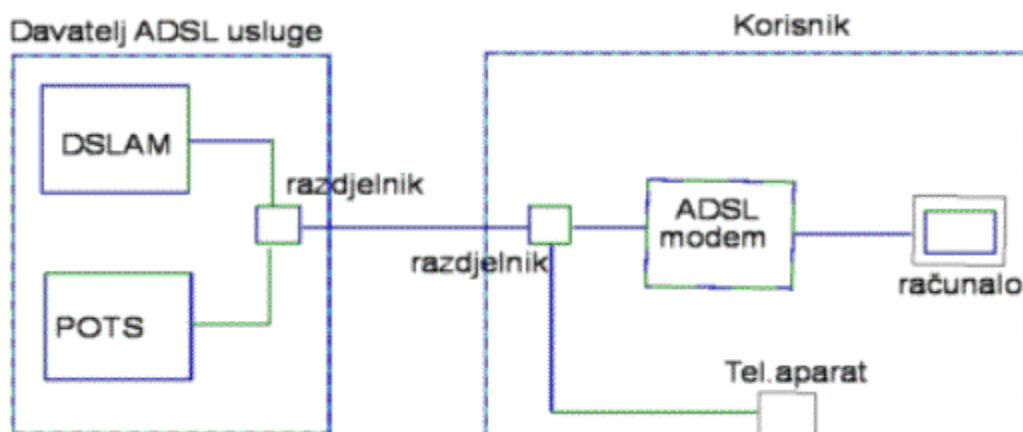
Telefonska linija se pomoću DSL razdjelnika (*eng. splitter*) dijeli u dva frekvencijska dijela. Spliter ima dva filtra kojim odvaja dva signala koji se prenose istovremeno. Tu je niskopropusni filter kako bi se spriječilo miješanje signala visoke frekvencije ADSL-a i visokopropusni filter koji djeluje kao barijera koja eliminira POTS (engl. *Plain Old Telephone Service*) signal od ADSL linije. Jedan dio linije se koristi za klasičnu telefonsku govornu komunikaciju, što znači da odvaja 0 - 4 KHz za tu potrebu.

Ostatak potencijalnog frekvencijskog opsega koristi se za prijenos podataka preko računala, što je prikazano slikom 6. [26]



Slika 6. ADSL podjela frekvencija [26]

Ostatak frekvencijskog opsega odlazi na ADSL modem, ustvari ADSL primopredajnik. Njegov osnovni zadatak je da primi podatke i proslijedi ih dalje, bilo jednom računalu ili većem broju računala u lokalnoj mreži. Također i u obrnutom smjeru. Blok shema veza osnovnih uređaja u ADSL sustavu prikazana je na slici 7. [26]

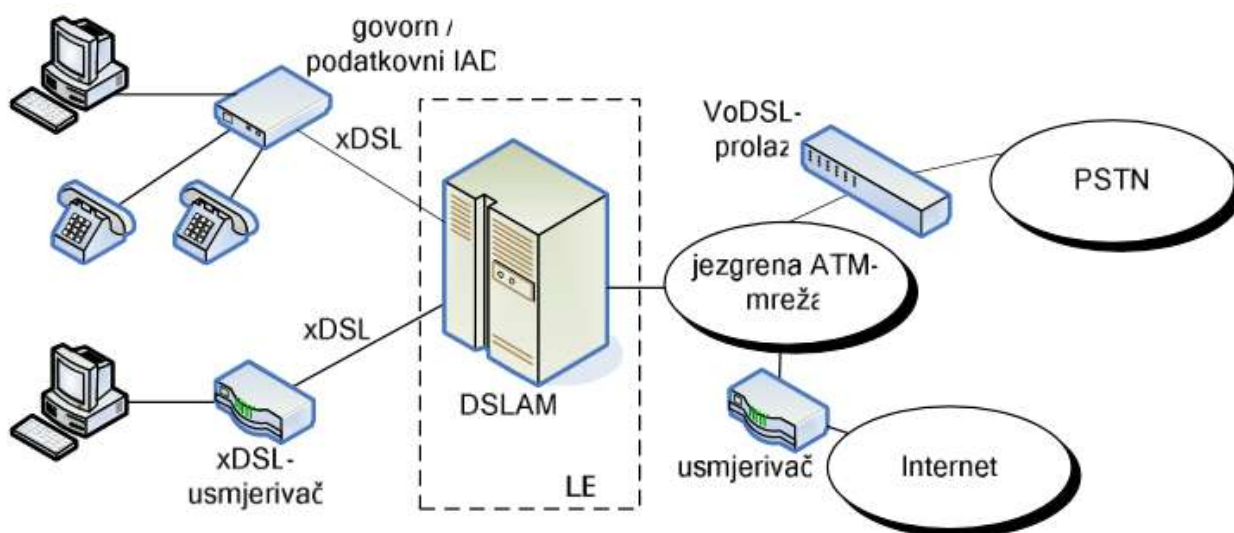


Slika 7. Blok shema osnovnih veza u ADSL sustavu [26]

Na strani davatelja usluge nalazi se oprema koja omogućuje ADSL tehnologiju. To je DSLAM² (engl. *DSL Access Multiplexer*). Radi se o digitalnom multipleksnom uređaju

² DSLAM je vrsta multipleksora odnosno telekomunikacijskog uređaja koji se najčešće nalazi u telefonskim centralama i omogućava vezu digitalnih pretplatničkih linija (DSL, ADSL) s Internetom.

na strani davatelja usluge čija je uloga da više DSL korisničkih linija povezuje na mrežu ISP-a (engl. *Internet Service Provider*) preko jako brzih veza (100 Mbit/s, 1000 Mbit/s, itd.). Ta veza na mrežu treba biti većeg kapaciteta nego što je ukupni skup *downloada*, odnosno *upload* brzina svih korisnika na DSLAM-u zbog eliminacije problema zagušenja i padova brzine u trenucima kada se Internet najviše koristi. Njegova uloga je da vrši koncentraciju podataka generiranih od strane korisnika, a pristiglih sa velikog broja DSL linija, te da ih preko backbone linka spoji sa ostatkom mreže. DSLAM omogućuje usluge za paketske, ćelijske i kanalne aplikacije. Noviji DSLAM-ovi su otporniji na temperature i okolne uticaje. Ta pogodnost omogućuje i instalaciju DSLAM-ova u udaljenim terminalima umjesto samo u centralama. Mogućnost pomicanja DSLAM-ova na udaljene lokacije može jako poboljšati kvalitetu pružanja usluga, te omogućiti pružanje usluge i korisniku koji bi inače bio izvan dometa DSL mreže. DSLAM podržava više vrsta DSL izvedbi kao i više vrsta protokola i modulacija u istoj DSL izvedbi. Takođe, može obavljati i dodatne funkcije kao što su usmjeravanje i dinamičko pridruživanje IP adresa za korisnike. Prikaz pozicije DSLAM-a u komunikacijskom sustavu nalazi se na slici 8. [26]



Slika 8. Pozicija DSLAM-a u komunikacijskom sustavu [2]

Definicija modulacije: „Modulacija je postupak obrade signala kojim se u prijenosni signal utiskuje signal informacije.“ [2]

U ADSL tehnologiji postoje dvije vrste modulacija s obzirom na broj nosioca i to su [16]:

a) modulacije s jednim nosiocem (koristi cijelu širinu pojasa kanala za cijeli podatak):

- amplitudno-fazna modulacija s potisnutim nosiocem (engl. *CAP - Carrierless Amplitude/Phase modulation*)
- kvadratura amplitudna modulacija (engl. *QAM - Quadrature Amplitude Modulation*)

b) modulacije s više nosilaca (dijeli širinu pojasa u podkanale i pridodaje svakom podkanalu dio cijelog podatka):

- diskretna multitonska modulacija (engl. *DMT - Discrete Multi-Tone*)
- modulacija diskretnog multitona malih valova (engl. *DWMT - Discrete Wavelet Multi-Tone*)

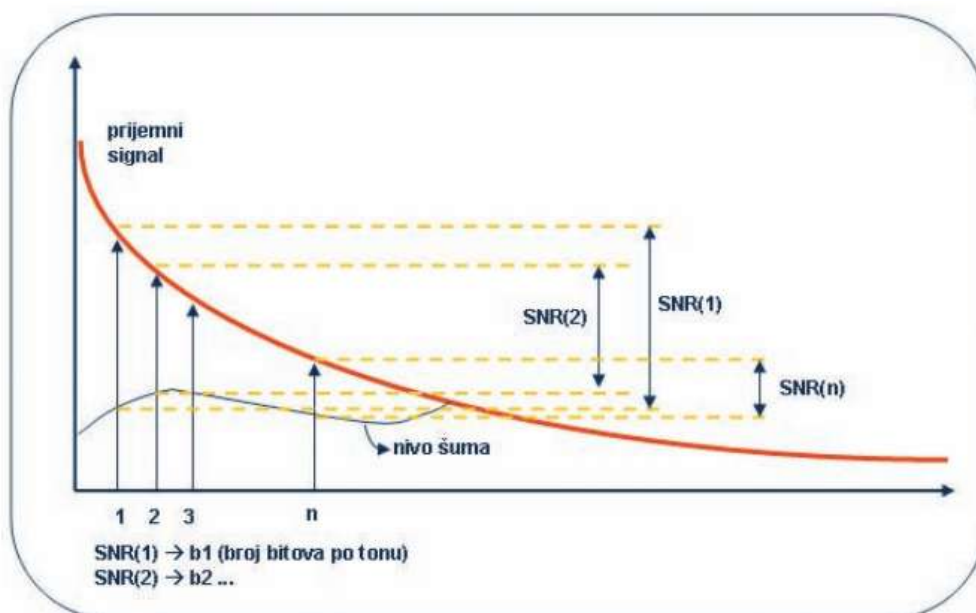
Amplitudno-fazna modulacija s potisnutim nosiocem je u osnovi adaptivna QAM modulacija s promjenljivim brojem točaka konstelacije, ovisno o kvaliteti parice i razini signala. Dvosmjerni prijenos je ostvaren podjelom frekvencije, pa nije potrebno poništenje jeke.

Kvadratura amplitudna modulacija je postupak gdje se amplitude dva nositelja mijenjaju. Razlika faze između njih je 90°. QAM može biti analogna ili digitalna. Digitalna QAM koristi se češće nego analogna QAM. Ima dva modulacijska signala $I(t)$ i $Q(t)$ koji su u odnosu

$$u_{\text{QAM}} = I(t)\cos\omega_c t - Q(t)\sin\omega_c t \quad (1)$$

CAP/QAM signali su kratkog trajanja i zauzimaju cijeli frekvencijski pojas. Zato što je podatak jednoliko podijeljen po pojasu, efekti nejednakosti kanala i šum moraju biti izbjegnuti filterima i prijemnicima koji izjednačavaju signale. [16]

Diskretna multitonnska modulacija prikazana na slici 9., koristi isti princip kao i ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), što znači da se raspoloživi frekvencijski spektar na parici dijeli na paralelne kanale. Centar svakog kanala predstavljen je QAM moduliranim nositeljem. Razlika u odnosu na OFDM je da se kod DMT modulacije može prenositi različit broj bitova po pojedinim podnosiocima, što ovisi o odnosu signal-šum (SNR^3 – engl. *Signal Noise Ratio*) na određenoj frekvenciji. Budući da su nosioci međusobno ortogonalni, između njih ne može doći do interferencije. Broj bitova koji se može prenijeti po nosiocu varira između 1 i 15. Razmak između nositelja je 4.3125 kHz, dok se u VDSL2 može koristiti i 8.6125 kHz. [4]



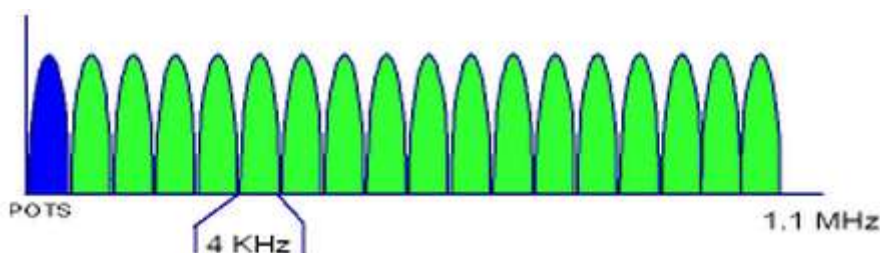
Slika 9. DMT modulacija – odnos signal-šum definira broj bitova po tonu [4]

Za modulaciju u DMT sustavu koristi se postupak inverzne transformacije nazvan *2N-point IFFT* (engl. *Inverse Fast Fourier*). Inverzna transformacija se koristi kod DSL odašiljača budući da su u tom slučaju podaci pridijeljeni simbolima koji predstavljaju konstelacijske točke u paralelnim nezavisnim kanalima unutar određene

³ SNR - Odnos između maksimalne razine signala i razine generiranoga šuma kod nekog uređaja ili u signalnom prijenosnom kanalu. Pri definiranju vrijednosti maksimalne razine signala uvijek treba navesti i vrijednost njegova izobličenja pri toj razini. Zbog velikog raspona izražava se u decibelima pri navedenom izobličenju maksimalne razine signala izraženoga u postotcima.

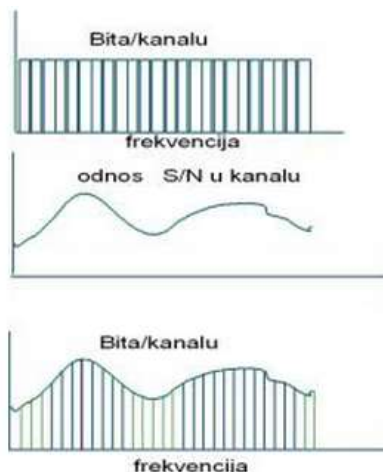
frenkvencije. Kod DMT sustava transmisijski signal kreira se u vremenskom intervalu kako se ne bi morao filtrirati ili modulirati. To je razlog zbog kojeg se koristi inverzna Fourierova transformacija, postupak kojim se signal iz frekvencijske domene transformira u vremensku domenu. [3]

DMT dijeli raspoloživo frekvencijsko područje u 247 kanala širine 4 KHz, kako je prikazano na slici 10.



Slika 10. DMT dijeljenje frekvencijskog područja [26]

Podaci se odašilju i primaju preko svih kanala. Sustav nadzire sve kanale i za trenutni prijenos odabire samo one u kojima je situacija najbolja u pogledu prijenosnih karakteristika. Na slici 11. prikazan je odnos signal/šum na kanalima i utjecaj tog odnosa na kvalitetu prijenosa. [26]

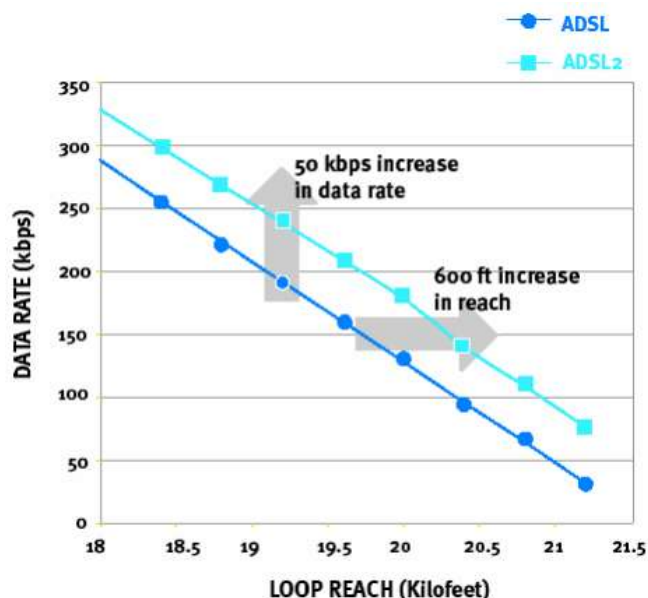


Slika 11. Utjecaj SNR na kvalitetu prijenosa [26]

ADSL2 tehnologija predstavlja drugu generaciju širokopojasnih asimetričnih pristupnih tehnologija, a definirana je ITU-T (engl. *International Telecommunication Union*) preporukom G.992.3 (iz 2002.god.). ADSL2 je posebno dizajniran radi

poboljšanja brzine i dometa prijenosa u odnosu na izvornu inačicu ADSL-a, a ima i bolje performanse na dugačkim linijama u prisutnosti uskopojasne interferencije. ADSL2 omogućava postizanje dolaznih brzina do otprilike 12 Mbit/s i odlaznih brzina do 1 Mbit/s, ovisno o duljini lokalne petlje i drugim relevantnim čimbenicima. Takvo značajno povećanje prijenosne brzine u dolaznom smjeru posljedica je činjenice da ADSL2 postiže bolju učinkovitost korištenog modulacijskog postupka. [4]

Bolja učinkovitost modulacije postiže se 4-dimenzionalnom rešetkasto kodiranom modulacijom s 16 stanja i 1 bitnom QAM konstelacijom, što omogućava veće brzine prijenosa podataka na dugim linijama gdje je SNR nizak. ADSL2 reducira okvir sinkronizacijskih podataka u prijenosu informacija osiguravajući okvir sa programabilnim brojem bitova sinkronizacijskih podataka. Stoga za razliku od prve generacije ADSL standarda gdje je broj bitova po okviru bio fiksni i koristio 32 kbps stvarnih korisnih podataka, u ADSL2 standardu ti se bitovi mogu programirati od 4 kbps do 32 kbps. U prvoj generaciji ADSL sustava na dugim linijama, gdje je brzina prijenosa podataka niska (128 kbps), fiksnih 32 kbps podataka alocirano je za sinkronizacijske podatke (25% ukupne brzine prijenosa podataka). U ADSL2 sustavima brzina prijenosa sinkronizacijskih podataka može biti reducirana na 4 kbps, što omogućava dodatnih 28 kbps za korisne podatke. [4]



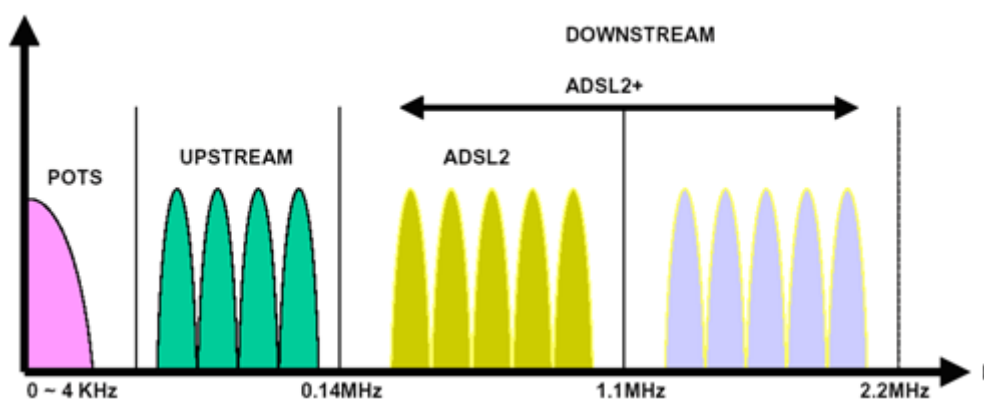
Slika 12. Usporedba ADSL2 u odnosu na ADSL [2]

Na slici 12. prikazana je brzina prijenosa podataka i domet ADSL2 u usporedbi s ADSL-om prve generacije.

ADSL2 pruža dodatna poboljšanja u odnosu na izvornu inačicu ADSL-a [5]:

- poboljšana međusobna operabilnost između primopredajnika različitih proizvođača;
- brza uspostava poveznice – skraćeno trajanje inicijalizacije poveznice s 10 sekundi na manje od tri sekunde;
- potpuno digitalni način rada – omogućava prijenos ADSL2-podataka POTS-kanalom, čime ostvaruje dodatnih 256 kbit/s u odlaznom smjeru;
- podrška paketskim uslugama – u ADSL2 je ugrađen i sloj skraćeno nazvan PMT-TC (engl. *packet mode transmission trans-convergence layer*) koji podržava usluge kao što je npr. prijenos Ethernet okvira.

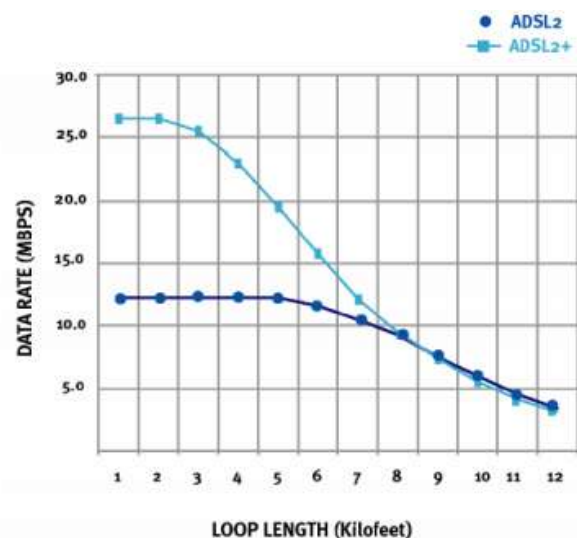
ADSL2+ tehnologija ratificirana je 2003. god. i definirana ITU-T preporukom G.992.5. ADSL2+ koristi frekvencijski spektar do 2.2 MHz na bakrenoj parici, što je dvostruko više u usporedbi s ADSL i ADSL2 tehnologijama koje koriste spektar do 1.1 MHz, i prikazano je slikom 13. [5]



Slika 13. ADSL2+ frekvencijski spektar [27]

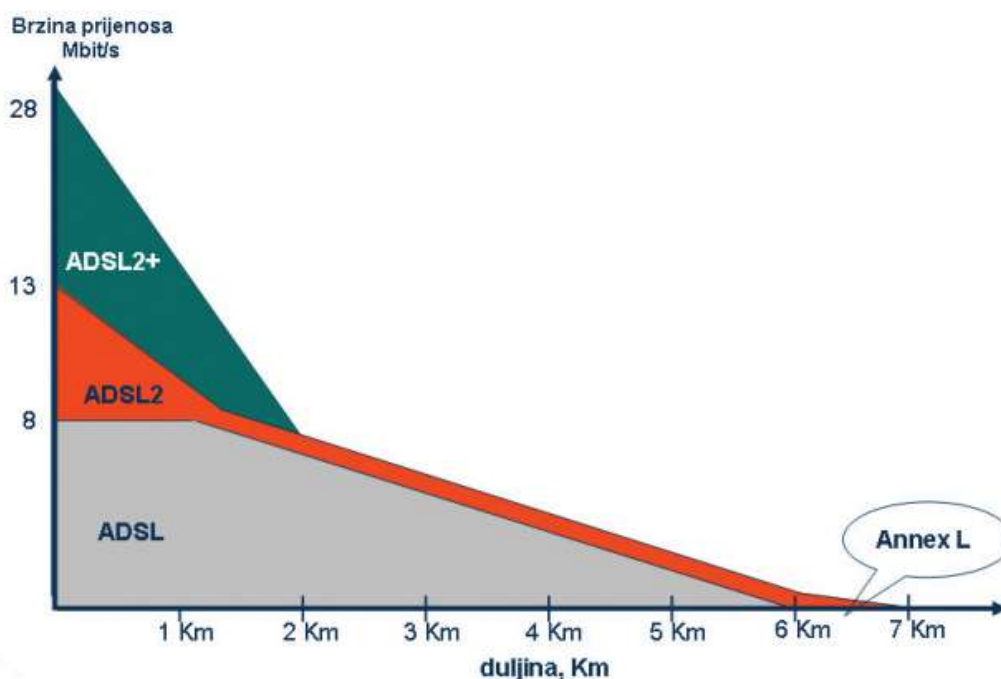
Korištenjem proširenog frekvencijskog spektra, ADSL2+ tehnologija omogućava postizanje većih brzina prijenosa na kraćim duljinama parica. Maksimalne brzine

prijenosa koje omogućava ADSL2+ tehnologija su 28,7 Mbit/s na silaznoj liniji, te 1,5 Mbit/s na uzlaznoj liniji, što je prikazano na slici 13. [5]



Slika 14. Prijenosne brzine ostvarene pomoću ADSL2+ (apscisa prikazuje duljinu lokalne petlje u kft (1 kft $\approx$ 305 m), a ordinata prijenosnu brzinu u Mbit/s) [2]

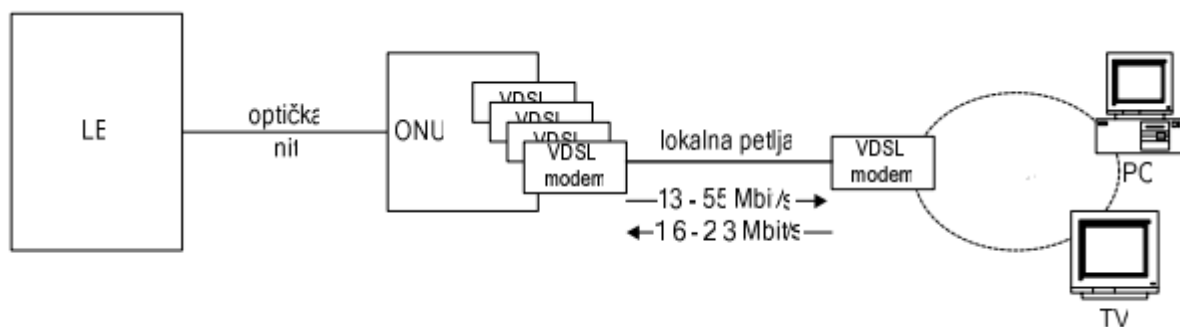
Prikaz općenite usporedbe brzine prijenosa u ovisnosti o duljini bakrene parice za sve tri ADSL tehnologije donosi slika 15. Osnovna karakteristika ADSL tehnologija je da brzina prijenosa pada s duljinom bakrene parice. Iz prikaza je vidljivo da ADSL2+ tehnologija daje bolje rezultate (veće brzine prijenosa) za duljinu parice manje od 2 km, dok je na duljinama parice većim od 2 km ADSL2 tehnologija prikladnija. [4]



Slika 15. ADSL/ADSL2/ADSL2+ brzine prijenosa [4]

U realnim uvjetima, maksimalna moguća brzina ovisiti će, osim o duljini parice, i o kvaliteti parice, kvaliteti spojeva, utjecajima okoline, kao što su npr. preslušavanje i šumovi.

VDSL je jedna od tehnologija koje omogućavaju ostvarenje koncepta FTTN (engl. *Fiber To The Network*). Obzirom da su krajnji korisnici postali sve zahtjevniji po pitanju prijenosnih brzina, VDSL tehnologija postaje dobar izbor u složenijim okolinama u kojima je potreban istovremeni prijenos govorne telefonije, interaktivnog videa i brzih podatkovnih usluga na veće udaljenosti između krajnjih korisnika i lokalne centrale, a gdje ADSL tehnologija pokazuje slabe performanse. U takvim situacijama, operatori kao rješenje odabiru upravo kombinaciju optičkih niti i upredenih parica. VDSL je jedna od tehnologija koje omogućavaju ostvarenje koncepta FTTN. Arhitekturu FTTN-a čini kombinacija optičkih niti koje povezuju lokalnu centralu s optičkim mrežnim jedinicama (ONU - engl. *optical network units*) i od upredenih parica koje povezuju krajnje korisnike s ONU-ima. VDSL-modemi su instalirani na oba kraja svake lokalne VDSL petlje, realizirane jednom upredenom paricom. Arhitektura FTTN-a, odnosno VDSL-a, prikazana je slikom 16. [5]



Slika 16. Kombinacija optičkih niti i upredenih parica (FTTN + VDSL) [2]

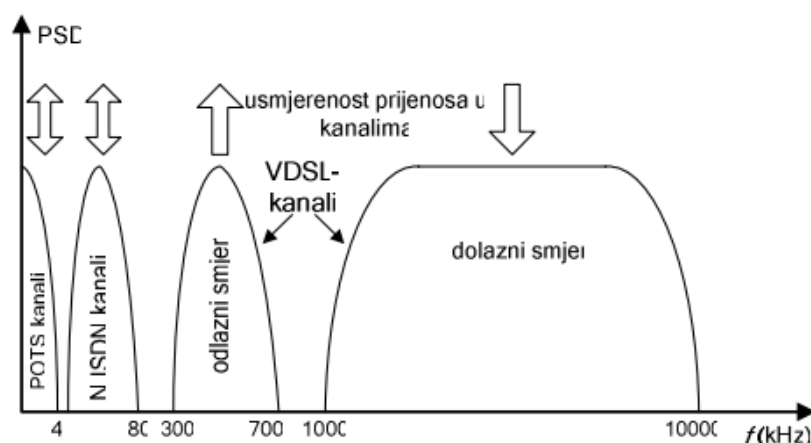
VDSL podržava simetričan i asimetričan prijenos signala. U tablici 2. dane su brzine prijenosa signala za različite inačice VDSL-a.

Tablica 2. Prijenosne brzine podržane VDSL-om [2]

Inačica VDSL-a	Domet (m)	Dolazna brzina (Mbit/s)	Odlazna brzina (Mbit/s)
asimetrična	900	26	3
asimetrična	300	52	6
simetrična	900	13	13
simetrična	300	26	26

Signale u smjeru od lokalne centrale prema udaljenim korisničkim lokacijama moguće je prenositi na veće udaljenosti nego što je to slučaj u prijenosu u suprotnom smjeru zato što je štetan utjecaj preslušavanja jače izražen na strani lokalne centrale nego na lokaciji krajnjeg korisnika. Tu pojavu uzrokuje činjenica da se, promatrajući odlazni smjer prijenosa, sve više upredenih parica nalazi u zajedničkom kabelu kako se približavamo lokalnoj centrali, pri čemu svaka parica u kabelu generira preslušavanje na ostalim sustavima u zajedničkom kabelu. Obratno, promatrajući dolazni smjer prijenosa, lokalne petlje se granaju iz jednog zajedničkog kabela, što znači da kabele koji su bliži krajnjim korisnicima sadrže manje parica, te su samim time preslušavanja u njima manja. Kako bi se izbjegle pogreške u prijenosu nastale zbog preslušavanja razdvajaju se odlazni od dolaznog kanala, te se oni još odvajaju od tradicionalne fiksne analogne telefonske usluge (POTS - engl. *Plain Old Telephone Service*). Preslušavanje je pojava koja je javlja kod digitalnih pretplatničkih linija i ona uzrokuje da se primljeni signali krivo interpretiraju prilikom detekcije simbola u prijemniku, uslijed čega se povećava vjerojatnost pogreške bita (BER - engl. *bit error ratio*). Početne inačice VDSL-a koristile su za razdvajanje kanala tehniku koje se naziva multipleksiranje po frekvencijski raspodijeljenim kanalima (FDM - engl. *Frequency division 4 multiplexing*), što je prikazano slikom 17., dok

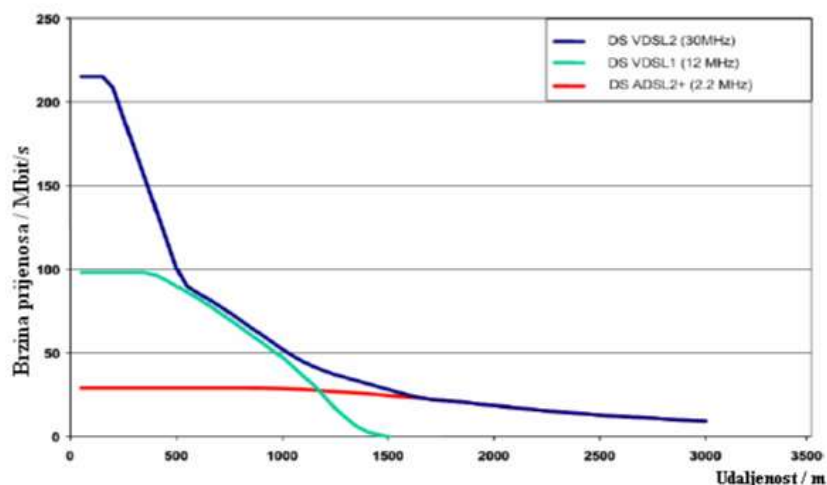
novije inačice koriste tehniku poništavanje odjeka⁴ (EC - engl. *echo cancellation*). Relativno velika frekvencijska razlika između najnižeg podatkovnog kanala i POTS-kanala omogućava korištenje vrlo jednostavnih i jeftinih POTS-razdjelnika. Gornja granična frekvencija u pojasu kojeg koristi VDSL iznosi najviše 30 MHz u sustavima čiji je domet prijenosa kraći od 300 m, odnosno najviše 10 MHz u sustavima čiji domet seže do 1 km. [16]



Slika 17. Dodjela frekvencijskih kanala u inačici VDSL-a koja odlazni od dolaznog kanala razdvaja FDM-om [2]

VDSL2 je simetrična prijenosna usluga koja podržava prijenosnu brzinu od 100 Mbit/s u oba smjera. Utemeljena je na diskretnoj višetonskoj modulaciji. Proširenjem frekvencijskog pojasa VDSL2 sve do 30 MHz, novi primopredajnici podržavaju simetrične brzine od 100 Mbit/s jednom upredenom paricom do udaljenosti veće od 350 metara. Na slici 18. prikazani su odnosi u brzinama prijenosa kod VDSL-a, VDSL2 i ADSL2+. [16]

⁴ EC - dodjeljuje odlaznu širinu pojasa za prekrivanje dolaznog signala, a odvaja ih pomoću odvajanja odjeka, čime vrlo učinkovito koristi širinu frekvencijskog pojasa. Dolazni i odlazni signali se mogu preklapati ako se koristi poništavanje odjeka.



Slika 18. Usporedba brzina prijenosa ADSL2+, VDSL, VDSL2 [16]

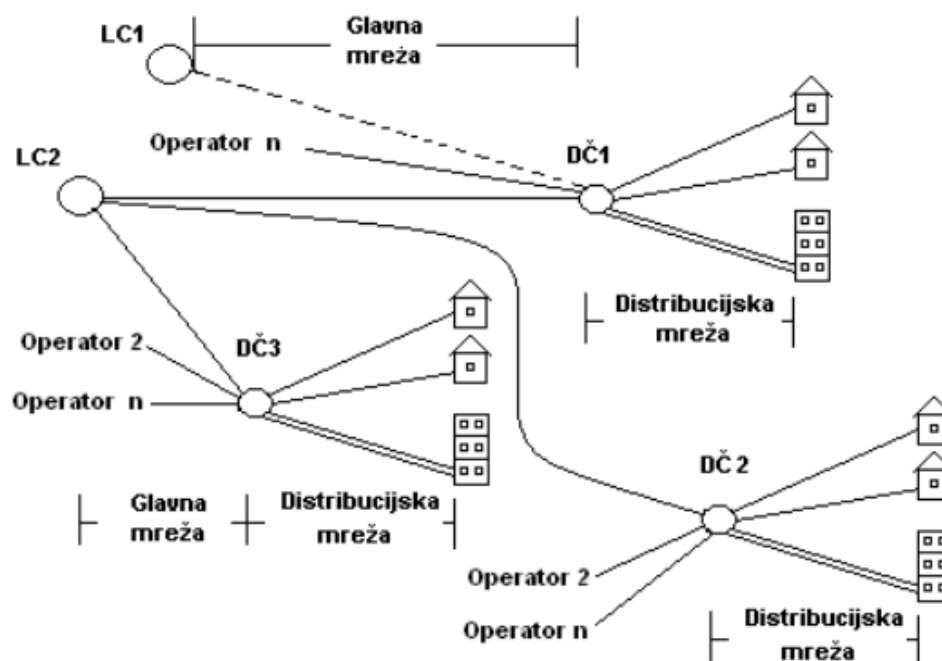
Kako bi se zadovoljile potrebe tržišta pristupnih tehnologija za lokalnim petljama srednje i velike duljine, srednja snaga predajnika je povećana na 20 dBm, a specificirano je i korištenje tehnike poništavanja odjeka kako bi se u dugačkim petljama omogućilo postizanje performansi sličnih onima kod ADSL-a. Kako bi se prijenosna brzina i raspoloživi kanali iskoristili na najučinkovitiji način, u VDSL2-standard su uključeni fleksibilno uokvirivanje podataka (engl. *flexible framing*), tj. kreiranje okvira promjenjive duljine, rekonfiguracija linije tehnikom kontinuirane prilagodbe prijenosne brzine u stvarnom vremenu (SRA - engl. *seamless real-time data rate adaptation*) i tehnika skraćeno nazvana DRR⁵ (engl. *Dynamic Rate Repartitioning*). VDSL2 je prije svega specificiran kako bi podržao prijenos višekanalskog HDTV-a, videa na zahtjev i videokonferencija, te transfer govora protokolom IP (VOIP - engl. *Voice over Internet Protocol*). [16]

⁵ DRR - omogućava automatsko ponovno raspoređivanje širine pojasa između raspoloživih kanala.

2.2. SVJETLOVODNE PRISTUPNE MREŽE

Svjetlovodna mreža je telekomunikacijska mreža koja koristi svjetlovodne niti kao primarni prijenosni medij, a razvijena je na način da u potpunosti iskoristi njihove jedinstvene karakteristike.

Svjetlovodna pristupna mreža sastoji se od glavne svjetlovodne mreže i svjetlovodne distribucijske mreže (ODN - engl. *Optical Distribution Network*). Točka razgraničenja između dijelova svjetlovodne pristupne mreže je distribucijski čvor (DČ). Dijelovi svjetlovodne pristupne mreže prikazani su na slici 19. Dio između lokalne centrale (engl. *local exchange* ili *PoP* - engl. *Point of Presence*, ili *CO* - engl. *Central Office*), odnosno lokalnog čvora (LČ), i DČ-a je glavna svjetlovodna mreža, dok je dio između DČ-a i mrežnog sučelja na strani korisnika svjetlovodna distribucijska mreža. [5]



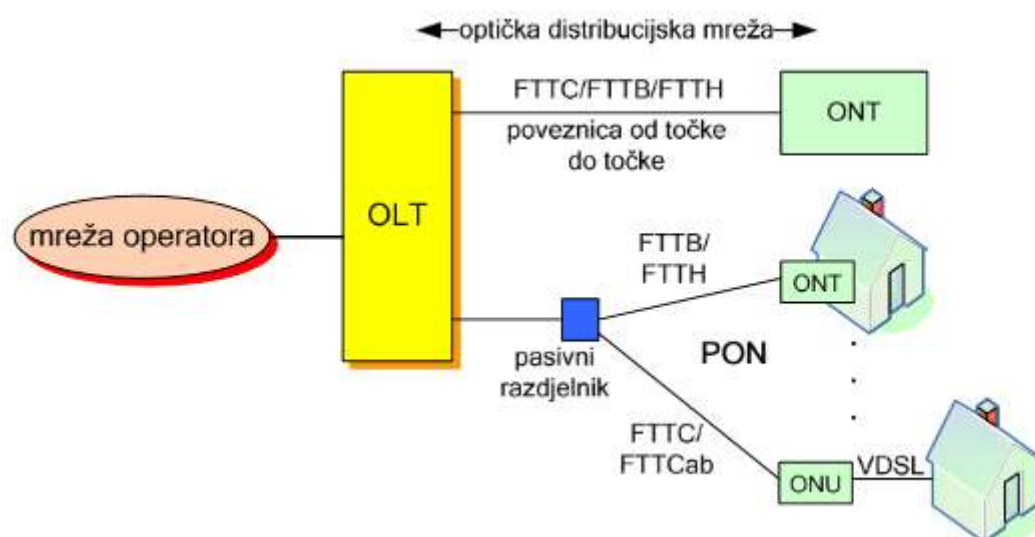
Slika 19. Osnovni dijelovi svjetlovodne pristupne mreže [6]

Svjetlovodna distribucijska mreža, prema propisima u Hrvatskoj, treba biti izgrađena na načelima arhitekture P2P⁶. Ona je pasivna svjetlovodna mreža bez

⁶ P2P - topologija točka - točka. Topologija spajanja dviju krajnjih točaka na način da ih povezuje dedikirano/rezervirano svjetlovodno vlakno.

aktivne opreme i opreme za dijeljenje kapaciteta, a može biti izvedena kao nadzemna i/ili podzemna. Širokopojasni pristup svjetlovodnim nitima podijeljen je prema sljedećim konceptima FTTx (engl. *Fiber to the x*):

- optičke niti do stana – FTTH (engl. *Fiber to the Home*);
- optičke niti do zgrade – FTTB (engl. *Fiber to the Building*);
- optičke niti do pločnika – FTTC (engl. *Fiber to the Curb*) ili FTTK (engl. *Fiber to the Kerb*) i
- optičke niti do kabineta – FTTCab (engl. *Fiber to the Cabinet*). [5]



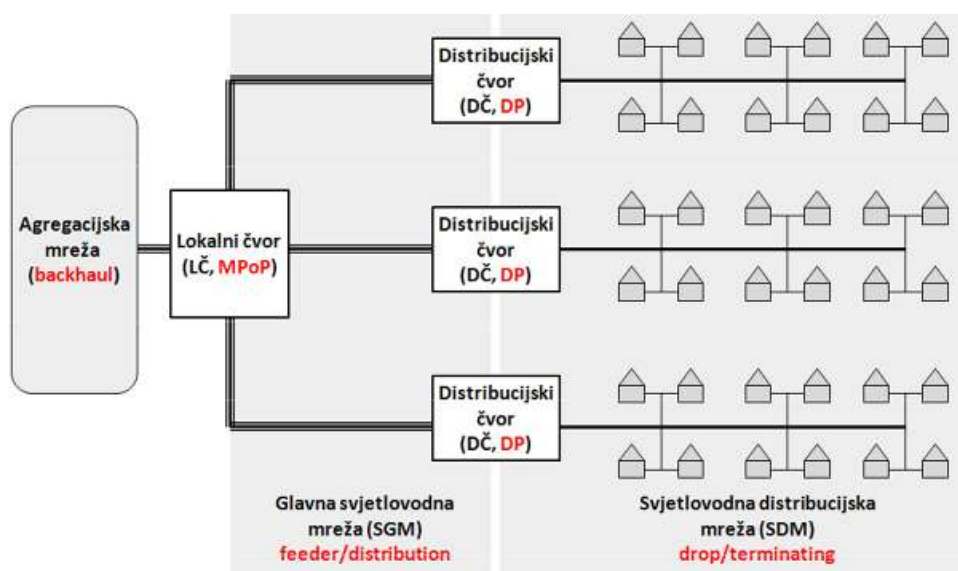
Slika 20. FTTx arhitektura [5]

Slika 20. prikazuje arhitekturu FTTx sustava. U sustavima FTTH i FTTB optički linijski terminal (OLT - engl. *Optical Line Terminal*) povezan je s pomoću optičkih niti s optičkim mrežnim završecima (ONT - engl. *Optical Network Termination*) instaliranim u kućama ili zgradama. U FTTC i FTTCab, OLT je s pomoću optičkih niti povezan s optičkim mrežnim jedinicama (ONU - engl. *Optical Network Unit*) smještenima u blizini skupine kuća ili zgrada koje su nekom od DSL-tehnologija (ADSL ili VDSL) povezane s mrežnim završecima (NT - engl. *Network Termination*) unutar samih kuća ili zgrada. Pristupnu mrežu utemeljenu na FTTx-tehnologijama fizički je moguće realizirati s pomoću poveznica od točke do

točke, od kojih svaka izravno povezuje centralu i krajnjeg korisnika ili s pomoću pasivne optičke mreže. [5]

FTTH je krajnja faza razvoja sveoptičke pristupne mreže. U ovom slučaju svjetlovodna nit dolazi do samog prostora krajnjeg korisnika i u potpunosti je istisnula potrebu za hibridnim rješenjima. Ovo rješenje pruža najveće moguće kapacitete preko velikih udaljenosti. Aktivnu opremu je moguće smjestiti u lokalne centrale čime se uvelike smanjuju troškovi održavanja i složenost same mreže.

FTTH mreža prikazana slikom 21. podrazumijeva pristupnu mrežu izvedenu pomoću svjetlovodnih niti između krajnjih korisnika i prvog agregacijskog čvora operatora (lokalnog čvora – LČ, odnosno engl. *Metro Point of Presence* – MPoP). Unutar FTTH mreže smješten je i distribucijski čvor (DČ, engl. *Distribution Point* – DP), kao točka razgraničenja krajnjeg segmenta mreže prema korisnicima - svjetlovodne distribucijske mreže (SDM, odnosno engl. *drop* ili *terminating segment*) te preostalog segmenta mreže prema LČ-u – glavne svjetlovodne mreže (SGM, odnosno engl. *feeder* ili *distribution segment*). DČ je fizička točka agregacije većeg broja trasa vođenja svjetlovodnih niti iz SDM-a, uobičajeno u nekoliko trasa vođenja svjetlovodnih niti u SGM-u. Unutar područja pokrivanja jednog LČ-a nalazi se više DČ-ova. Od LČ-a prema jezgri mreže (engl. *core network*), nalazi se agregacijska transportna mreža (uobičajeno nazvana engl. *backhaul*). [7]



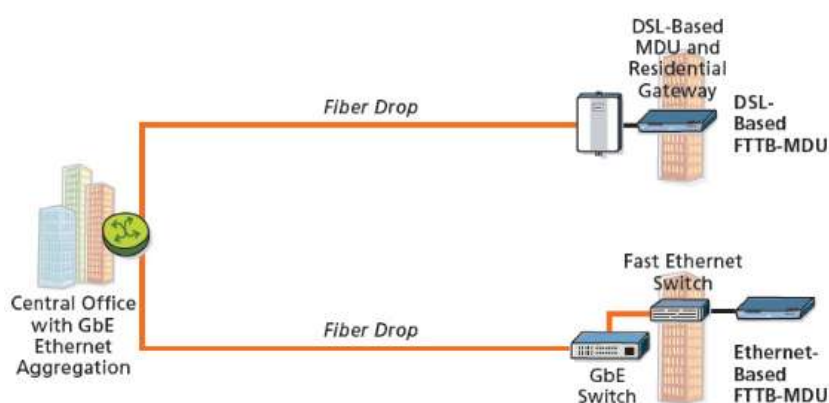
Slika 21. Dijelovi i čvorovi u FTTH mrežama [7]

Važan segment FTTH mreže, pogotovo u višestambenim zgradama, predstavlja i završna kućna instalacija svjetlovodnih niti koja se proteže od uvida u zgradu do prostora (stana) krajnjeg korisnika. Naime, za razliku od tradicionalnih kućnih instalacija bakrenih parica, koje su većinom položene unutar postojećih zgrada, svjetlovodne instalacije nisu izvedene unutar većine zgrada (ili su moguće izvedene samo kod manjeg broja novogradnji), te je, u troškovnom smislu, i taj završni segment FTTH mreže uvijek uključen u proračune kao trošak infrastrukturnog operatora u SDM segmentu FTTH mreže. S obzirom da u većini postojećih zgrada adekvatni podžbukni kanali (vertikalni i horizontalni razvodi), koji bi mogli služiti za vođenje svjetlovodnih kabela, ne postoje ili su zauzeti s drugim vrstama instalacija (strujni kabeli, bakrene parice), preporuča se postavljanje novih nadžbuknih kanala za vođenje svjetlovodnih kabela unutar zgrada. Unutar tako postavljenih kanala predviđeno je polaganje završnih svjetlovodnih kabela s manjim brojem niti, koji neposredno opslužuju svakog krajnjeg korisnika. Neovisno o veličini zgrade, odnosno broju potencijalnih krajnjih korisnika, na uvodu svake zgrade predviđeno je postavljanje adekvatnog svjetlovodnog prospojnika (kućni razvodni ormarić), kao fleksibilne prospojne točke između SDM dijela pristupne mreže i kućne instalacije⁷. [7]

Kod FTTB svjetlovodna nit doseže rubni dio zgrade, npr. podrum unutar zgrade, a završno spajanje svakog posebnog prostora krajnjeg korisnika odrađeno je nekim neoptičkim načinom, npr. tradicionalnim koaksijalnim kabelima ili bakrenim paricama. U praksi taj dio nije duži od 50 m. Po definiciji se FTTB primjenjuje samo na zgrade koje sadrže više stambenih ili poslovnih prostora. Kod FTTB oprema za ostvarenje veze se postavlja u centrali i unutar zgrade, a veza između te dvije točke se ostvaruje preko pasivne point-to-point konekcije. FTTB je sličan FTTH sa iznimkom da istodobno posluživuje više korisnika ili pak samo jednog korisnika na nekoj lokaciji, dok FTTH posluživuje samo jednog korisnika (FU - engl. *family unit*). Na strani korisnika optička veza se prekida na ONT odnosno MDU jedinici gdje se svjetlosni signali pretvaraju u električne. FTTB – MDU sustav je sačinjen od DSLAM ili Ethernet

⁷ Telekomunikacijski operatori dužni su prema odluci HAKOM-a za svaki stambeni objekt u kojem postoji namjera instalacije svjetlovodnih niti, dobiti suglasnost od predstavnika stanare svake stambene jedinice.

switcha postavljenom na korisnikovom posjedu (obično u podrumu ili ormaru) i DSL-a (CAT5/5E/6) kategorije kabela korištene za dovođenje usluge do korisnika po katovima zgrade. Upravo to omogućava MDU jedinicama da budu poslužene sa jednim ili više GbE (gigabit ethernet) uređaja na samom ulazu u zgradu. FTTB arhitektura prikazana je slikom 22. FTTB-MDU aplikacije su najčešće identične po principu kao i kod FTTN vanjskog postrojenja, pa oprema koja se nalazi u tom postrojenju mora biti prilagodiva i sposobna da radi u ekstremnim uvjetima kao što su temperature od -40 do 65 celzijevih stupnjeva. Osim toga sučelja moraju biti zaštićena od raznih vanjskih naponskih smetnji koje mogu znatno naštetiti opremi. [8]



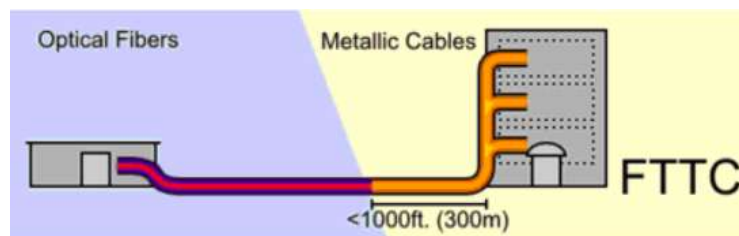
Slika 22. FTTB mrežna arhitektura [8]

FTTC je telekomunikacijski sustav baziran na optičkim kabelima koja služi za posluživanje nekolicine korisnika. Svaki od tih korisnika ima konekciju na ovu optičku petlju preko koaksijalnog kabela ili upletene parice. Ako petlja poslužuje korisnike koji su udaljeni barem 300m tada se takva optička arhitektura naziva FTTC.

Fiber to the Curb (pločnika) omogućava dostavu širokopojasnih usluga kao što je internet velikih brzina. Komunikacijski protokoli velikih brzina kao što su širokopojasni kabelski pristup DOCSIS⁸ (engl. *Data Over Cable Service Interface Specification*) ili neke vrste DSL tehnologija koriste se između kabineta (pločnika) i krajnjeg korisnika. Arhitektura FTTC je realizirana tako da je FTTC kabinet postavljen blizu pločnika gdje se optičko vlakno prostire do vanjskog kabineta na udaljenosti od 300 do 600m

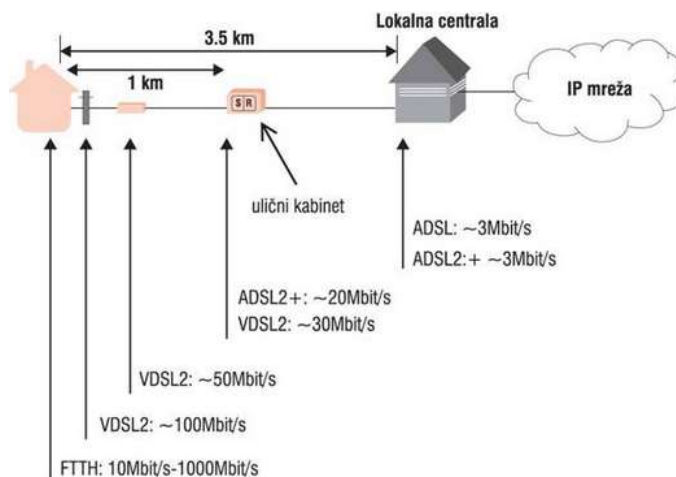
⁸ DOCSIS - Glavni standard u području kabelskih modema.

od korisnika, a do korisnika se koristi bakrena linija uz korištenje VDSL tehnologije koja omogućava propusnost od 100Mbit/s do korisnika. Isto tako brzina prijenosa podataka varira ovisno o trenutnom protokolu koji se koristi, te o tome koliko je udaljen korisnik od kabineta (pločnika). FTTC arhitektura prikazana je slikom 23. [8]



Slika 23. FTTC arhitektura [8]

FTTCab je telekomunikacijska arhitektura bazirana na optičkim kabelima koja je osmišljena za opskrbljivanje korisnika odnosno susjedstva informacijama od TK ormara do kojeg se taj prijenos informacija obavlja preko optičkog vlakna. Korisnici se priključuju na taj ormar ili kabinet posredstvom standardnog koaksijalnog kabla ili upletene parice. Radijus područja koje se obično poslužuje ovom vrstom optičke petlje manja je od 1500m. Broj korisnika koji ova optička petlja može posluživati u danom području obično iznosi do nekoliko stotina korisnika. Prikaz povezanosti dužine petlje i brzine protoka podataka prikazan je slikom 24.



Slika 24. FTTCab i brzine prijenosa ovisno o duljini petlje [28]

Ulaganjima u pristupnu infrastrukturu operatori mogu skraćivati bakrenu paricu na način da se ista zamjenjuje svjetlovodnim kabelom od glavnog razdjelnika do uličnog kabineta) ili druge sabirne točke u nepokretnoj elektroničkoj komunikacijskoj mreži.

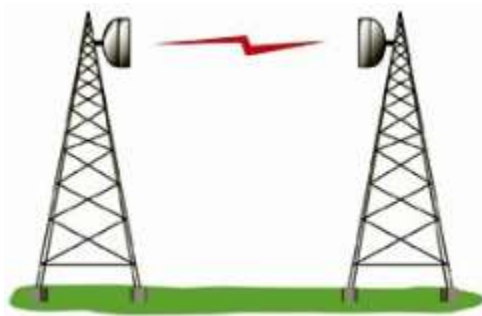
Unutar uličnog kabineta ili neke druge sabirne točke pristupni operator postavlja DSLAM te putem VDSL tehnologije omogućava krajnjim korisnicima brži prijenos podataka u odnosu na prijenos podataka putem ADSL tehnologije i njezinih inačica. [7] FTTCab je telekomunikacijska arhitektura koja se najčešće primjenjuje pri opskrbljivanju većeg broja korisnika u gusto naseljenim novijim stambenim naseljima.

2.3. RADIJSKI ŠIROKOPOJASNI PRISTUP

Radijski širokopojasni pristup kao alternativa DSL-u omogućen je tehnologijama i normama za upravljanje radiofrekvencijskim spektrom kao i nadzora nad njegovim korištenjem, a predstavlja ekonomično rješenje za neka ruralna područja u kojima je gospodarski neisplativa izgradnja fiksne telekomunikacijske infrastrukture. Najbitnije tehnologije radijskog širokopojasnog pristupa su:

- Radijska mreže gradskih područja - tehnologija WiMAX i
- Mobilne širokopojasne tehnologije temeljene na 3G i 4G tehnologijama

WiMAX (engl. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) komercijalni je naziv za tehnologije bazirane na IEEE 802.16 grupi normi. IEEE⁹ je formirao navedenu grupu radi razvoja norme za mreže gradskog područja. Norma je finalizirana 2001. te je nakon nekoliko revizija nastala norma 802.16-2004 koja je osnova fiksnog WiMAX-a. Sama norma nudi čitav spektar različitih mogućnosti dizajna: više različitih radijskih sučelja, MAC arhitekture, načina dupleksiranja, frekvencijskog područja itd. Prikaz prijenosa podataka na daljinu putem WiMAX tehnologije prikazan je slikom 25.



Slika 25. WiMAX prijenos podataka [29]

WiMAX je bežična tehnologija koja omogućava širokopojasni bežični pristup internetu uz upotrebu radiofrekvencijskog spektra od 2 do 11 GHz. Riječ je o tehnologiji koju odlikuje velika pokrivenost od 15 do 50 km (ovisi o optičkoj vidljivosti i

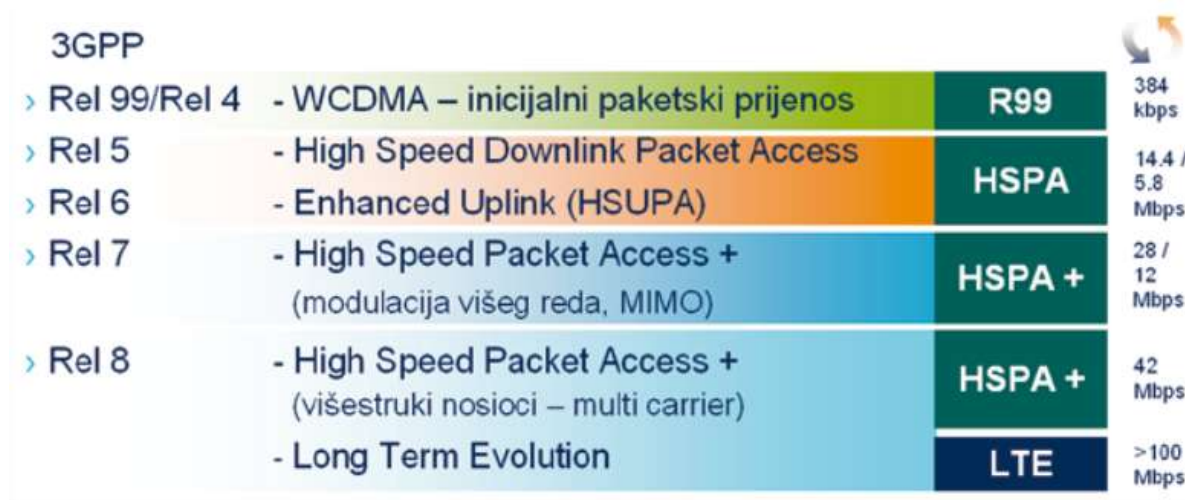
⁹ IEEE (eng. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) - Institut inženjera elektrotehnike i elektronike

ostalim smetnjama) te velika propusna moć. WiMAX ne treba telefonski priključak već samo vanjsku jedinicu (antenu/modem/primopredajnik). Ona se preko UTP kabla spaja s unutarnjom jedinicom te se ta unutarnja jedinica spaja s računalom. Radijski dio WiMAX sustava temeljen je na OFDM tehnologiji prijenosa s 256 nosilaca. Korištenjem OFDM tehnologije, informacija koja se šalje radijskim putem raščlanjuje se na 256 međusobno nezavisnih, ortogonalnih, radijskih signala koji se na prijemnoj strani radijske veze ponovno slažu u koherentnu informaciju. Sustav radi u radiofrekvencijskom području od 3.5 GHz, kako uz vidljivi kontakt (optičku vidljivost) između bazne postaje i pretplatničkog terminala, tako i bez njega (NLOS - engl. *Non Line of Sight*). Između bazne stanice i korisničkog terminala ne mora postojati optička vidljivost, što omogućava korištenje u urbanim sredinama. To je omogućeno primjenom odgovarajućeg postupka radijskog prijenosa OFDM-om kojim se iskorištavaju raspršeni i reflektirani elektromagnetski valovi kako bi se u prijemniku radijskog sustava uspješno rekonstruirao primljeni signal. U praksi jedna bazna stanica može opslužiti korisnike u krugu do 15 kilometara s brzinama prijenosa do 12 Mbit/s, što opet ovisi o samom kapacitetu propusnosti bazne stanice. [8]

3G tehnologija brzog paketskog pristupa (HSPA – engl. *High Speed Packet Access*) nametnula se kao nositelj naglog širenja širokopoasnog mobilnog pristupa internetu. Unatoč njenom konstantnom unapređivanju, zbog kapacitivnih ograničenja i limitiranih mogućnosti postizanja još viših performansi, kao i zbog zahtjeva za povećanjem efikasnosti upotrebe radijskih resursa i sniženjem troškova održavanja, krenulo se u razvoj nove tehnologije pod nazivom LTE (engl. *Long Term Evolution*). Navedeni zahtjevi proizlaze iz potrebe za podrškom novih naprednih usluga u mobilnom svijetu, od multimedijalne telefonije, preko prijenosa velike količine podataka kroz društveno umrežavanje do streaminga HDTV signala, a sve uz mogućnost istovremenog pružanja širokopoasnog pristupa velikom broju korisnika mobilne mreže. LTE se razvija kao novi globalno prihvaćeni 3GPP (engl. *Third Generation Partnership Project*) standard za evoluiranu UTRAN (engl. *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) mrežu. [9]

Ključne tehnologije kojima se omogućuje postizanje visokih brzina prijenosa uključuju radijsko sučelje temeljeno na OFDM pristupu, upotrebu više-antenskih

rješenja (MIMO¹⁰ – engl. *Multiple Input, Multiple Output*) te fleksibilnost upotrebe frekvencijskog spektra. [9]



3GPP			
> Rel 99/Rel 4	- WCDMA – inicijalni paketski prijenos	R99	384 kbps
> Rel 5	- High Speed Downlink Packet Access	HSPA	14.4 / 5.8 Mbps
> Rel 6	- Enhanced Uplink (HSUPA)		
> Rel 7	- High Speed Packet Access + (modulacija višeg reda, MIMO)	HSPA +	28 / 12 Mbps
> Rel 8	- High Speed Packet Access + (višestruki nosioci – multi carrier)	HSPA +	42 Mbps
	- Long Term Evolution	LTE	>100 Mbps

Slika 26. Evolucija 3GPP tehnologija [9]

Krajem 1998.g. formiran je Projekt partnerstva za treću generaciju (3GPP – engl. *Third Generation Partnership Project*) – kolaboracija više telekomunikacijsko-standardizacijskih tijela iz svih dijelova svijeta, koja razvija tehničke specifikacije za WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*) pristup u FDD¹¹ i TDD¹² modu UMTS sustava. Prve komercijalne 3G mreže pokrenute su 2001.godine u Japanu i 2003. u Europi. Evolucije WCDMA mreža nastavljena je uvođenjem brzog paketskog pristupa (HSPA - engl. *High Speed Packet Access*) kroz kontinuirana unapređenja koja donose nova izdanja 3GPP specifikacija (HSDPA, HSUPA, HSPA+). Upravo je 3GPP standardizacijsko tijelo koje je odgovorno za nastanak i razvoj LTE standarda kao nove tehnologije u mobilnim mrežama četvrte generacije (4G). Kratki prikaz razvoja mobilnog širokopojasnog pristupa internetu prikazan je slikom 26. [9]

¹⁰ MIMO - matematički model komunikacijskog sustava s više prijemnih i odašiljačkih antena.

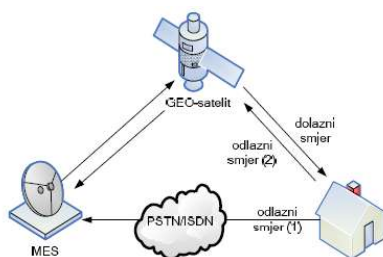
¹¹ FDD - dupleks s frekvencijskom podjelom (eng. *Frequency Division Duplex*).

¹² TDD - dupleks s vremenskom podjelom (eng. *Time Division Duplex*).

2.4. PRISTUP PUTEM SATELITSKIH VEZA

Usluga širokopojasnog pristupa internetu putem satelitskih veza nije primjenjiva za povezivanje gdje god postoji alternativno rješenje. Satelitske veze su iskoristive u slučajevima kada je potrebno realizirati vezu tamo gdje ne postoji zemaljska infrastruktura. Zbog velike udaljenosti koju mora preći signal, kod satelitskih tehnologija dolazi do očitih kašnjenja u komunikaciji. Iako su razvojem tehnologije inicijalna kašnjenja smanjena, ista i dalje nisu u potpunosti uklonjena.

Za lokacije gdje je širokopojasni pristup internetu putem satelitskih veza jedino rješenje, korisnici na raspolaganju mogu imati jedino ograničen skup usluga malih zahtjeva za propusnošću i koje se ne odvijaju u stvarnom vremenu, dok su aplikacije poput videokonferencija neprimjenjive. Osim toga, za razliku od tarifnih paketa putem ADSL pristupa putem bakrene parice, korisnik širokopojasnog pristupa internetu putem satelitskih veza nema mogućnost odabira paketa s neograničenim prometom. S obzirom da većina korisnika danas koristi pakete s neograničenim prometom, HAKOM smatra da usluga širokopojasnog pristupa internetu putem satelitskih veza nije zamjenska usluga ADSL pristupu putem bakrene parice. [9]



Slika 27. Satelitski pristup s povratnim kanalom [5]

Za realizaciju satelitskog širokopojasnog pristupa Internetu koriste se VSAT-sustavi (engl. *Very Small Aperture Terminal*) prikazani na slici 27. VSAT-sustavi se sastoje od tri komponente: VSAT-stanice krajnjeg korisnika (engl. *VSAT remote earth station*), glavne zemaljske VSAT-stanice (engl. *Master Earth Station – MES*) i geostacionarnog (GEO) satelita. Većina satelitskih sustava krajnjim korisnicima nudi brzine u rasponu od 64 kbit/s do 2 Mbit/s. [5]

3. ANALIZA RAZVOJA ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU U REPUBLICI HRVATSKOJ I EUROPSKOJ UNIJI

Temeljem Strategije razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020. godine utvrđeno je da je razvoj infrastrukture i usluga širokopojasnog pristupa Internetu, brzinama većim od 30 Mbit/s, jedan od strateških interesa za razvoj suvremenog gospodarstva, te se istom daje snažan poticaj stvaranju preduvjeta za dostizanje dostupnosti i korištenja širokopojasnog pristupa Internetu jednakih barem prosjeku Europske unije, do kraja 2020. godine. Unutar nacionalnog plana i strategije razvoja širokopojasnog pristupa internetu potiče se, u svrhu ostvarivanja ciljeva, uvođenje mreža nove generacije, uz primjenu tehnologije svjetlovodnih niti temeljene na FTTx standardu u nepokretnoj komunikacijskoj mreži te dodjelom i uporabom raspoloživog radiofrekvencijskog spektra za izgradnju mreža pokretnih komunikacija temeljenih na LTE tehnologijama. U pripremi ove Strategije Vlada Republike Hrvatske koristila se rezultatima i iskustvom provedbe Strategije razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2012. do 2015. godine. Navedena Strategija slijedila je ciljeve razvoja širokopojasnog pristupa u skladu sa smjernicama Europske komisije. Obilježja dosadašnjeg razvoja mreža osnovnog širokopojasnog pristupa su:

- kasni početak razvoja tržišta osnovnog širokopojasnog pristupa (2005. godine);
- ispodprosječna gustoća priključaka širokopojasnog pristupa internetu;
- korištenje najrasprostranjenije mreže simetričnih bakrenih parica i DSL tehnologija za ostvarenje osnovnog širokopojasnog pristupa za najveći dio populacije i
- postojanje infrastrukturnog natjecanja u osnovnom širokopojasnom pristupu samo u dijelovima najvećih urbanih sredina, zasnovanog najviše na kabelskoj infrastrukturi.

Krajem 2015. godine broj priključaka širokopojasnog pristupa Internetu putem nepokretne elektroničke komunikacijske mreže dosegao je 986.215 priključaka (gustoća 23,02 %), što je prikazano slikom 28. Istodobno, oko 75 % stanovnika

Republike Hrvatske internetu pristupa putem pokretne mreže zahvaljujući porastu broja pametnih telefona među korisnicima. Od toga se 8,9 % odnosi na korisnike koji Internetu pristupaju putem podatkovnih kartica i M2M¹³ (engl. machine to machine) korisnike. S obzirom na eksponencijalni rast korištenja pristupa internetu putem pokretne mreže, kao i sve zahtjevnije potrebe korisnika za većim brzinama prijenosa podataka, nove tehnologije poput LTE-a preduvjet su buduće umreženosti, a time i zadovoljavajuće kakvoće u smislu brzine prijenosa podataka. [17]



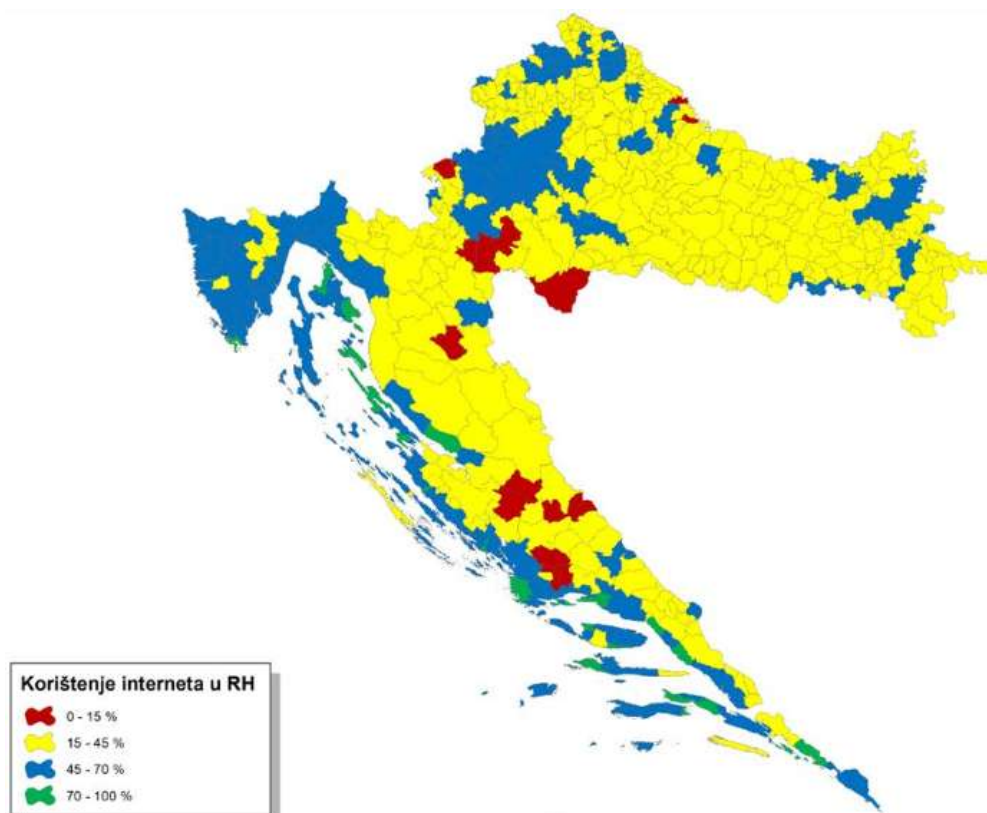
Slika 28. Gustoća priključaka širokopojasnog pristupa Internetu u RH [17]

Unatoč velikom porastu broja korisnika, u Republici Hrvatskoj i dalje postoje značajne mogućnosti za rast s obzirom na gustoću širokopojasnih priključaka od 23,02 % u nepokretnoj javnoj komunikacijskoj mreži, u odnosu na prosječnih 31,6 % u državama članicama Europske unije, posebno u području svjetlovodne pristupne mreže. [17]

U Republici Hrvatskoj prevladava širokopojasni pristup Internetu putem DSL tehnologije koji pruža većina operatora elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga, ali da bi se omogućio značajan kvalitativni iskorak u dostupnosti širokopojasnog interneta i pristupnim brzinama operatori će morati nastaviti ulaganja u infrastrukturu, odnosno u četvrtu generaciju pokretnih mreža (LTE). Dodatno, ulaganjem u tehnologiju podiže se kakvoća usluge i omogućuje razvoj i korištenje novih usluga što posredno doprinosi i rastu zadovoljstva korisnika.

¹³ M2M - rješenja za bežično podatkovno povezivanje različitih uređaja preko javne mobilne mreže

Karta korištenja širokopojasnog pristupa (≥ 2 Mbit/s) u Republici Hrvatskoj na razini grad/općina prikazana slikom 29., pokazuje veliku nejednakost (digitalni jaz) između urbanih i ruralnih područja.



Slika 29. Karta korištenja širokopojasnog pristupa [17]

Jedna od važnih odrednica Strategije je uravnotežen pristup poticanju razvoja širokopojasnog pristupa u svim područjima Republike Hrvatske. Koliko god se dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu gotovo svakodnevno širi, neka područja teško mogu očekivati da će u bližoj budućnosti imati brzi širokopojasni pristup.

Na temelju podataka DAS (engl. *Digital Agenda Scoreboard*), u ukupnom broju priključaka širokopojasnog pristupa internetu putem nepokretne mreže, prikazano slikom 30., evidentne su razlike u zastupljenosti širokopojasnih priključaka između pojedinih država članica Europske unije [17]:

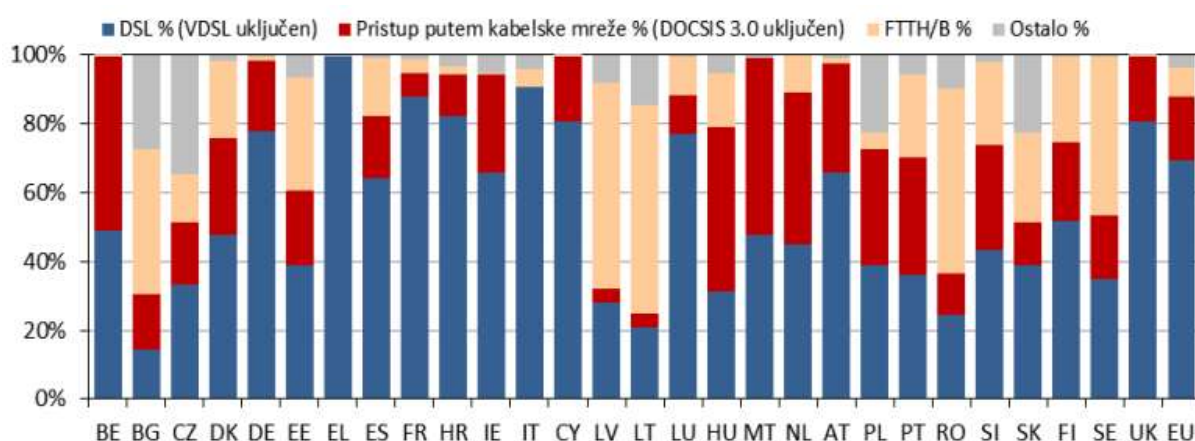
- Udjel širokopojasnog pristupa internetu putem DSL tehnologije (što uključuje i VDSL tehnologiju) kreće se od 100 % u Grčkoj do 14 % u Bugarskoj. U Hrvatskoj 82 % ukupnog broja korisnika širokopojasnog pristupa, internetu

pristupa putem xDSL tehnologije. EU prosjek krajem lipnja 2015. iznosio je 69 %;

- Udjel širokopojasnog pristupa internetu putem kabelske mreže (što uključuje i DOCSIS 3.0 tehnologiju) kreće se od 51 % u Belgiji i Malti do 0 % u Grčkoj i Italiji, budući da ista u navedenim državama nije prisutna. U Hrvatskoj iznosi 12 % dok je prosjek EU 18 % ;

- Udjel FTTH/B se kreće od 60 % u Latviji i Litvi do 0 % u Grčkoj i Malti. U Hrvatskoj je 2 % dok je prosjek EU 9 % i

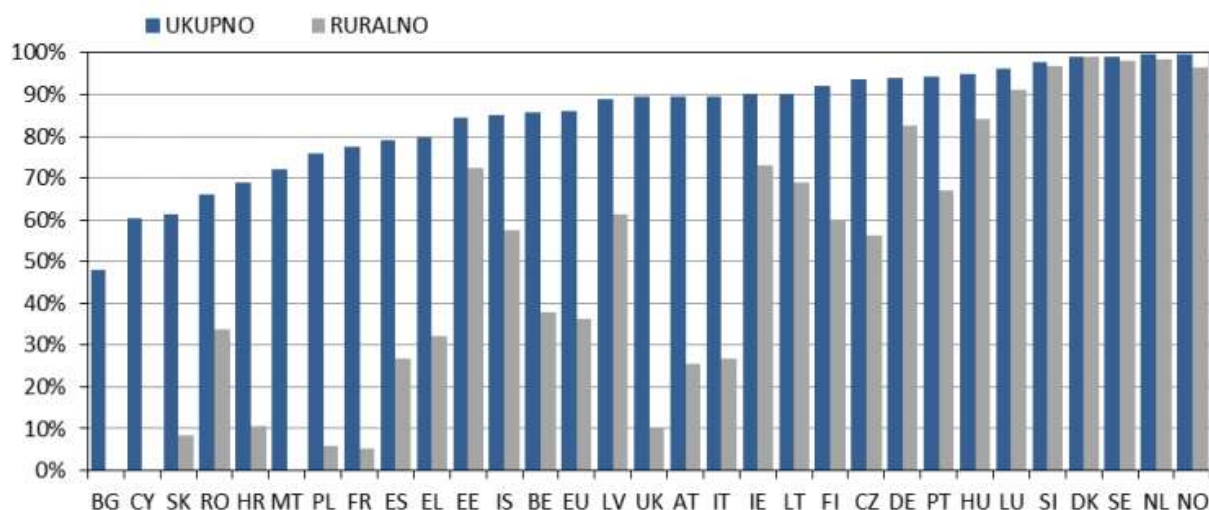
- Udjel ostalih tehnologija pristupa iznosio je 3 % u Hrvatskoj, što je gotovo na razini EU prosjeka koji je iznosio 4 %.



Slika 30. Širokopojasni pristup internetu putem nepokretne mreže - udjel tehnologija 2015. [17]

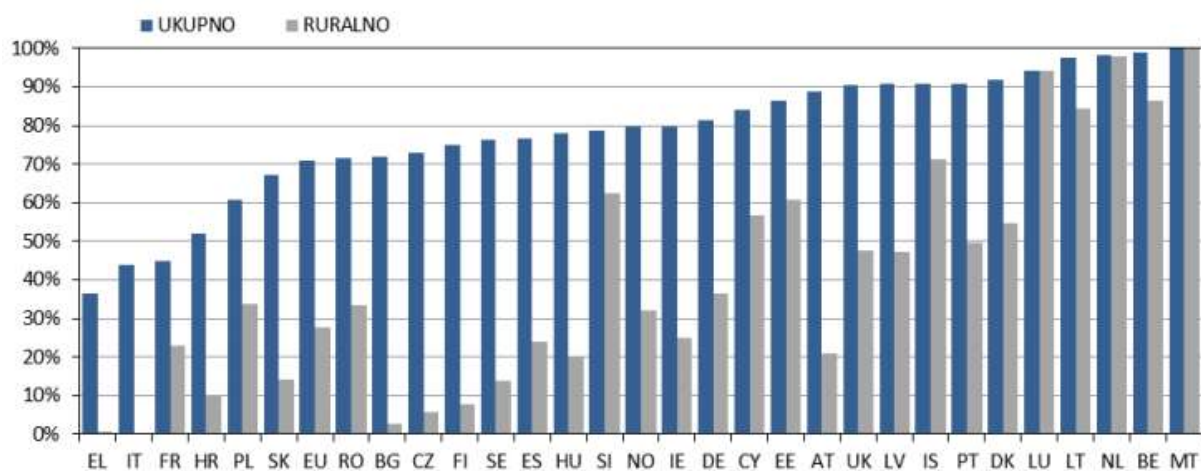
Promatrajući u posljednje tri godine, dostupnost širokopojasnog pristupa internetu putem nepokretne mreže nije se značajno mijenjala, međutim značajan je napredak vidljiv u ruralnim krajevima. Razlog sporijeg razvoja xDSL infrastrukture može se pronaći u činjenici da su se države članice više fokusirale na razvoj pristupnih širokopojasnih mreža sljedeće generacije (engl. *Next Generation Access* - NGA) infrastrukture i bežičnih tehnologija.

Slika 31. prikazuje prosječnu dostupnost LTE tehnologije u državama članicama Europske unije iznosila je 85,9 %, a kretala se od oko 100 % Norveškoj i Nizozemskoj do 48,1 % u Bugarskoj. U Republici Hrvatskoj je dostupnost LTE tehnologije iznosila 68,9 %. [17]



Slika 31. 4G (LTE) dostupnost [17]

Dosadašnji napredak u implementaciji NGA širokopojasne infrastrukture je nezadovoljavajući. Republika Hrvatska se 2015. godine nalazila na začelju država članica Europske unije. Dostupnost NGA infrastrukture u Republici Hrvatskoj iznosila je 52 % i to isključivo u urbanim dijelovima. [17]



Slika 32. Dostupnost širokopojasnog pristupa internetu putem nepokretne mreže – NGA (FTTH, VDSL, Kabelska mreža) [17]

U istom razdoblju dostupnost NGA infrastrukture (VDSL, Kabelska mreža, FTTH) u državama članicama Europske unije iznosila je 70,9 %, kako je prikazano na slici 32. NGA mreže su uglavnom zastupljene u urbanim dijelovima dok je u ruralnim dostupnost NGA-a samo 27,8 % i to uglavnom VDSL tehnologijom. [17]

4. IDENTIFICIRANJE KRITERIJA PRI IZBORU TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA

Nacrtom strategije razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020., povezanom sa strateškom inicijativom EU-a „Digitalna agenda“ za razdoblje do 2020., između ostalog se nalaže osiguranje širokopojasnih priključaka osnovne brzine za sve stanovnike (brzina od barem 2 Mbit/s), te nadogradnja mreža s brzim i ultrabrzim širokopojasnim priključcima (brzina iznad 30 Mbit/s, odnosno iznad 100 Mbit/s). Slijedom toga, potrebno je zamijeniti postojeće prevladavajuće širokopojasne tehnologije na tržištu (ADSL u nepokretnim, odnosno 3G/UMTS u pokretnim mrežama) naprednijim infrastrukturama i tehnologijama (polaganjem svjetlovodnih vlakana do korisnika u nepokretnim mrežama - FTTH, odnosno implementacijom 4G/LTE standarda u pokretnim mrežama).

Uz privatna kućanstva, kao korisnike usluga širokopojasnog pristupa, potencijalnu korisničku bazu čine i korisnici iz poslovnog segmenta (obrti i tvrtke), različita tijela i ispostave jedinica lokalne i područne samouprave, odnosno tijela državne uprave, te obrazovne i zdravstvene ustanove. Uz uobičajene usluge dostupne putem širokopojasnih priključaka (brzi pristup internetu, javna govorna usluga i distribucija TV sadržaja), korisnicima se omogućava i pristup brojnim sustavima i aplikacijama javnih usluga (e-obrazovanje, e-zdravstvo i e-uprava).

Osnovna širokopojasna infrastruktura obuhvaća sva infrastrukturna i tehnološka rješenja kojima je moguće osigurati širokopojasni pristup s brzinama većim od 2Mbit/s i manjim od 30 Mbit/s. U Hrvatskoj se u praksi to odnosi na DSL tehnologije, kabelske tehnologije do DOCSIS 2.0 standarda, UMTS/3G bežične mreže, WiMAX mreže i satelitski pristup. Pri tome se sve navedene bežične tehnologije, uključujući i satelitski pristup, zbog cjenovnih karakteristika maloprodajnih paketa, ne mogu smatrati odgovarajućim tržišnim rješenjem za osnovni širokopojasni pristup usporedivim s DSL ili kabelskim pristupom. Nadalje, uzevši u obzir da je većina Hrvatske pokrivena osnovnom paričnom pristupnom infrastrukturom HT-a, DSL tehnologija predstavlja dominantnu tehnologiju za pružanje osnovnog širokopojasnog pristupa. Kabelskim mrežama pokrivena su tek najgušće naseljena područja unutar nekoliko najvećih hrvatskih gradova.

Tablicom 3. prikazani su pokazatelji uspješnosti provedbe Strategije razvoja širokopojsnog pristupa internetu u Republici Hrvatskoj, a temeljni ciljevi koji se ističu Strategijom do 2020. su [17]:

- pokrivenost pristupnim mrežama sljedeće generacije (NGA) koje omogućuju pristup internetu brzinama većim od 30 Mbit/s za sve stanovnike Republike Hrvatske i
- da najmanje 50 % kućanstava u Republici Hrvatskoj budu korisnici usluge pristupa internetu brzinom od 100 Mbit/s ili većom.

Tablica 3. Pokazatelji uspješnosti provedbe Strategije razvoja širokopojsnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020. godine [17]

Pokazatelj uspješnosti (indikator)	Opis indikatora	2015. Početna vrijednost	2018. planirano	2020. planirano	Izvor
Dostupnost NGA širokopojsnog pristupa	Postotak kućanstava u području dostupnosti NGA (≥ 30 Mbit/s)	52%	80%	100%	DAE Scoreboard
Gustoća nepokretnih širokopojsnih priključaka (kućanstva)	Udjel kućanstava koja koriste nepokretni širokopojsni pristup (≥ 2 Mbit/s)	53,83%	65%	80%	HAKOM
Zastupljenost širokopojsnih priključaka velikih brzina	Udjel priključaka širokopojsnog pristupa internetu putem nepokretne mreže velikih brzina (≥ 30 Mbit/s) u ukupnom broju nepokretnih širokopojsnih priključaka	2,79%	40%	80%	DESI, HAKOM
Gustoća nepokretnih ultrabrzih širokopojsnih priključaka (kućanstva)	Udjel kućanstava koja koriste ultrabrz nepokretni širokopojsni pristup (≥ 100 Mbit/s)	0,26%	15%	50%	HAKOM

Kriteriji koji utječu na planiranje i razvoj projekata razvoja širokopojsnog pristupa su:

- Ekonomski kriteriji (troškovi projektiranja, građenja, održavanja i ostalo);
- Tehničko - tehnološki kriteriji (jednostavnost izvedbe, napajanje, domet, topologija i tehnologija mreže);
- Društveni kriteriji (demogeografske karakteristike, struktura stanovništva, kategorije potencijalnih korisnika) i
- Ostali kriteriji (utjecaj na eko - sustav, usklađenost sa generalnim urbanističkim planom (GUP), regulativa i legislativa po Hakom-u).

4.1. EKONOMSKI KRITERIJI

U ovom koraku potrebno je odrediti veličinu i izvore sredstava kojima se financira izgradnja širokopojasnih mreža. S obzirom da se tijela lokalne i regionalne samouprave kod izvođenja projekata u najvećoj mjeri oslanjaju na sredstva pretpristupnih i strukturnih fondova EU-a, mogućnosti alokacije relevantnih sredstava potrebno je učinkovito koordinirati s tijelima državne uprave za koja je izvjesno da će imati vodeću operativnu ulogu u tom procesu (Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, Agencija za regionalni razvoj Republike Hrvatske, Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije). Mogući investicijski modeli izgradnje širokopojasne infrastrukture uz sredstva državnih potpora su:

- Model privatnog planiranja, izgradnje i upravljanja (engl. *private design, build and operate*) - određeni privatni operator ima pravo i obvezu projektiranja i izgradnje širokopojasne infrastrukture na ciljanim područjima sredstvima državnih potpora (pri čemu, u većini slučajeva, sredstva državnih potpora nikad ne pokrivaju puni iznos potrebnih investicija, odnosno privatni operator sudjeluje u investiciji djelomično s vlastitim sredstvima). Pri tome izgrađena infrastruktura ostaje u trajnom vlasništvu operatora, koji njome i upravlja.
- Model javnog planiranja, izgradnje i upravljanja (engl. *public design, build and operate*) - svi poslovi vezani uz projektiranje, izgradnju i upravljanje širokopojasnom infrastrukturom u ovom modelu vođeni su od strane jedinica lokalne samouprave (odnosno komunalnih ili drugih tvrtki u vlasništvu JLS¹⁴-ova). JLS-ovi u pravilu nisu uključeni u pružanje usluga krajnjim korisnicima, već se kapaciteti infrastrukture izgrađene po navedenom javnom modelu iznajmljuju na veleprodajnom tržištu svim ostalim operatorima koji su onda pružatelji usluga krajnjim korisnicima. Infrastruktura građena po javnom modelu ostaje u trajnom javnom vlasništvu, odnosno vlasništvu JLS-ova.

¹⁴ JLS - Jedinica lokalne samouprave.

- Kombinirani javno-privatni model - skupni naziv za sve investicijske modele koji uključuju podjelu odgovornosti za izgradnju i/ili upravljanje širokopojasnom infrastrukturom između tijela javne vlasti (JLS-ova) i privatnih partnera (operatora). Unutar ovog modela postoji veći broj praktičnih načina provedbe projekata, uključujući javno-privatno partnerstvo - JPP-a te koncesiju. [12]

Ekonomski pokazatelji potrebni za analizu poslovnih modela investiranja u širokopojasnu infrastrukturu obuhvaćaju sljedeće parametre [18]:

- kapitalni troškovi (engl. *Capital Expenditures* – *CAPEX*) – obuhvaća sve jednokratne troškove nabavke, izgradnje, opremanja, postavljanja i puštanja u rad potrebne infrastrukture i opreme;
- operativni troškovi (engl. *Operational Expenditures* – *OPEX*) – obuhvaća sve repetitivne troškove nužne za redovno i nesmetano funkcioniranje infrastrukture i opreme;
- ukupni prihodi – zbroj prihoda svih korisnika u određenom vremenskom razdoblju;
- neto sadašnja vrijednost (engl. *Net Present Value* – *NPV*) – kumulativni zbroj diskontiranih tokova novca modela u određenom razdoblju, s definiranom diskontnom stopom. Pozitivna vrijednost na kraju razdoblja implicira pozitivni poslovni model uz ostvarenje povrata ulaganja, i obratno, negativna vrijednost neto sadašnje vrijednosti na kraju razdoblja implicira poslovni model koji ne ostvaruje povrat ulaganja i
- vrijeme povrata investicije (engl. *Return of Investment* – *ROI*) – vremensko razdoblje unutar kojeg se ostvaruje povrat investicija u poslovnom modelu

Okvirne sastavnice investicijskih troškova su [19]:

- Troškovi izrade projektne dokumentacije i pribavljanja potrebnih dozvola:
 - troškovi izrade projektne dokumentacije za izgradnju širokopojasne infrastrukture;
 - troškovi pribavljanja svih potrebnih dozvola i odobrenja i
 - troškovi upisa u katastar infrastrukturnih objekata.

- Troškovi građevinskih i instalacijskih radova:
 - troškovi građevinskih radova;
 - troškovi opremanja ili kupnje prostora za zajedničko korištenje postojećih objekata širokopojasne infrastrukture i
 - troškovi opreme i materijala.
- Troškovi provedbe pasivnog dijela širokopojasne infrastrukture:
 - troškovi razdjelnika i njihove instalacije, ormarića, komunikacijskih ormarića, spojnice za svjetlovodne kablove, završnih kablova, povezujućih niti, adaptera, konektora, cijevi, razdjelnih šahtova;
 - troškovi završavanja veza na razdjelnicima i
 - troškovi postavljanja i povezivanja baznih stanica.
- Troškovi za nadzor izgradnje širokopojasne infrastrukture:
 - troškovi nadzora građevinskih radova, izvedbe pasivnog dijela i instaliranja aktivne opreme.
- Troškovi aktivne opreme:
 - troškovi nabave i ugradnje aktivne opreme koja je potrebna za djelovanje mreže (napajanje s ispravljačima s rezervnim napajanjem, klima uređaji za održavanje klimatskih uvjeta i sl.).

Tablica 4. daje pregled okvirnih troškova izvedbe širokopojasnih priključaka putem pojedinih tehnologija, odnosno jediničnih troškova po korisniku koji je pokriven širokopojasnom infrastrukturom. Navedeni su rasponi troškova isključivo indikativne naravi, a realni troškovi implementacije pojedinih tehnologija ovise o brojnim čimbenicima, kao što su: gustoća naseljenosti, reljefne karakteristike područja i radno frekvencijsko područje (kod bežičnih tehnologija) te mogućnosti iskorištenja postojeće infrastrukture. Pri tome postojeća infrastruktura obuhvaća primarno kabelsku kanalizaciju kod nepokretnih tehnologija, odnosno antenske stupove kod bežičnih tehnologija. Mogućnost iskorištenja postojeće infrastrukture na cijelom ciljanom području može smanjiti jedinične troškove implementacije pojedinih tehnologija i do 50 %. [12]

Tablica 4. Pregled raspona investicijskih troškova izvedbe priključaka po tehnologijama [12]

Tehnologija (tržišni nazivi)	Raspon investicijskih troškova po izvedenom priključku (EUR)	Napomena
ADSL (DSL)	100 - 300	Obuhvaća troškove uspostave odgovarajućeg infrastrukturnog prostora za smještaj DSLAM-ova, kao i nabavku DSLAM-ova.
VDSL (FTTC)	200 – 500	Obuhvaća troškove uspostave novog čvora (kabineta), te izvedbu svjetlovodne veze do kabineta (FTTC), uključujući i izgradnju kabelske kanalizacije.
GPON (FTTH P2MP)	500 – 1.300	Troškovi uključuju i izgradnju kabelske kanalizacije. Raspon troškova od gusto naseljenih područja do rijetko naseljenih područja.
FTTH P2P	600 – 1.500	Troškovi uključuju i izgradnju kabelske kanalizacije. Raspon troškova od gusto naseljenih područja do rijetko naseljenih područja.
Kabelski pristup (DOCSIS, HFC)	400 – 600	Obuhvaća troškove uspostave HFC čvora, te izvedbu svjetlovodne veze do HFC čvora, uključujući i izgradnju kabelske kanalizacije. Nisu obuhvaćeni troškovi izgradnje kabelske mreže u završnom pristupnom segmentu (razvod do krajnjih korisnika).
UMTS/HSPA (3G)	200 – 1.000	Troškovi obuhvaćaju i izgradnju antenskih stupova. Raspon troškova odnosi se na gustoću naseljenosti i radno frekvencijsko područje.
LTE (4G)	200 – 1.200	Troškovi obuhvaćaju i izgradnju antenskog stupa. Raspon troškova odnosi se na gustoću naseljenosti i radno frekvencijsko područje.
WiMAX	300 – 1.200	Troškovi obuhvaćaju i izgradnju antenskog stupa. Raspon troškova odnosi se na gustoću naseljenosti i radno frekvencijsko područje.
Satelitski pristup	1.000 - 2.500	Iznosi se odnose na maloprodajne potpore krajnjim korisnicima na račun inicijalnih troškova instalacije i redovitih mjesečnih troškova u razdoblju do 5 godina,.

Unutar raspona troškova u tablici nisu prikazani troškovi implementacije pojedinih tehnologija u najrjeđe naseljenim područjima Hrvatske (naseljima s manje od 50 stanovnika), budući da u istim područjima jedinični troškovi mogu biti značajno veći od vrijednosti iz navedenih raspona, te je jedinične troškove potrebno detaljnije procijeniti od slučaja do slučaja. Ključan utjecaj na profitabilnost modela širokopojasne infrastrukture ostvaruju parametri prosječnog prihoda po korisniku (engl. *Average Revenue per User - ARPU*), te udio aktiviranih priključaka u ukupnom broju izvedenih širokopojasnih priključaka.

4.2. TEHNIČKO - TEHNOLOŠKI KRITERIJI

Širokopojasna tehnologija naziv je za skup tehničkih standarda, standardiziranih sučelja i propisa, koji omogućuju međusobno usklađen rad mrežne opreme i sustava unutar elektroničke komunikacijske mreže, odnosno pružanje elektroničko komunikacijskih usluga. Prema brzini pristupa u dolaznom smjeru (engl. *downstream* za nepokretne tehnologije, engl. *downlink* za bežične tehnologije) širokopojasne tehnologije razvrstane su u tri skupine prema prosječno ostvarivoj brzini pristupa kojeg mogu osigurati:

- osnovni pristup - za brzine u rasponu od minimalne širokopojasne brzine (2 Mbit/s) do 30 Mbit/s;
- brzi pristup - za brzine u rasponu od 30 - 100 Mbit/s i
- ultrabrzi pristup - za brzine iznad 100 Mbit/s.

Pod NGA pristupom podrazumijeva se brzi i ultrabrzi pristup, gdje se postojeće širokopojasne tehnologije mogu nadograditi prema zahtjevima za NGA mreže. NGA mrežama smatraju se mreže svjetlovodnim vlaknima, koje mogu pružiti značajno bolju kvalitetu usluga u odnosu na postojeće mreže temeljene na osnovnim širokopojasnim tehnologijama, pružaju bolju propusnost u odlaznom smjeru (engl. *upstream* za nepokretne tehnologije, engl. *uplink* za bežične tehnologije). NGA mrežama se smatraju FTTx (FTTH, FTTC, FTTB), kabelske mreže (DOCSIS 3.0) i bežične mreže velikih brzina.

Infrastrukturna rješenja za brze širokopojasne priključke koja imaju mogućnost naknadnog povećanja brzine implementacijom naprednijih mrežnih tehnologija, prije svega pretpostavljaju FTTH rješenja u kojima je barem jedno dedikirano svjetlovodno vlakno položeno od pristupnog čvora do svakog potencijalnog korisnika (P2P). Uz pretpostavku aktivne mrežne opreme i njenih mogućnosti, moguće je brzine prijenosa svjetlovodnim vlaknima povećavati prema potrebi po korisniku - inicijalno brzi širokopojasni priključak može postati i ultrabrzi. Isto tako je moguće povećavati brzine i unutar 4G bežičnih mreža (LTE) s implementacijom novih verzija LTE standarda koji će omogućiti veće brzine u pristupnoj radio-frekvencijskoj mreži.

Unutar ovog koraka potrebno je analizirati informacije o stanju i zemljopisnoj dostupnosti postojećih širokopojasnih mreža po naseljima, te utvrditi dostupne razine usluga. Uz to, potrebno je provjeriti i planove telekomunikacijskih operatora oko proširenja širokopojasnih mreža (npr. kroz razdoblje od iduće dvije godine). Prikupljanje navedenih informacija obavlja se u koordinaciji s HAKOM-om.

Na osnovi dobivenih informacija moguće je odrediti područja u kojima je širokopojasni pristup:

- općenito nedostupan, niti će biti dostupan unutar razdoblja od iduće dvije godine;
- dostupan, ali s ograničenom razinom brzina i(li) kvalitete usluga (npr. samo osnovni širokopojasni priključci do 2 Mbit/s, pri čemu, isto tako, prema planovima operatora neće doći do poboljšanja kvalitete usluga unutar razdoblja od iduće dvije godine i
- dostupan, uz trenutno zadovoljavajuću razinu usluga.

Ovako određena područja služe kao polazišta za određivanje ciljanih područja implementacije projekata razvoja širokopojasnog pristupa.

Iskorištavanje postojeće infrastrukture na području provedbe projekata poticane izgradnje širokopojasne infrastrukture može biti od velike koristi za učinkovitiju provedbu projekata, kako u pogledu manjih troškova izgradnje nove mreže (a time i manjih potrebnih iznosa potpora), tako i u pogledu brže provedbe projekta (npr. izostanak opsežnih građevinskih radova na izgradnji kabelaške kanalizacije).

Širokopojasne mreže grade se uz odgovarajuću infrastrukturu i infrastrukturalne objekte za razvod i prihvrat medija, te smještaj prateće aktivne opreme. Prema ONP-u, pod pojmom infrastrukturnih objekata smatra se sljedeće [14]:

- Kabelaška kanalizacija (distributivna telekomunikacijska kanalizacija - DTK) je podzemna mreža cijevi i bunara za razvod (svjetlovodnih niti, koaksijalnih kabela, bakrenih parica);
- Nadzemna mreža - mreža stupova o koje su ovješeni kabele (svjetlovodnih niti, koaksijalnih kabela, bakrenih parica). Gradnja je dozvoljena samo u ruralnim područjima. Nedostaci su: povećana osjetljivost na atmosferske

utjecaje (padaline, vjetar, elektrostatička pražnjenja) i kraći životni vijek u odnosu na podzmenu mrežu;

- Kabineti (ulični i vanjski) služe kao lokacije pasivnog prospajanja kabela u pristupnoj mreži. U njih se smještaju i pasivni razdjelnici kod GPON tehnologija, te aktivna oprema u VDSL (FTTC) i kabelskim mrežama;

- Lokalni čvor je sučelje između pristupne i agregacijske mreže (fizički prihvrat pristupne mreže, te smještaj aktivne opreme za agregaciju prometa iz pristupne mreže i usmjeravanje prometa prema agregacijskoj mreži). Najčešće odgovara lokaciji lokalne telefonske centrale (funkcijska lokacija) i

- Antenski stup ima primopredajnu radiofrenkvencijsku funkciju u pristupnom dijelu bežičnih mreža. Bazna stanica (logičko mjesto s nadzorom primopredajnih funkcija u pristupnom djelu bežičnih mreža) uobičajeno se fizički nalazi uz lokaciju antenskog stupa.

Zbog fizičkih ograničenja bakrenih kabela, VDSL2 tehnologija dosegla je granice svojih tehničkih potencijala na postojećim pristupnim linijama. Bežična rješenja, kao što su WiMAX, LTE ili 4G u sektoru mobilne telefonije brzo dostižu svoje granice, zbog većeg ograničenja prijenosnih kapaciteta u usporedbi s bakrenim kabelom. Kao rezultat, iz današnje perspektive, samo optička vlakna su sposobna pružiti neograničene brzine i budućnost razvoja mreža.

Prilikom implementacije svjetlovodnih mreža, koriste se dvije topologije: PON/P2MP (engl. *Passive optical network/Point to MultiPoint*) i AON/P2P (engl. *Active Optical Network/ Point to Point*) topologija. Pasivna svjetlovodna mreža (PON) ne koristi aktivnu opremu koja bi razdvojila optički signal na veći broj korisnika, već za to služe optički djelitelji (engl. *splitter*). Time se na jednostavan način optički signal (ukupna propusnost podataka) distribuira do 64 korisnika. Kod aktivne svjetlovodne mreže (AON), svaki korisnik je spojen vlastitim optičkim vlaknom na aktivnu opremu pristupnog/distribucijskog čvora, te ne dijeli propusnost podataka s drugim korisnicima. Gledajući početne troškove investicija, spajanje samo rezidencijalnih korisnika u kratkoročnom periodu (oko 3 godine), PON mreže su komercijalno isplativije, no ukoliko računici pridodamo i poslovne korisnike, povećanje broja

rezidencijalnih korisnika i brzine, PON mreže postaju sve manje isplativije te je u konačnici jedino dugoročno rješenje AON mreža.

Tablica 5. prikazuje pregled tržišno najviše zastupljenih tehnologija uz osnovne karakteristike iz aspekta korištenih prijenosnih medija, topologije mreže, obveznih infrastrukturnih zahtjeva u pristupnoj mreži, prosječnih brzina u dolaznom i odlaznom smjeru te maksimalni domet za kvalitetan prijenos informacija.

Tablica 5. Pregled tržišno najviše zastupljenih širokopojasnih tehnologija [30]

Vrsta mreže, tehnologija (standard)	Pristupni medij, mrežna topologija	Potrebna infrastruktura u pristupnoj mreži	Prosječne brzine (dolazni smjer – DS; odlazni smjer – US)	Napomena
ADSL (ITU-T G.992)	bakrena parica	DTK/nadzemna instalacija, pristupni čvorovi za smještaj DSLAM-ova, ADSL modemi	10-24 Mbit/s DS; 512-768 kbit/s US	Ograničenje najveće duljine bakrene parice do 5.000 m
VDSL/FTTC (ITU-T G.993)	bakrena parica, svjetlovodno vlakno	DTK/nadzemna instalacija, pristupni čvorovi za smještaj DSLAM-ova, VDSL modemi	50-100 Mbit/s DS; 16-100 Mbit/s US	Ograničenje najveće duljine bakrene parice do 1.000 m.
FTTH P2MP/GPON (ITU-T G.984)	svjetlovodno vlakno, P2MP topologija	DTK/nadzemna instalacija, pristupni čvorovi za smještaj OLT-ova, ONU korisnički uređaji	2,3 Gbit/s DS dijeljeno; 1,15 Gbit/s US dijeljeno ¹	Ograničenje najveće duljine P2MP pristupne grane do 20 km.
FTTH P2MP/EPON (IEEE 802.3ah P2MP)	svjetlovodno vlakno, P2MP topologija	DTK/nadzemna instalacija, pristupni čvorovi za smještaj OLT-ova, ONU korisnički uređaji	900 Mbit/s DS dijeljeno; 840 Mbit/s US dijeljeno ¹	Ograničenje najveće duljine P2MP pristupne grane do 20 km.
FTTH P2P/BPM (IEEE 802.3 ah P2P)	svjetlovodno vlakno, P2P topologija	DTK/nadzemna instalacija, pristupni čvor za smještaj preklopnika/usmjerivača	925 Mbit/s DS; 925 Mbit/s US	Ograničenje najveće duljine P2P pristupne grane do 20 km.
Kabelske mreže (EuroDOCSIS)	koaksijalni kabel i svjetlovodno vlakno (kombinirana HFC mreža)	DTK/nadzemna instalacija, HFC čvorovi	56 Mbit/s DS dijeljeno; 31 Mbit/s US dijeljeno ²	Ograničenje najveće duljine završnog segmenta u HFC mreži od koaksijalnih kablova do 800 m.
UMTS/3G (IMT-2000)	bežično	bazne stanice, korisnički terminali	14-21 Mbit/s dijeljeno DS; 1,4-5,7 Mbit/s dijeljeno US ³	Domet bazne stanice 1-5 km ⁴ .
LTE/4G (IMT Advanced)	bežično	bazne stanice, korisnički terminali	100 Mbit/s dijeljeno DS; 50 Mbit/s dijeljeno US ³	Domet bazne stanice 1-5 km ⁴ .
WiMAX (IEEE 802.16)	bežično	bazne stanice, korisnički terminali	21 Mbit/s dijeljeno DS; 7 Mbit/s dijeljeno US ³	Domet bazne stanice 1-5 km ⁴ .

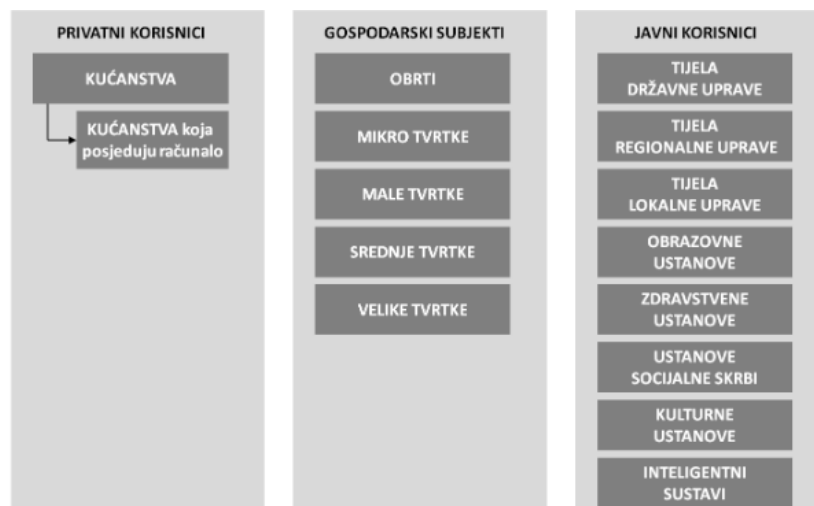
U nastavku diplomskog rada opisan je društveni kriterij.

4.3. DRUŠTVENI KRITERIJI

Prilikom pripreme projekata izuzetno je važno kvalitetno procijeniti potencijal potražnje za širokopojasnim uslugama. Osim samog broja izgrađenih širokopojasnih priključaka (ukupnog korisničkog potencijala), potrebno je procijeniti i kretanje stvarnog broja aktivnih korisnika u mreži, odnosno utilizaciju u razdoblju operativnog rada mreže (engl. *take-up rate*). Ukupni korisnički potencijal i utilizacija mreže predstavljaju osnovne ulazne parametre za financijsku i ekonomsku analizu projekta, uključujući i ocjenu isplativosti projekta, odnosno potreban iznos vanjskih poticaja i sufinanciranja u obliku državnih potpora.

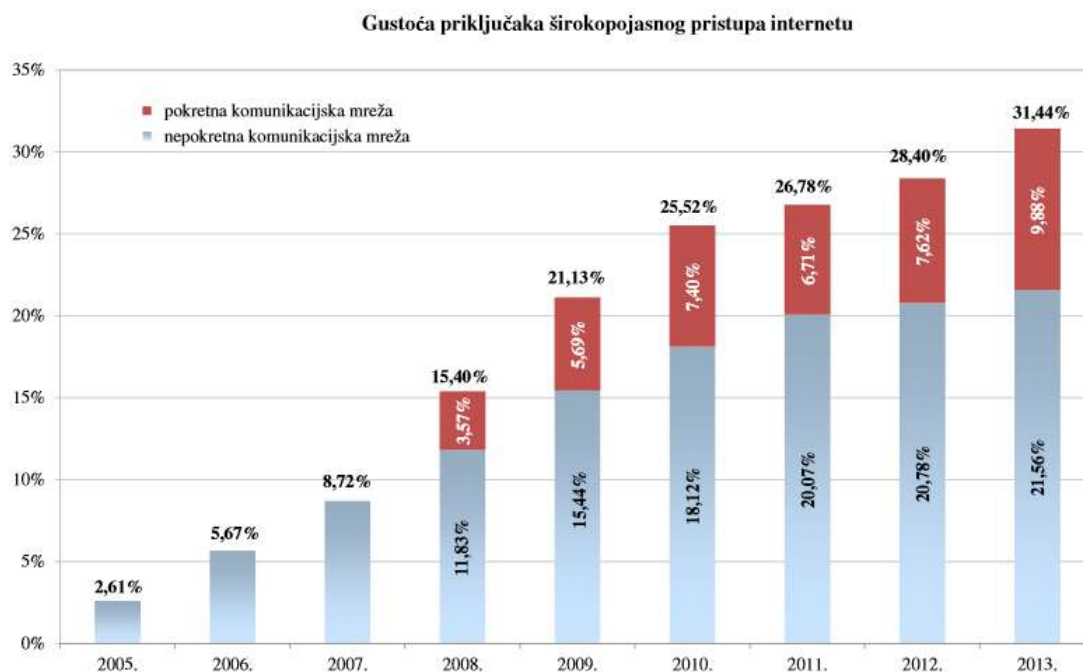
Ukupni korisnički potencijal i moguću utilizaciju širokopojasne mreže, moguće je promatrati kroz tri osnovne kategorije korisnika prikazanu slikom 33.:

- Privatni korisnici - kategorija obuhvaća sva privatna kućanstva na planiranom području, pri čemu je, u pogledu utilizacije, u obzir potrebno uzeti samo stalno nastanjena kućanstva koja posjeduju računala, što je preduvjet za korištenje širokopojasnih usluga;
- Gospodarski subjekti (poslovni korisnici) - kategorija korisnika obuhvaća sve obrte te mikro, male, srednje i velike tvrtke koje obavljaju djelatnost na planiranom području, neovisno o tome da li im je sjedište na planiranom području ili na tom području djeluju samo njihove podružnice ili ispostave i
- Javni korisnici - kategorija obuhvaća sve korisnike unutar sustava javne uprave i pratećih javnih usluga. [12]



Slika 33. Struktura potražnje za širokopojasnim uslugama po kategorijama korisnika [12]

Populacijska penetracija širokopojasnog pristupa omjer je broja aktivnih širokopojasnih priključaka i ukupnog broja stanovnika, te je jedan od glavnih pokazatelja učestalosti korištenja širokopojasnog pristupa među stanovništvom. Na slici 34 prikazani su usporedni podaci o populacijskoj penetraciji širokopojasnog pristupa na razini Hrvatske.



Slika 34. Populacijska penetracija širokopojasnog pristupa u Hrvatskoj, 2005. - 2013. [20]

Kod kvalitetnog definiranja kriterija iz društvenog aspekta bitno je utvrditi osnovne kvalitativne i kvantitativne karakteristike zemljopisnog rasporeda korisnika (demogeografske karakteristike):

- broj i veličinu naselja;
- broj kućanstava, zastupljenost kućanstva prema nastanjenosti (stalno i povremeno nastanjena kućanstva);
- demografska situacija prirodnog kretanja stanovništva (radi projekcija potreba za širokopojasnim pristupom kroz buduće razdoblje od 5-10 godina) i
- prostorni položaj i međusobne udaljenosti naselja, s obzirom na relevantne referentne točke (glavno naselje, općinsko središte, glavne prometnice i koridori komunalne infrastrukture).

Stanovništvo Hrvatske raspoređeno je po izrazito velikom broju naselja – ukupno 6.611, odnosno 6.756 naselja, ako se računaju i naselja u kojima nema stalno nastanjenih stanovnika (povremeno nastanjena naselja i napuštena naselja). Time je raspršenost i usitnjenost mreže naselja jedna od glavnih značajki naseljenosti hrvatskog prostora. Povezano s tim, gospodarske, uslužne i druge djelatnosti na višoj su razini dostupne samo u ograničenom broju od nekoliko desetaka većih naselja, što uključuje Zagreb, makroregionalna središta (Split, Rijeka, Osijek, u posljednje vrijeme i Zadar), veća regionalna središta (Slavonski Brod, Pula, Karlovac, Varaždin, Šibenik, Sisak, Vinkovci, Dubrovnik, Vukovar i Bjelovar) te regionalna i manja regionalna središta (Koprivnica, Požega, Đakovo, Čakovec, Virovitica) u koju se skupinu uključuje i još nekoliko manjih gradova koji imaju preduvjete da postanu nositelji razvoja svojih područja (Županja, Rovinj, Makarska, Nova Gradiška, Sinj, Knin, Slatina, Poreč, Kutina, Metković i Križevci). Slaba dostupnost usluga više razine posebno je izražena u udaljenim i prometno izoliranim brdskim, planinskim i pograničnim područjima, te na velikom broju otoka. [10]

Promatrajući vrijednosti gustoće naseljenosti stanovništva u Hrvatskoj od 75,8 stanovnika po km², Hrvatska je u okvirima EU-a ispodprosječno naseljena država (prosjeak EU-a je 117 stanovnika po km²). Od 28 država članica EU-a, od Hrvatske su

slabije naseljene samo Bugarska, Estonija, Finska, Irska, Litva, Latvija i Švedska. U pogledu detaljnijeg rasporeda gustoće naseljenosti unutar prostora Hrvatske, odnosno kategorizacije ruralnih i urbanih područja, primjenom metodologije OECD-a (po kojoj su ruralna područja ona u kojima obitava manje od 150 stanovnika po km²), 91,6 % hrvatskog područja, odnosno 88,7 % naselja te 47,6 % stanovnika nalazi se u ruralnim područjima, dok su ostatak urbana područja. Zbog specifičnosti stanja naseljenosti u Hrvatskoj (ukupna ispodprosječna naseljenosti i velik broj naselja), postoji potreba za alternativnom kategorizacijom urbanih i ruralnih područja u Hrvatskoj, pri čemu bi dodatni kriteriji kategorizacije uključivali i administrativne kriterije (status i veličina glavnog naselja na određenom području) te kriterije pretežne gospodarske djelatnosti).[10]

Hrvatska je, prema rezultatima Popisa stanovništva iz 2011., imala ukupno 4.284.889 stanovnika. Prema predviđanjima DZS-a do 2050. godine broj stanovnika smanjit će se za oko 700.000, pri čemu će udio osoba starijih od 64 godine porasti sa sadašnjih 18 % na 27 % do 2050., dok će se udio stanovništva radne dobi (15-64 godine) smanjiti sa sadašnjih 67 % na 58 %, odnosno, apsolutno, broj stanovnika radne dobi smanjit će se za oko 780.000 do 2050.

Svaki novi FTTN čvor trebao bi imati više od 500 korisnika. Kako bi se onemogućilo stvaranje novih minijaturnih pristupnih mreža upitne ekonomske isplativosti postavljen je kriterij na minimalni broj korisnika za planirani novi pristupni čvor. Navedena brojka od 500 korisnika pruža optimalno rješenje obzirom na zahtijevanu duljinu petlje i veličinu novog čvora, uzimajući u obzir i da je prosječna veličina pristupnog čvora u HT mreži sada nešto manja od 600 korisnika. Iznimno, u slučaju male gustoće stanovništva na području pokrivanja novog čvora (≤ 150 stanovnika/km²) novi FTTN čvor se može planirati i za manji broj aktivnih korisnika. Područja s malom gustoćom stanovništva zahtijevala bi i velik broj FTTC čvorova s relativno malo korisnika, pa se FTTN varijanta nameće kao jedino razumno rješenje. Novi FTTN čvor osigurava minimalno 30 Mbit/s brzine prema korisniku za minimalno 35 % korisnika spojenih na taj čvor i mora zadovoljavati potrebe pružanja širokopojasnih usluga na području obuhvata minimalno slijedeće tri i više godina. Novi FTTN čvor mora imati 35 % korisnika u dosegu 800 m što će istima omogućiti dolaznu brzinu od 30 Mbit/s uz primjenu VDSL2 tehnologije. [11]

4.4. OSTALI KRITERIJI

Pri izgradnji otvorene širokopojasne mreže potrebno je uzeti u obzir relevantni zakonodavni i regulatorni okvir iz područja elektroničkih komunikacija. Tehnička rješenja moraju biti sukladna sa slijedećim zakonom i pravilnicima [13]:

- Zakonom o elektroničkim komunikacijama;
- Pravilnikom o svjetlovodnim distribucijskim mrežama;
- Pravilnikom o tehničkim uvjetima za elektroničku komunikacijsku mrežu poslovnih i stambenih zgrada;
- Pravilnikom o tehničkim uvjetima za kabelsku kanalizaciju i
- Pravilnikom o načinu i uvjetima pristupa i zajedničkog korištenja elektroničke komunikacijske infrastrukture i druge povezane opreme.

Dozvoljena je uporaba različitih tehnologija ili njihovih kombinacija, pod uvjetom da sva tehnološka rješenja ispunjavaju uvjete projekta (minimalna brzina pristupa, pokrivenost korisnika, minimalne maloprodajne i veleprodajne usluge).

U slučaju izgradnje otvorene širokopojasne mreže dijelom ili u potpunosti bežičnom tehnologijom, ponuditelj osim predstavljanja predviđenih lokacija baznih stanice i vrste tehnologije za lokalnu i pokretnu mrežu, mora predložiti i slijedeće [13]:

- predstaviti izračun pokrivenosti signalom krajnjih korisnika, iz čega mora biti vidljiva kvaliteta izvedbe pristupne mreže;
- priložiti dokaze da posjeduje koncesiju za upotrebu izabrane bežične tehnologije i
- bežična tehnologija mora se temeljiti na međunarodnim standardima.

Sukladno Uredbi o procjeni utjecaja zahvata na okoliš, procjena utjecaja projekta izgradnje širokopojasnih NGA mreža na okoliš nije obvezna. Bez obzira na to, u projektu izgradnje širokopojasne NGA mreže potrebno je poštivati cjelokupni

regulatorni okvir za područje očuvanja okoliša, te sve PPUO/PPUG (Prostorni plan uređenja općine/grada) JLS-ova na ciljanom području. Posebice je važno uzeti u obzir i činjenicu da li je dio ciljanog područja dio NATURA 2000 područja (ekološka mreža sastavljena od područja važnih za očuvanje ugroženih vrsta i stanišnih tipova Europske unije).

S obzirom na vrstu pristupne tehnologije koja će se koristiti za pružanje širokopojasnosti, mrežni operator od nadležnog regulatornog tijela (HAKOM), mora dobiti dozvolu za pružanje usluga na određenom prijenosnom spektru, odnosno na određenom frekvencijskom području. Isto tako, regulatorno tijelo može mrežnom operatoru izdati dozvolu za korištenje frekvencijskog spektra na neko određeno vrijeme, nakon čijeg isteka mrežni operator gubi pravo korištenja tog prijenosnog spektra i pružanja usluga putem istog. Ako tijekom implementacije infrastrukture širokopojasne pristupne mreže dio te iste infrastrukture prolazi kroz privatni posjed, temeljem zakona o elektroničkim komunikacijama, upravitelj općeg dobra ili vlasnik nekretnine obavezan je trpjeti pravo puta i suzdržati se od bilo kakve radnje kojom bi se na bilo koji način ometalo ostvarivanje tog prava. Infrastrukturni operator plaća upravitelju općeg dobra ili vlasniku nekretnine naknadu za pravo puta.

HAKOM sudjeluje u postupcima izrade prostornih planova, izdavanju lokacijskih i građevinskih dozvola u dijelu koji obrađuje elektroničku komunikacijsku infrastrukturu (dalje: EKI) i drugu povezanu opremu tako što [20]:

- definira i izdaje smjernice – zahtjeve za izradu prostornih planova svih razina (državna, regionalna-područna, lokalna) i svih vrsti (prostorni plan, generalni urbanistički plan, urbanistički plan);
- sudjeluje u javnim raspravama u postupku izrade i donošenja prostornog plana;
- daje mišljenje na prijedlog nacрта prostornog plana za javnu raspravu;
- utvrđuje posebne uvjete u postupku izdavanja lokacijske i/ili građevinske dozvole;
- izdaje potvrdu na glavni projekt u postupku izdavanja građevinske dozvole;

- sudjeluje u timovima za izradu Pravilnika prema zahtjevima Zakona o elektroničkim komunikacijama (ZEK) i
- sudjeluje u povjerenstvima za tehnički pregled objekata za koje HAKOM sudjeluje u izdavanju lokacijskih i/ili građevinskih dozvola.

HAKOM kao javnopravno tijelo s javnim ovlastima koje su određene posebnim zakonom - Zakonom o elektroničkim komunikacijama (NN br. 73/08, 90/11, 133/12, 80/13 i 71/14) utvrđuje zahtjeve za sadržaj dijela prostornih planova koji obrađuju elektroničku komunikacijsku infrastrukturu (EKI). S obzirom na opseg posla, osobito brojnost prostornih planova te postupaka izmjena i dopuna planova, izrađeni su tipizirani zahtjevi na sadržaj prostornih planova u dijelu planiranja EKI. Tipizirani zahtjevi podijeljeni su prema vrsti prostornog plana na [20]:

- Zahtjevi na sadržaj PPU (Prostorni plan uređenja) u dijelu planiranja EKI;
- Zahtjevi na sadržaj GUP (Generalni urbanistički plan) u dijelu planiranja EKI i
- Zahtjevi na sadržaj UPU (Urbanistički plan uređenja) u dijelu planiranja EKI.

U procesu donošenja prostornih planova prema odredbama Zakona o Prostornom uređenju (NN br. 153/13, dalje: ZPU), HAKOM sudjeluje u predmetnom procesu od trenutka davanja zahtjeva (odluke nositelja planiranja da pristupi izradi plana ili izmjeni i dopuni postojećeg plana) preko sudjelovanja u javnoj raspravi, na način da daje pismeno mišljenje na prijedlog nacрта prostornog plana za javnu raspravu prema odredbi članka 101. ZPU-a. Temeljem članka 14. stavak 1. Uredbe o mjerilima razvoja elektroničke komunikacijske infrastrukture i druge povezane opreme, (NN br. 131/12), HAKOM objavljuje grafički dio objedinjenog plana svih operatora pokretnih komunikacija u Republici Hrvatskoj.[20]

HAKOM kao javnopravno tijelo s javnim ovlastima koje su određene posebnim zakonom - Zakonom o elektroničkim komunikacijama (NN br. 73/08, 90/11, 133/12, 80/13 i 71/14, dalje: ZEK) utvrđuje posebne uvjete u postupku izdavanja lokacijske dozvole temeljem članka 135. Zakona o prostornom uređenju (NN br. 153/13), odnosno utvrđuje posebne uvjete i izdaje potvrdu glavnog projekta temeljem članka 82. Zakona o gradnji (NN br.153/13). HAKOM ne izdaje uvjete priključenja građevine

na elektroničku komunikacijsku infrastrukturu. U postupku utvrđivanja posebnih uvjeta razlikujemo dvije osnovne vrste građevina:

- STAMBENE, POSLOVNE I STAMBENO-POSLOVNE ZGRADE i svih ostalih zahvata u prostoru koji se u pravilu obavljaju na jednoj katastarskoj čestici i
- OSTALE GRAĐEVINE (LINIJSKA INFRASTRUKTURA) i ostalih zahvata u prostoru koji se u pravilu obavljaju na većem broju katastarskih čestica.

Pored posebnih uvjeta HAKOM izdaje i druge uvjete gradnje, koji su propisani ZEK-om i pravilnicima donesenim na temelju ZEK-a.[20]

Prema međunarodnom standardu ISO 14001¹⁵, pod “aspektom okoliša” podrazumijevaju se elementi aktivnosti, proizvoda i usluga organizacije koji mogu imati utjecaja na okoliš. Slijedom uzročno-posljedičnog odnosa između aspekta okoliša i njegovog utjecaja na okoliš, pod utjecajem podrazumijevamo svaku promjenu okoliša, bilo štetnu ili povoljnu, koja je u cjelini ili djelomično prouzročena aktivnostima, proizvodima i uslugama organizacije. Uzimajući u obzir djelatnost telekomunikacijskih operatora udruženih u ETNO (Udruga europskih operatora telekomunikacijske mreže), aspekte okoliša možemo razvrstati na sljedeći način:

- Uporaba i zagađenje tla (uključujući zgrade);
- Uporaba sirovina (papir, kabeli, telefonski stupovi);
- Uporaba električne energije;
- Uporaba energije za grijanje i hlađenje prostorija;
- Uporaba fosilnih goriva za prijevoz;
- Potrošnja vode;
- Emisije u zrak;
- Proizvodnja otpada;
- Stvaranje buke;
- Korištenje krajolika i

¹⁵ hrvatski tip norme - HRN EN ISO 14001:2015

- Stvaranje elektromagnetskog zračenja.

U Hrvatskoj je na snazi Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 146/2014) koji je izdalo Ministarstvo zdravlja. Sva telekomunikacijska oprema podliježe odredbama Pravilnika o posebnim uvjetima postavljanja i uporabe radijskih postaja (NN 45/2012) kojeg je izdala Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije. Međunarodni standard za ograničenje izloženosti vremenski promjenjivim električnim, magnetskim i elektromagnetskim poljima (do 300 GHz) izdala je Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP). [21]



Slika 35. Dopuštene razine elektromagnetskog zračenja [21]

Za gustoću toka snage u Republici Hrvatskoj granične su razine u područjima profesionalne izloženosti 5 puta strože, a u područjima povećane osjetljivosti čak 6,25 puta strože od onih u Europskoj uniji, što je prikazano slikom 35.

5. VIŠEKRITERIJSKO ODLUČIVANJE U FUNKCIJI IZBORA TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU

Obzirom na veliku važnosti ispravnog odlučivanja u suvremenom poslovnom svijetu (kao i u svakom drugom aspektu života i rada) razvila se zasebna interdisciplinarna znanstvena disciplina, teorija odlučivanja, koja se bavi problematikom odlučivanja u složenim situacijama. Višekriterijsko odlučivanje se koristi kao snažna tehnika u donošenju odluke, a pronalazi svoju primjenu u: vrednovanju rada zaposlenika, procjeni zdravstvene zaštite u postupanju s otpadom, određivanju bankarske učinkovitosti, internet bankarstvu, određivanju najboljih nastavnika u obrazovnom sustavu, odabiru dobavljača, upravljanju lancem opskrbe, odabiru lokacije skladišta i dr. Višekriterijalno odlučivanje je zapravo donošenje odluke u prisutnosti više, često suprotstavljenih, kriterija. Složene situacije odlučivanja nastaju u slijedećim slučajevima:

- kada se mora uzeti u obzir više kriterija;
- ako su različiti ciljevi međusobno suprotstavljeni;
- ako su posljedice odluke koju treba donijeti u velikoj mjeri nepoznate;
- kada postoji veliki broj mogućih rješenja i
- kada postoji veliki broj zadanih ograničenja.

Prateći različite mogućnosti primjene, postoje brojne metode višekriterijalnog odlučivanja [14]:

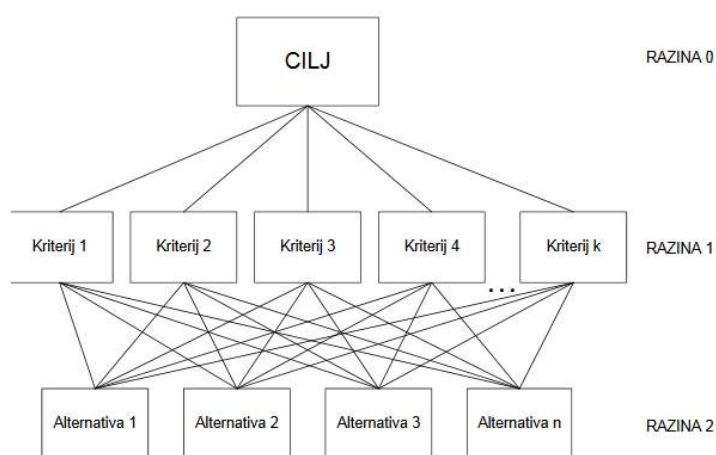
- AIRM (engl. *Agregated Indices Randomization Method*);
- AHP (engl. *Analytic Hierarchy Process*);
- ANP (engl. *Analytic Network Process*);
- PROMETHEE (engl. *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*);
- *Chouquet integral*;

- CBR (engl. *Case Based Reasoning*);
- COPRAS-G (engl. *Complex Proportional Assessment of alternatives with Grey relations*);
- DEA (engl. *Data Envelopment Analysis*);
- ELECTRE (engl. *Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*);
- ER (engl. *Evidential Reasoning Approach*);
- GP (engl. *Goal Programming*);
- GRA (engl. *Grey Relational Analysis*);
- *Grey Theory*;
- MAUT (engl. *Multi Attribute Utility Theory*);
- MAVT (engl. *Multi Attribute Value Theory*);
- MOORA (engl. *Multi Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis*);
- OCRA (engl. *Operational Competitiveness Rating Analysis*);
- REGIME (engl. *Final Ranking Method*);
- SAW (engl. *Simple Additive Weighting*);
- SMART (engl. *Simple Multi-Attribute Rating Technique*);
- TOPSIS (engl. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*);
- VIKOR (Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje);
- WPM (engl. *Weighted Product Model*);
- WSM (engl. *Weighted Sum Model*).

U nastavku diplomskog rada opisane su najkorištenije metode

5.1. AHP METODA

AHP (engl. *Analytic Hierarchy Process*), odnosno analitički hijerarhijski proces je strukturirana tehnika za organizaciju i analizu složenih odluka, a bazira se na matematici i psihologiji. AHP spada u najpoznatije i posljednjih godina najkorištenije metode za višekriterijalno odlučivanje. Metodu svojstvenog vektora osmislio je Thomas L. Saaty 1971. godine, a nakon nekoliko godina istraživanja i revizije objavio 1980. godine. Njezina popularnost proizlazi iz činjenice da je vrlo bliska načinu na koji pojedinac rješava složene probleme, rastavljajući ih na jednostavnije komponente: cilj, kriterije i alternative.



Slika 36. Hijerarhijska struktura AHP modela s kriterijima i alternativama [14]

AHP metoda se sastoji od četiri osnovna koraka:

1. korak: Napraviti hijerarhijsku strukturu problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i potkriterijima na nižim razinama, te alternativama na dnu modela (Slika 36.);
2. korak: Na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima međusobno usporediti elemente te strukture, pri čemu preferencije donositelja odluke treba izraziti uz pomoć odgovarajuće Saatyjeve skale (slika 37.);
3. korak: Procjenom relativnih važnosti elemenata za odgovarajuću razinu hijerarhijske strukture problema pomoću odgovarajućeg matematičkog modela izračunati lokalne prioritete (težine) kriterija, potkriterija i alternativa;

4. korak: Sintetiziranjem lokalnih prioriteta u ukupne prioritete alternativa odrediti konačno rješenje [14].

Ocjena prioriteta	Opisna ocjena prioriteta	
1	Jednaki prioritet	Equal
2	Jednaki do umjereni prioritet	Intermediate favors
3	Umjereni prioritet	Slightly favors
4	Umjereni do jaki prioritet	Intermediate favors
5	Jaki prioritet	Strongly favors
6	Jaki do vrlo jaki prioritet	Intermediate favors
7	Vrlo jaki prioritet	Very strong favors
8	Vrlo jaki do apsolutni prioritet	Intermediate favors
9	Apsolutni prioritet	Extreme favors

Slika 37. Saatyjeva skala prioriteta [14]

AHP pretvara procjene iz Saatyjeve skale u brojčane vrijednosti koje mogu biti obrađene i uspoređene s obzirom na cijeli raspon problema. Navedene težine prioriteta se računaju za svaki kriterij u hijerarhiji, dozvoljavajući usporedbu različitih i često nemjerljivih elemenata na racionalan i dosljedan način. Ova mogućnost razlikuje AHP od ostalih tehnika odlučivanja. U završnoj fazi procesa težine prioriteta se računaju za svaku alternativu. Ti brojevi predstavljaju alternative odnosno njihovu relativnu sposobnost da se postigne cilj, tako da omogućuju izravno promatranje različitih načina djelovanja. Umjesto propisivanja ispravne odluke, AHP metoda pomaže donositeljima odluke da nađu odgovor koji najbolje odgovara cilju i njihovom razumijevanju problema [14].

5.2. ANP METODA

Analitički mrežni proces (ANP) je novija metoda za odlučivanje te uključuje određenu nadogradnju u odnosu na AHP metodu. ANP metoda omogućuje modeliranje funkcionalne interakcije kriterija i alternativa u modelu te se time postiže veća stabilnost rezultata. Ova metoda sastoji se od povratnih veza koje omogućuju mrežno definiranje problema, a razlikuje se od AHP metode u tome što ne predstavlja linearnu hijerarhiju već modelira utjecaje između elemenata mreže. Povratne veze koje se koriste omogućuju preciznije određivanje prioriteta elemenata te donošenje kvalitetnijeg rješenja problema.

Osnovni koraci kod primjene ANP višekriterijske metode odlučivanja su:

- detaljno definiranje problema odlučivanja;
- određivanje kontrole kriterija i podkriterija u četiri kontrolne podmreže te uspoređivanjem u parovima odrediti prioritete kontrolnih kriterija;
- određivanje mreže klastera i njihovih čvorova u skladu s kontrolnim kriterijima;
- određivanje zavisnosti između elemenata u modelu;
- kreiranje supermatrice za svaki kontrolni kriterij;
- usporedba klastera u parovima u skladu s njihovim zavisnostima, a u odnosu na kontrolne kriterije;
- izračunavanje elemenata granične supermatrice;
- sinteza prioriteta iz granične supermatrice;
- uporaba multiplikativne ili aditivne formule za određivanje alternative koja se preferira u odnosu na sve četiri kontrolne podmreže i
- obrađivanje rezultata i analiza osjetljivosti.

Osnovna razlika između AHP-a i ANP-a je u tome što se kod analitičkog hijerarhijskog procesa s obzirom na važnost kriterija određuju prioriteti alternativa, dok kod analitičkog mrežnog procesa, uz to što kriteriji utječu na važnost alternativa, i važnost alternativa utječe na određivanje težina kriterija [15].

5.3. ELECTRE METODA

Metoda ELECTRE (engl. *ELimination EtChoice TRanslating Reality*) koristi se pri parcijalnom uređenju skupa mogućih rješenja na temelju preferencije donositelja odluke. Metodu je razvila europska savjetodavna kompanija SEMA 1956. godine. Metoda se najčešće koristi kada donositelj odluke želi u model odlučivanja uključiti barem tri kriterija. Najprije se definiraju težine varijanata u omjernoj skali koji se kasnije uspoređuju u parovima. Potom se određuje razina nesuglasnosti prema kojima se težina pojedinih varijanti razlikuje. Obično se u literaturi za ovu metodu koristi naziv analiza suglasnosti. Razvijene su četiri podvrste te metode, a aktivno se koriste ELECTRE 1 i ELECTRE 2 metoda. Metoda ELECTRE danas se najčešće koristi u području operacijskih istraživanja. Algoritam metoda ELECTRE sastoji od tri faze: gradnja matrice ocjenjivanja (varijante i kriteriji), izračunavanje odnosa rangiranja i iskorištavanje odnosa rangiranja [14].

5.4. PROMETHEE

PROMETHEE metodu razvio je Jean-Pierre Brans 1982. godine. To je metoda organizacije rangiranja preferencija za obogaćivanje procjene, odnosno osigurava donositelju odluke, kompletno i djelomično rangiranje radnji. Deskriptivni pristup nazvan GAIA (engl. *geometrical analysis for interactive aid*), omogućuje donositelju odluke, vizualizaciju glavnih obilježja problema odlučivanja. Ovom metodom se višedimenzionalni problemi višekriterijskog odlučivanja svode na dvodimenzionalne kako bi se omogućila ravninska prezentacija. Korištenjem softverskog paketa GAIA omogućeno je prikazivanje rezultata u obliku numeričkih vrijednosti ili grafova koji pomažu donosiocu odluke da realnije sagleda problem i dobije potpuniji uvid u odnose između kriterija i alternativa. PROMETHEE metodom se mogu koristiti pojedinci u jednostavnom odlučivanju ali je najkorisnija kada skupina ljudi rješava složene probleme, pogotovo one sa više kriterija. Ova metoda uključuje mnogo prosudbi i percepcije ljudi čije odluke imaju dugoročan utjecaj. Ima jedinstvenu prednost kada je teško usporediti ili kvantificirati važne elemente odluke ili kada je suradnja među odjelima ili članovima tima ograničena zbog njihovih različitih specijalizacija ili stajališta. Osnovna ideja PROMETHEE metode je razmotriti preferencije donositelja odluke. PROMETHEE I i II dovode do dva različita načina rangiranja. PROMETHEE I se temelji na pozitivnim i negativnim tokovima, uključuje preferencije, indiferentnost i neusporedivost, a dovodi do djelomičnog rangiranja. PROMETHEE II se temelji na više kriterijalnom toku, uključuje preferencije i indiferentnost, a dovodi do kompletnog rangiranja.

Nastala je iz razloga što su metode višekriterijskog odlučivanja mogle koristiti samo kvantitativne podatke i stoga se nisu mogle dobro primjenjivati u slučajevima gdje postoje kvalitativne informacije (kao što se događa u realnim situacijama ili prilikom odabira projekta). U svrhu rangiranja alternativa, potrebno je definirati funkciju preferencija $P(a,b)$ za alternative a i b nakon definiranja kriterija. Alternative a i b se ocjenjuju sukladno funkciji kriterija. Smatra se da je alternativa a bolja od alternative b prema kriteriju f , ako je $f(a) > f(b)$. Na temelju takve usporedbe donositelj odluke može dodijeliti prednost jednoj od alternativa.

6. VIŠEKRITERIJSKI MODEL IZBORA TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU

Za provedbu višekriterijske analize u ovom diplomskom radu odabrana je metoda PROMETHEE. Metoda PROMETHEE omogućuje agregiranje kvalitativnih i kvantitativnih kriterija različite važnosti u relaciju parcijalnog uređenja u skupu alternativa (PROMETHEE I) ili u jedinstven skup (PROMETHEE II) na temelju kojega se alternative (varijante) mogu rangirati potpuno. Osnovna svojstva, a s time i povezane prednosti i nedostaci metode PROMETHEE su:

- cilj metode PROMETHEE nije određivanje optimalne alternative (varijante) već prikaz relacija preferencije (engl. *outranking relation*) između istraživanih alternativa (varijanti);
- u središtu metode stoji usporedba dvaju ili više alternativa u ovisnosti od odabranih kriterija vrednovanja. Alternative (varijante) se tako uvijek vrednuju u pogledu usporedbi, što kod većine ostalih metoda višekriterijske analize nije slučaj;
- donositelji odluka koji vrše vrednovanje svoje preferencije prikazuju isključivo u obliku ciljnih težina i granica pragova kao i funkcija preferencija i
- izlazni rezultati metode PROMETHEE nisu isključivo jedno potpuno rangiranje istraživanih alternativa (varijanti) već i određivanje međusobnih neusporedivosti.

Postupak višekriterijske analize primijenjen u ovom radu sastoji se od:

- definicija ciljeva, kriterija i varijanti;
- identifikacija parametara i indikatora koji najbolje izražavaju ili pokazuju definirane kriterije;
- definiranje sustava bodovanja predloženih varijanti;
- određivanje težina kriterija;
- proračun pomoću programskog paketa PROMETHEE GAIA 1.4 i
- analiza dobivenih rezultata vrednovanja

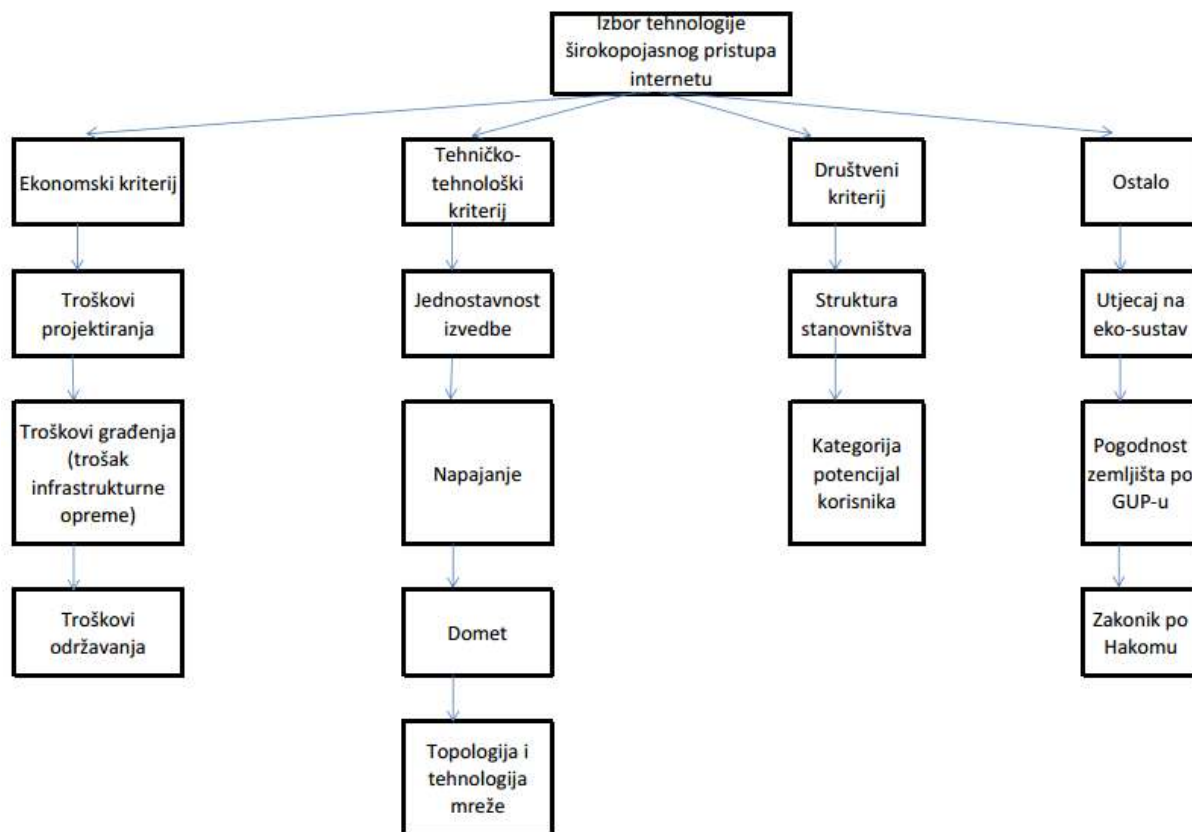
Glavni elementi problema odlučivanja su:

- ciljevi koje želimo postići odlukom;
- kriteriji koji se koriste kod izbora i
- alternative (varijante) između kojih se bira.

Cilj je stanje sustava koje se želi postići donošenjem odluke. Predmet ovog diplomskog rada ima jednoznačno određen cilj, a to je odrediti najisplativiju tehnologiju širokopoasnog pristupa na nekom području, s naglaskom na svjetlovodnu pristupnu infrastrukturu.

Kriteriji su atributi kojima se opisuju alternative (varijante) i njihova svrha je direktno ili indirektno pružanje informacija o tome u kojoj mjeri se pojedinom alternativom (varijantom) ostvaruje željeni cilj. Kriteriji trebaju opisati alternative na takav način da se više alternativa (varijanti) jasno može rangirati po kvaliteti (odn. traži se najbolja varijanta) u odnosu na promatrani kriterij.

Slika 38. prikazuje osnovne kriterije i podkriterije u procesu planiranja i razvoja širokopoasnih pristupni tehnologija.



Slika 38. Prikaz osnovnih kriterija i podkriterija u procesu planiranja i razvoja širokopojasnih pristupnih tehnologija

Ukoliko pri donošenju odluke postoji više različitih kriterija, oni gotovo u pravilu nemaju istu važnost te im se zbog toga dodjeljuju težine (težinski faktori odn. vrijednosti) koje odražavaju njihove relativne važnosti. U ovom radu određeni su osnovni kriteriji (pokazatelji) za potrebe izbora najisplativije tehnologije širokopojasnog pristupa, što je prikazano slikom 38.

6.1. PRIMJER VREDNOVANJA KRITERIJA I ALTERNATIVA

Kriterije je moguće podijeliti obzirom na važnost po nekom redoslijedu njihove uporabe u procesu odlučivanja na:

- početne eliminacijske kriterije, tj. one koji služe za početno prihvaćanje ili eliminiranje alternativa (varijanti);
- prelazne kriterije, tj. one koji služe za daljnje prihvaćanje ili eliminiranje alternativa (varijanti) prije njihova konačna izbora;
- konačne kriterije, tj. one koji služe za končano prihvaćanje jedne od alternativa (varijanti).

Prema navedenom razvrstavanju kriterija mogu se klasificirati kriteriji (pokazatelji) primijenjeni u ovom radu, i to kao:

- početni eliminacijski kriteriji: ekonomoski kriteriji, društveni kriteriji;
- prelazni kriteriji: tehničko - tehnološki kriteriji i
- konačni kriteriji: ostali kriteriji.

Od izbora Alternativa (varijanti) direktno ovisi kvaliteta donošenja odluka. U mnogim slučajevima postoji već jedan unaprijed određen broj alternativnih (varijantnih) rješenja s kojima se želi postići traženi cilj, no postoje i suprotne situacije kada ne postoji jednoznačno definirani broj alternativa te je prije svega potrebno generirati određen broj alternativa (varijanti) kako bi se tek potom pristupilo odabiru najpovoljnije među njima temeljem definiranih kriterija. Vrednovanje alternativa temelji se na kvalitativnim (opisni, egzaktno nemjerljivi) i kvantitativnim (egzaktno mjerljivi) faktorima; svaku alternativu (varijantu) potrebno je realno procijeniti sa stajališta njenih prednosti i nedostataka.

U slučaju razmatranom u ovom diplomskom radu postoje tri osnovna alternativna rješenja (varijante) gradnje širokopojasne pristupne infrastrukture.

Alternativna rješenja obrađena u ovom radu su:

- Varijanta 1 (A1) - spajanje svakog korisnika preko fiksne tehnologije širokopojasnog pristupa (ADSL, VDSL, FTTH);
- Varijanta 2 (A2) - spajanje svakog korisnika preko bežične tehnologije širokopojasnog pristupa (LTE) i
- Varijanta 3 (A3) - spajanje svakog korisnika preko WiMAX tehnologije.

Radi što preciznije procjene višekriterijske analize, svaka od četiri osnovne grupe kriterija raščlanjena je na određen broj pojedinačnih kriterija, sukladno opisima pojedinih grupa pokazatelja primijenjenih u komparativnoj analizi ovog rada.

Grupa financijskih kriterija (F) - ova grupa kriterija sastoji se isključivo od financijskih pokazatelja:

- Ekonomski kriterij - parametar su troškovi projektiranja, građenja i održavanja. Kriterij je valoriziran ocjenjivanjem varijanti ocjenama 1 do 5. Pregled raspona investicijskih troškova izvedbe priključaka po tehnologijama nalazi se na str. 44 ovog diplomskog rada.

Grupa tehničkih kriterija (T) - ova grupa kriterija sastoji se isključivo od tehničko - tehnoloških pokazatelja:

- Tehničko - tehnološki kriterij - parametar je brzina (*download/upload*), jednostavnost izvedbe i domet. Kriterij je valoriziran ocjenjivanjem varijanti ocjenama 1 do 5. Pregled tehničko - tehnoloških značajkih pojedinih širokopojasnih tehnologija nalazi se na str. 48 ovog diplomskog rada.

Grupa društvenih kriterija (D) - ova grupa kriterija sastoji se isključivo od društvenih pokazatelja:

- Društveni kriterij - parametar je potencijalni broj korisnika. Kriterij je valoriziran ocjenjivanjem varijanti ocjenama 1 do 5. Pretpostavka je da se

promatrano područje nalazi u urbanoj sredini gdje je potražnja za novim uslugama širokopojasnog pristupa internetu i najveća.

Grupa ostalih kriterija (O) - ova grupa kriterija sastoji se isključivo od pokazatelja utjecaja na eko-sustav, jer pratimo pretpostavku da projekt prati sve zakonske akte i regulative:

- Ostali kriteriji - parametar je razina utjecaja na eko-sustav. Kriterij je valoriziran ocjenjivanjem varijanti ocjenama 1 do 5.

Dodjela težine kriterija u ovom diplomskom radu temelji se na autorovoj slobodnoj procjeni, i nekim rezultatima sličnih istraživanja provedenih za druge projekte. Za sve kriterije odabrana je valorizacija po ocjenama iz razloga što se ovaj rad ne bavi problematikom izgradnje širokopojasne infrastrukture gdje su poznati svi potrebni podaci (financijski, tehnički i sl.), nego se u ovom radu daje jedna teoretska osnova (ili pokazni model) na koji način bi se konkretni slučajevi mogli rješavati. Da bi se dobio pravi rezultat višekriterijske analize nužno je svakom kriteriju dodijeliti pravu vrijednost, odnosno težinu kriterija koja se ovdje uvodi kao pojam. Za ocjenjivanje je korištena Likertova skala¹⁶ od 5 stupnjeva, gdje vrijedi: 1 = uopće se ne slažem, 2 = ne slažem se, 3 = neodlučan sam, 4 = slažem se, 5 = potpuno se slažem. Tablice odluke za izbor širokopojasnog pristupa internetu prema Likertovoj skali uključujući sve odnose između širokopojasnih pristupnih tehnologija prikazane su tablicama 6, 7 i 8.

¹⁶ Likertova skala je psihometrijska skala kojom pokušavamo doznati stupanj slaganja, odnosno neslaganja ispitanika s nekom tvrdnjom, njegov stav prema nekoj tvrdnji na kontinuumu od apsolutno pozitivnog prema apsolutno negativnom stavu prema predmetu istraživačkog interesa.

Tablica 6. Odnos varijanti A1 - A2 s dodijeljenim ocjenama

ODNOS A1 -A2	Uopće se ne slažem	Ne slažem se	Neodlučan sam	Slažem se	Potpuno se slažem
F kriterij važniji je alternativu A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	3	<u>4</u>	5
T kriterij važniji je alternativu A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	<u>3</u>	4	5
D kriterij važniji je alternativu A1 u odnosu na alternativu A2	1	<u>2</u>	3	4	5
O kriterij važniji je alternativu A1 u odnosu na alternativu A2	1	<u>2</u>	3	4	5

Tablica 7. Odnos varijanti A1 - A3 s dodijeljenim ocjenama

ODNOS A1 -A3	Uopće se ne slažem	Ne slažem se	Neodlučan sam	Slažem se	Potpuno se slažem
F kriterij važniji je alternativu A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	3	4	<u>5</u>
T kriterij važniji je alternativu A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	3	<u>4</u>	5
D kriterij važniji je alternativu A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	3	4	<u>5</u>
O kriterij važniji je alternativu A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	<u>3</u>	4	5

Tablica 8. Odnos varijanti A2 - A3 s dodijeljenim ocjenama

ODNOS A2 -A3	Uopće se ne slažem	Ne slažem se	Neodlučan sam	Slažem se	Potpuno se slažem
F kriterij važniji je alternativni A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	3	4	5
T kriterij važniji je alternativni A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	3	4	5
D kriterij važniji je alternativni A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	3	4	5
O kriterij važniji je alternativni A1 u odnosu na alternativu A2	1	2	3	4	5

Svakom kriteriju dodijeljena je ocjena 1 - 5, prema važnosti u odnosu na alternative od strane autora na temelju proučene literature.

Slijedi izračun izraza: $R_j = \sum_{k=1}^n R_{jk}$

gdje je:

R_{jk} - ocjena pridružena kriteriju j

R_j - suma svih ocjena

Težina kriterija određena je tada na sljedeći način:

$$w_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^n R_j}$$

w_j je težina j -tog kriterija sastavljena od svih ocjena za taj kriterij.

Suma svih ocjena pridruženih j -tom kriteriju iznosi $\sum R_j = 43$. Težine kriterija korištenjem navedenog izračuna su:

- finansijski: $w_f = 13/43 = 0,30$;

- tehnički: $w_t = 11/43 = 0,26$;

- društveni: $w_d = 10/43 = 0,23$;

- ostali: $w_0 = 9/43 = 0,21$.

Tehničko-tehnološki i društveni kriteriji teže maksimalizaciji, dok se ekonomski i ostali kriteriji žele minimalizirati. Za rješavanje i analizu problema koristi se programski paket PROMETHEE GAIA 1.4 koji omogućuje rangiranje alternativa sukladno definiranim kriterijima te pouzdano donošenje odluka o alternativama za postizanje željenih ciljeva.

6.2. PRIKAZ DOBIVENIH REZULTATA TESTNOG VREDNOVANJA

Prethodno predložene varijante i težine kriterija upisani su kao ulazni podaci u proračun, što je prikazano slikom 39.

	Scenario1		FINANCIJE	TEHNIČKI	DRUŠTVENI	OSTALI
	Unit		unit	unit	unit	unit
	Cluster/Group					
	Preferences					
	Min/Max		min	max	max	min
	Weight		0,30	0,26	0,23	0,21
	Preference Fn.		Usual	Usual	Usual	Usual
	Thresholds		absolute	absolute	absolute	absolute
	- Q: Indifference		n/a	n/a	n/a	n/a
	- P: Preference		n/a	n/a	n/a	n/a
	- S: Gaussian		n/a	n/a	n/a	n/a
	Statistics					
	Minimum		4,00	3,00	2,00	2,00
	Maximum		5,00	4,00	5,00	4,00
	Average		4,33	3,67	3,33	3,00
	Standard Dev.		0,47	0,47	1,25	0,82
	Evaluations					
☒	A1-A2		4,00	3,00	2,00	2,00
☒	A1-A3		5,00	4,00	5,00	3,00
☒	A2-A3		4,00	4,00	3,00	4,00

Slika 39. Ulazni podaci proračuna

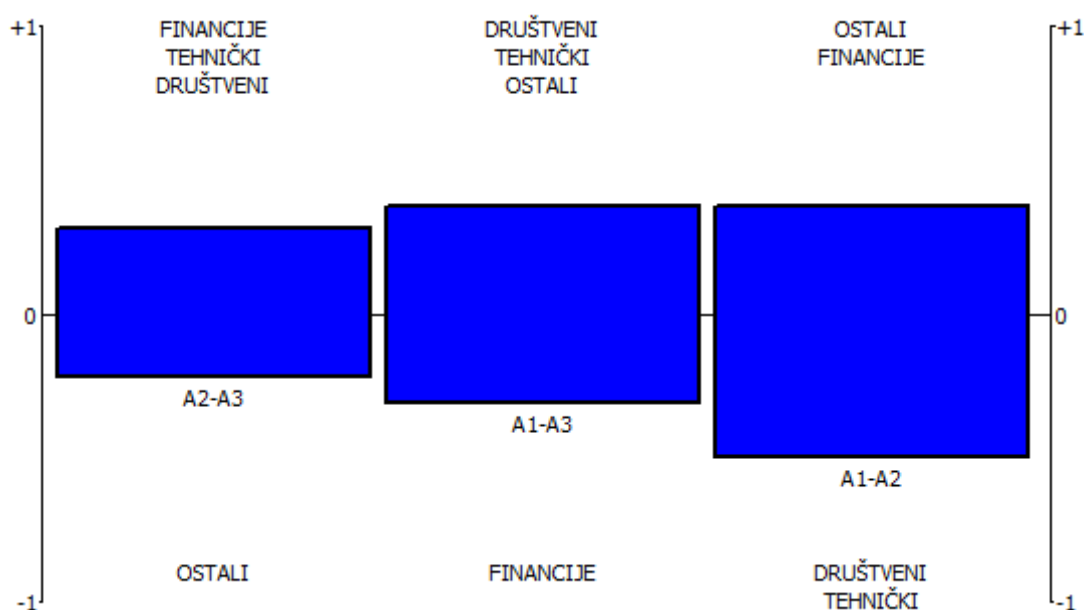
Prvi rezultat provedenog proračuna dan je na tablici 9., koja prikazuje rezultat rangiranja. U prvom stupcu te tablice svakoj varijanti naznačen je njen rang u poretku varijanti. Računalni program omogućuje usporedbu preferencije pojedine varijante za utjecaj svih kriterija i kombinacije kriterija odnosno njihovih pripadajućih podkriterija. Računalni program svakoj usporedbi varijanti (scenariju najisplativije tehnologije širokopojasnog pristupa) dodjeljuje indeks indifferencije (Phi). Prema tablici 9. je

vidljivo da je pri izboru tehnologije širokopojasnog pristupa internetu najbolje rangiran odnos varijanti A2 - A3, dok je najslabije rangiran odnos varijanti A1 - A2.

Tablica 9. Prikaz rezultata rangiranja varijanti

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	A2-A3		0,0700	0,3950	0,3250
2	A1-A3		0,0600	0,4650	0,4050
3	A1-A2		-0,1300	0,3600	0,4900

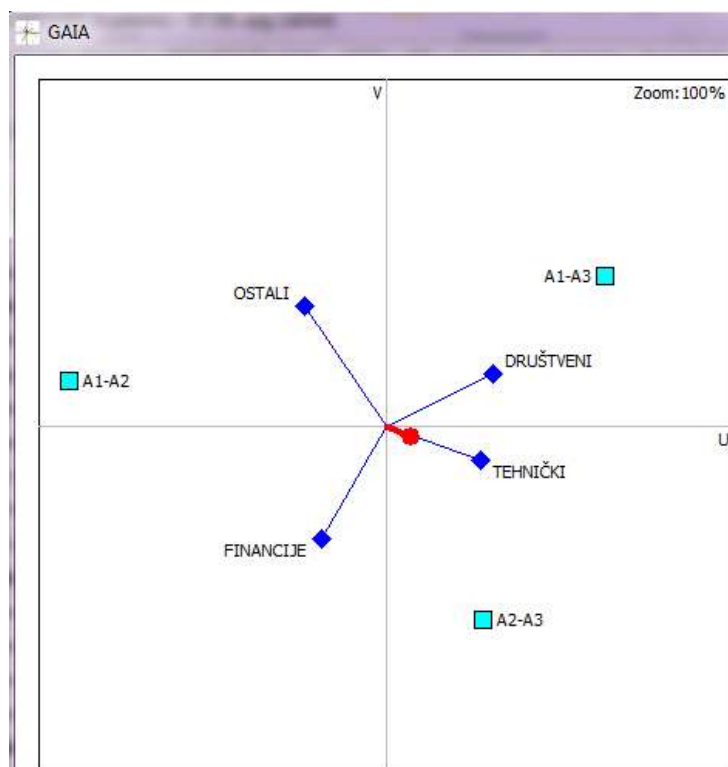
Najvažniji rezultat koji je dobiven odnosi se na rangiranje pojedinih alternativa, te je prikazan na slici 40.



Slika 40. Rangiranje alternativa

Iz slike 40. se može uočiti da su A2 i A3 alternative najisplativije tehnologije ostvarivanja širokopojasnog pristupa internetu na promatranom području iz konteksta planiranja razvoja telekomunikacijske mreže na temelju kvalitativnih i kvantitavnih pokazatelja kojima se očituju definirani kriteriji i podkriteriji. Obzirom da je kod postavljanja višekriterijskog modela na ekonomski kriterij postavljenja najveća težina pri odabiru najisplativije mreže kod planiranja razvoja telekomunikacijske infrastrukture sa stajališta operatora, slobodna bodovna procjena postavljena je na temelju stvarnih troškova koji nastaju po izvedenom priključku (iz tablice 4.). Rezultati

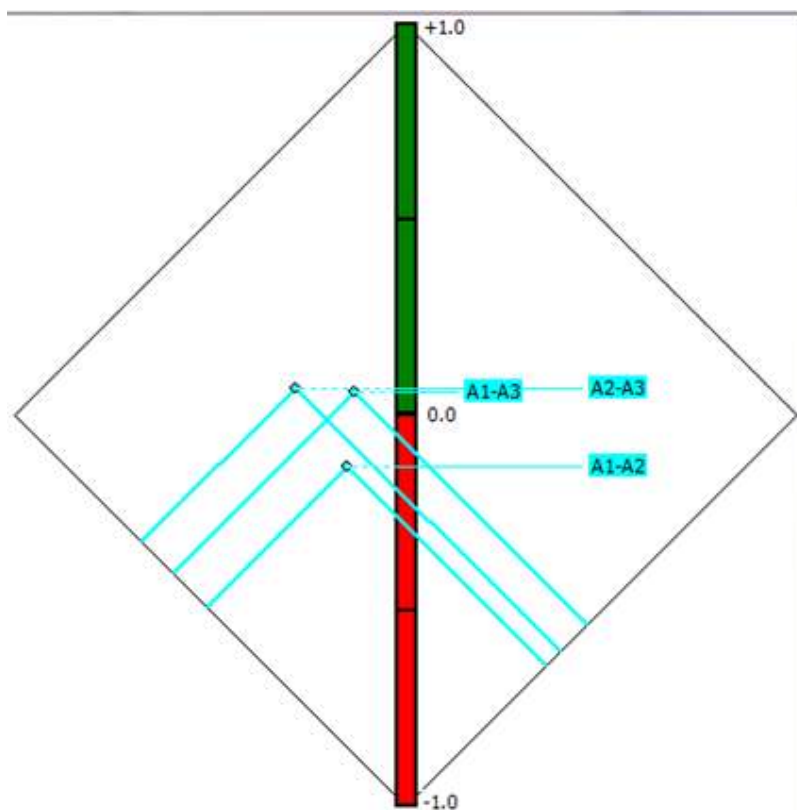
bodovne procjene pojedinačnih kriterija očituju se na slici 40. LTE tehnologija zadovoljava financijske pokazatelje ekonomskih kriterija, minimalne tehničke korisničke zahtjeve koji se iz godine u godinu povećavaju razvojem novih tehnologija kao što su brzina prijenosa podataka, lakša adaptacija na nove standarde i dostupnost usluge. Širokopojasne usluge FTTH/VDSL/ADSL potvrđuju visoku potražnju za fiksnim širokopojasnim uslugama uz konstantan porast potražnje, što se očituje i na temelju statističkih podataka, ali i dalje ponajviše u urbanim sredinama, gdje postoji veća koncentracija gospodarskih subjekata. Upravo gospodarski subjekti zahtijevaju konstantno povećanje pristupnih brzina uz maksimalno smanjenje smetnji i prekida rada usluga. Obzirom na potrebu za odvijanje kompleksnijih građevinskih zahvata pri postavljanju odgovarajuće infrastrukture za fiksne širokopojasne usluge, pogotovo u urbanim sredinama gdje je to otežano i financijski su pokazatelji ekonomskog kriterija dosta veći u odnosu na LTE tehnologiju. Troškovi implementacije WiMAX tehnologije, zajedno sa zakonskom regulativom, gotovo su identični troškovima implementacije LTE tehnologije, dok je maksimalna pristupna brzina dosta manja u odnosu na LTE tehnologiju pa je samim time i sama potražnja za tom tehnologijom puno manja.



Slika 41. GAIA analiza

GAIA analiza prikazana je slikom 41. i ona pokazuje relativnu poziciju alternativa, relativnu poziciju kriterija te relativnu poziciju alternativa za zadane kriterije. Bliske alternative imaju slične profile (LTE i WiMAX), dok alternative koje su potpuno različite imaju udaljene profile (FTTH/VDSL/ADSL u odnosu na LTE i WiMAX). Isto vrijedi i za kriterije, pa tako ako su kriteriji jedan blizu drugog, to znači da će u prosjeku alternative koje su dobre za jedan od tih kriterija biti dobre i za drugi kriterij. Delta vrijednost (100%) u gornjem desnom kutu daje procjenu zastupljenosti kvalitete pri čemu visoke vrijednosti odgovaraju dobroj reprezentaciji.

Analiza pozitivnih i negativnih tokova za sve navedene alternative prikazana je slikom 42.



Slika 42. Pozitivni i negativni tokovi alternativa

Negativni tok je prikazan na lijevoj donjoj strani dijamanta, dok je pozitivni tok prikazan na desnoj donjoj strani. Zeleni dio termometra predstavlja pozitivne, a crveni dio negativne vrijednosti. Sve dok je odnos A2-A3 iznad svih ostalih alternativa, donositelj odluke ima sklonost prema tim širokopojasnim pristupnim tehnologijama u odnosu na druge.

7. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu utvrđeno je da razvoj infrastrukture za širokopojasni pristup Internetu u Republici Hrvatskoj zaostaje za europskim prosjekom, iako je isti definiran kao nužan uvjet za razvoj i poboljšanje gospodarske klime (u segmentu poslovnih korisnika), povećanje stupnja obrazovanja i zdravstvene zaštite (u segmentu velikih korisnika - obrazovnih i zdravstvenih ustanova), te podizanje kvalitete usluge telekomunikacijskih operatera (u segmentu rezidencijalnih korisnika). Većina kućanstava u Republici Hrvatskoj koja imaju internetski priključak koristi jednu od tehnologija širokopojasnog pristupa Internetu, te se konstantno na temelju sve većih zahtjeva krajnjih korisnika za većim pristupnim brzinama i novim uslugama radi na širenju i izgradnji postojeće širokopojasne mreže, te izgradnji nove svjetlovodne mreže na područjima koje zadovoljavaju kriterije definirane u ovom radu. Državne mjere poticanja izgradnje širokopojasne infrastrukture uključuju i državne potpore, u skladu s pravilima o državnim potporama na razini EU-a, što daje prednost privatnim operatorima korisnicima potpora s ciljem dostupnosti širokopojasne infrastrukture na cijelom nacionalnom području. Uz poznatu veću vjerojatnost financijske isplativosti projekata planiranja i izgradnje svjetlovodne pristupne mreže u urbanim područjima, tj. područjima gušće naseljenosti, u ovom radu pozornost je posvećena izboru tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu. Uz definiranje alternativa (varijanti) širokopojasnog pristupa, definirani su i kriteriji kojima se opisuju alternative (varijante). U ovom diplomskom radu definirana su tri osnovna alternativna rješenja (varijante) gradnje širokopojasne pristupne infrastrukture, i to spajanje svakog korisnika preko fiksne tehnologije širokopojasnog pristupa (ADSL, VDSL, FTTH), spajanje svakog korisnika preko bežične tehnologije širokopojasnog pristupa (LTE) i spajanje svakog korisnika preko WiMAX tehnologije. Pri definiranju kriterija postavljena su četiri glavna kriterija, i to ekonomski, tehničko - tehnološki, društveni i ostali kriteriji. Pri izradi diplomskog rada za potrebe višekriterijske analize korištena je metoda PROMETHEE, te se može zaključiti kako se rezultat ovog modela višekriterijskog odlučivanja može primjeniti na svako planiranje razvoja širokopojasnog pristupa Internetu kroz izbor najisplativije tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu na promatranom području, promatrano iz pozicije telekomunikacijskog operatora. Svaki od četiri osnovne grupe kriterija raščlanjena je

na određen broj pojedinačnih kriterija, sukladno opisima pojedinih grupa pokazatelja primijenjenih u komparativnoj analizi ovog rada kako bi se najpreciznije mogle odrediti težine pojedinačnih kriterija. Kako bi došli do krajnjeg rezultata istraživanja potrebno je na temelju definiranih kriterija međusobno usporediti sve varijante raspoložive u istraživanju, te u međusobnom odnosu dodijeliti odgovarajuću ocjenu svakom kriteriju na temelju koje se određuje težina pojedinačnih kriterija. U ovom radu tehničko-tehnološki i društveni kriteriji teže maksimalizaciji, dok se ekonomski i ostali kriteriji žele minimalizirati. Kao rezultat primijenjenog modela najisplativija tehnologija širokopojasnog pristupa internetu je LTE tehnologija, uz podršku Wimax tehnologije. Računalni program svakom scenariju najisplativije tehnologije širokopojasnog pristupa internetu dodjeljuje indeks preferencije, te je u ovom radu najbolje rangiran odnos između LTE i Wimax širokopojasne tehnologije. Postojeći infrastrukturni kapaciteti predstavljaju temelj za uspostavu održivog telekomunikacijskog sustava, stoga prvenstveno treba težiti optimizaciji sustava uz minimizaciju velikih infrastrukturnih ulaganja. Problem izbora najisplativije tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu može se unaprijediti korištenjem metoda višekriterijskog odlučivanja. Obzirom da su sve relevantne činjenice uzete u obzir, PROMETHEE metoda, kao metoda višekriterijskog odlučivanja, je idealan izbor za obradu problema izbora najisplativije tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu.

LITERATURA:

- [1] Izvješće o izvršenju Provedbenog programa Strategije razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj za 2013. godinu; Vlada Republike Hrvatske, Zagreb, rujan 2014.
- [2] Bažant, A., Uvod u xDSL i ADSL. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2005.
- [3] URL: <http://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Modulacija.pdf> (ožujak, 2015.)
- [4] Fabeta, T.: Evolucija širokopojasnih pristupnih mreža, Revija 21/2007/2, Ericsson Nikola Tesla, Zagreb, 2007. (ožujak, 2015.)
- [5] URL: <http://www.fer.unizg.hr/download/repository/Sirokopjasni-pristup.pdf> (veljača 2015.)
- [6] Pravilnik o tehničkim i uporabnim uvjetima za svjetlovodne distribucijske mreže, Narodne novine, br. 108/10
- [7] Studija Tehno-ekonomska obilježja izgradnje FTTH mreža, Lator d.o.o., Zagreb, prosinac, 2011.
- [8] URL: http://nastava.tvz.hr/kirt/wpcontent/uploads/sites/4/2013/09/FTTX_mrezne_tehnologije_Karaica.pdf (ožujak, 2015.)
- [9] URL: http://www.ericsson.com/hr/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf (ožujak, 2015.)
- [10] URL: <http://www.hakom.hr/default.aspx?id=1222> (travanj, 2015.)
- [11] Izvješće o stanju u prostoru Republike Hrvatske 2008. – 2012., Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, NN 61/2013
- [12] URL: http://www.mppi.hr/UserDocsImages/Lator_MPPI_Okvirni_program_NGA_BB_financiranja.pdf (travanj, 2015.)
- [13] Razvoj infrastrukture širokopojasnog pristupa na području Labina, Pro Futura d.o.o., Labin, ožujak, 2017.

- [14] Dujmić, D.: Primjena višekriterijskog odlučivanja u odabiru lokacije skladišta, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
- [15] Begičević, N.: Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja E-učenja, Doktorska disertacija, FOI, Varaždin, 2008.
- [16] Kamenarić, T.: VDSL, seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2006.
- [17] Strategija razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020. godine, Vlada Republike Hrvatske, Zagreb, srpanj 2016.
- [18] Studija FTTH poslovnih modela u Hrvatskoj, Lator d.o.o., Zagreb, srpanj 2010.
- [19] Razvoj infrastrukture širokopojasnog pristupa na području Vrbovca, Pro Futura d.o.o., Vrbovec, ožujak 2017.
- [20] URL: www.hakom.hr (pristupljeno svibanj, 2017.)
- [21] Zaštita okoliša, Izvješće HT grupe za 2007. godinu, HT, Zagreb, 2007.
- [22] URL: <http://moj.efst.hr/~agm/proslovmain.html> (veljača, 2015.)
- [23] URL: <http://homehelphub.com/Tutorials/ADSL> (veljača, 2015.)
- [24] URL: <http://www.img.lx.it.pt/> (veljača, 2015.)
- [25] Anžek M., Vodovi i mreže u PT prometu, Autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2013.
- [26] URL: <http://www.tsrh.hr/elektro/dsladsl/> (veljača, 2015.)
- [27] URL: http://www.paradigm.com.tw/Support_FAQ-ADSL.html (travanj, 2016.)
- [28] URL: http://www.telekomunikacije.rs/arhiva_brojeva/sesti_broj/prof_dr_borisavlav_odaddjic_doc_dr_milan_jankovic_mogucnosti_uvozenja_alternativnih_operatora_u_nga_mredjama_i_regulatorni_izazovi.341.html (veljača, 2015.)
- [29] URL: http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/wimax_tehnologija.pdf (travanj, 2017.)

- [30] Razvoj širokopojasnog pristupa internetu na otocima: Metodologija i model projektiranja, Lator d.o.o., ožujak 2011.

POPIS KRATICA:

ADSL	(Asymmetric Digital Subscriber Line) asimetrična digitalna pretplatnička linija
ARPU	(Average Revenue per User) Prosječni prihod po korisniku
BER	(bit error ratio) Vjerojatnost pogreške bita
CAP	(Carrierless Amplitude/Phase modulation) Amplitudno-fazna modulacija s potisnutim nosiocem
CAPEX	(Capital Expenditures) Kapitalni troškovi
DAS	(Digital Agenda Scoreboard) Godišnje izvješće Europske komisije o postignutom u odnosu na 13 ključnih ciljeva, o napretku u provedbi mjera i aktivnosti
DČ	Distribucijski čvor
DLC	(Digital Loop Carrier) Digitalni nositelj petlje
DMT	(Discrete Multi-Tone) Diskretna multitonska modulacija
DOCSIS	(Data Over Cable Service Interface Specification) Standard širokopojasnog kablenskog pristupa
DSL	(Digital Subscriber Line) digitalna pretplatnička linija
DSLAM	(DSL Access Multiplexer) DSL multipleksor
DTK	Distributivna telekomunikacijska kanalizacija
DWMT	(Discrete Wavelet Multi-Tone) Modulacija diskretnog multitona malih valova
EC	(Echo Cancellation) Tehnika poništavanja odjeka
FDM	(Frequency Division Multiplexing) Multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem
FTTB	(Fiber to the Building) svjetlovodna nit do zgrade
FTTC	(Fiber to the Curb) svjetlovodna nit do pločnika

FTTCab	(Fiber to the Cabinet) svjetlovodna nit do kabineta
FTTH	(Fiber to the Home) svjetlovodna nit do kuće
FTTN	(Fiber To The Network) svjetlovodan nit prema mreži
GAIA	(Geometrical Analysis for Interactive Aid) geometrijski prikaz rezultata PROMETHEE metode
HAKOM	Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti
HSPA	(High Speed Packet Access) 3G tehnologija brzog paketskog pristupa
IFFT	(Inverse Fast Fourier) Inverzna transformacija
ISP	(Internet Service Provider) Pružatelj internetskih usluga
ITU-T	(International Telecommunication Union) – sektor za standardizaciju telekomunikacija pri Svjetskoj Telekomunikacijskoj Uniji
LČ	Lokalni čvor
LTE	(Long Term Evolution) 4G mobilna mreža
MDU	(Multi-Dwelling Units) Istovremeno posluživanje više korisnika
MPoP	(Metro Point of Presence) Prvi agregacijski čvor operatora
NGA	(Next Generation Access) Mreže nove generacije
NPV	(Net Present Value) Neto sadašnja vrijednost
ODN	(Optical Distribution Network) Svjetlovodna distribucijska mreža
OFDM	(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem
OLT	(Optical Line Terminal) Optički linijski terminal
ONU	(Optical Network Units) Optička mrežna jedinica
OPEX	(Operational Expenditures) Operativni troškovi

P2P	(Point 2 Point) Topologija točka - točka
P2MP	(Point 2 MultiPoint) Topologija točka - više točaka
PON	(Pasive optical network) Pasivna optička mreža
POTS	(Plain Old Telephone Service) Analogna telefonska linija
PSTN	(Public Switch Telephone Network) Javna komutirana telefonska mreža
QAM	(Quadrature Amplitude Modulation) Kvadratura amplitudna modulacija
ROI	(Return of Investment) Vrijeme povrata investicije
SRA	(Seamless Real-time data rate Adaptation) Tehnika kontinuirane prilagodbe prijenosne brzine u stvarnom vremenu
SRN	(Signal Noise Ratio) Odnos signal/šum
UPS	Udaljeni pretplatnički stupanj
VDSL	(Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line) digitalna pretplatnička linija velikih brzina prijenosa podataka
VOiP	(Voice over Internet Protocol) Prijenos govora IP protokolom
VSAT	(Very Small Aperture Terminal) Zemaljski terminal vrlo malog otvora
WCDMA	(Wideband Code Division Multiple Access) Sustav s višestrukim pristupom s kodnom raspodjelom
WiMAX	(Worldwide Interoperability for Microwave Access) širokopojasne pristupne tehnologije za ostvarivanje gradskih bežičnih mreža

POPIS ILUSTRACIJA:

Popis slika:

Slika 1. Segmentacija telekomunikacijske mreže	4
Slika 2. Simetrične i asimetrične xDSL tehnologije	6
Slika 3. Prikaz slabljenja signala s rastom udaljenosti od centrale	7
Slika 4. Premošteni odvojak	8
Slika 5. Prigušenje preslušavanja	8
Slika 6. ADSL podjela frekvencija	10
Slika 7. Blok shema osnovnih veza u ADSL sustavu	10
Slika 9. DMT modulacija – odnos signal-šum definira broj bitova po tonu	13
Slika 10. DMT dijeljenje frekvencijskog područja	14
Slika 11. Utjecaj SNR na kvalitetu prijenosa	14
Slika 12. Usporedba ADSL2 u odnosu na ADSL	15
Slika 13. ADSL2+ frekvencijski spektar	16
Slika 14. Prijenosne brzine ostvarene pomoću ADSL2+	17
Slika 15. ADSL/ADSL2/ADSL2+ brzine prijenosa	18
Slika 16. Kombinacija optičkih niti i upredenih parica	18
Slika 18. Usporedba brzina prijenosa ADSL2+, VDSL, VDSL2	21
Slika 19. Osnovni dijelovi svjetlovodne pristupne mreže	22
Slika 20. FTTx arhitektura	23
Slika 21. Dijelovi i čvorovi u FTTH mrežama	24
Slika 22. FTTB mrežna arhitektura	26
Slika 23. FTTC arhitektura	27
Slika 24. FTTCab i brzine prijenosa ovisno o duljini petlje	27
Slika 25. WiMAX prijenos podataka	29
Slika 26. Evolucija 3GPP tehnologija	31
Slika 27. Satelitski pristup s povratnim kanalom	32
Slika 28. Gustoća priključaka širokopojasnog pristupa Internetu u RH	34
Slika 29. Karta korištenja širokopojasnog pristupa	35
Slika 30. Širokopojasni pristup internetu putem nepokretne mreže - udjel tehnologija 2015.	36
Slika 31. 4G (LTE) dostupnost	37
Slika 32. Dostupnost širokopojasnog pristupa internetu putem nepokretne mreže – NGA	37
Slika 33. Struktura potražnje za širokopojasnim uslugama po kategorijama korisnika	50
Slika 34. Populacijska penetracija širokopojasnog pristupa u Hrvatskoj, 2005. - 2013.	50
Slika 35. Dopuštene razine elektromagnetskog zračenja	57
Slika 36. Hijerarhijska struktura AHP modela s kriterijima i alternativama	60
Slika 37. Saatyjeva skala prioriteta	61
Slika 38. Prikaz osnovnih kriterija i podkriterija u procesu planiranja i razvoja širokopojasnih pristupnih tehnologija	67
Slika 39. Ulazni podaci proračuna	74

Slika 40. Rangiranje alternativa	75
Slika 41. GAIA analiza	76
Slika 42. Pozitivni i negativni tokovi alternativa.....	77

Popis tablica:

Tablica 1. Frenkvencijski pojas ADSL tehnologije	9
Tablica 2. Prijenosne brzine podržane VDSL-om	19
Tablica 3. Pokazatelji uspješnosti provedbe Strategije	39
Tablica 4. Pregled raspona investicijskih troškova izvedbe priključaka po tehnologijama	43
Tablica 5. Pregled tržišno najviše zastupljenih širokopojasnih tehnologija	48
Tablica 6. Odnos varijanti A1 - A2 s dodijeljenim ocjenama	71
Tablica 7. Odnos varijanti A1 - A3 s dodijeljenim ocjenama	71
Tablica 8. Odnos varijanti A2 - A3 s dodijeljenim ocjenama	72
Tablica 9. Prikaz rezultata rangiranja varijanti	75



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **ANALIZA ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU PRIMJENOM**
VIŠEKRITERIJSKE METODE PROMETHEE

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 07.09.2017

Student/ica:

Antalović Mario

(potpis)