

Usporedna analiza tehnološko-ekonomskih parametara za planiranje širokopojasnih pristupnih mreža

Vujnović, Goran

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:119:766129>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Goran Vujnović

**USPOREDNA ANALIZA TEHNOLOŠKO-EKONOMSKIH
PARAMETARA ZA PLANIRANJE ŠIROKOPOJASNIH
PRISTUPNIH MREŽA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**USPOREDNA ANALIZA TEHNOLOŠKO-EKONOMSKIH
PARAMETARA ZA PLANIRANJE ŠIROKOPOJASNIH
PRISTUPNIH MREŽA**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNO-ECONOMIC
PARAMETERS FOR PLANNING OF BROADBAND ACCESS
NETWORKS**

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Grgurević

Student: Goran Vujnović

JMBAG: 0135223976

Zagreb, rujan 2018.

USPOREDNA ANALIZA TEHNOLOŠKO-EKONOMSKIH PARAMETARA ZA PLANIRANJE ŠIROKOPOJASNIH PRISTUPNIH MREŽA

SAŽETAK

Širokopojasnom pristupnom mrežom smatra se ona mreža koja spaja korisnika s pristupnom centralom. Osnovna podjela širokopojasnih pristupnih mreža je na žični i bežični pristup. Kod planiranja i projektiranja širokopojasnih pristupnih mreža bitno je istražiti niz tehnološko-ekonomskih parametara. Tehnološki parametri vezani su za funkcionalnosti i karakteristike širokopojasnih pristupnih mreža te na načine odabira odgovarajućih tehnologija. Ekonomske parametre moguće je prikazati kroz različite vrste troškova, kao što su troškovi izgradnje širokopojasnih pristupnih mreža, tržišni interes za izgradnju, kapitalna ulaganja, operativna ulaganja te troškovi nevezani za telekomunikacijsku tehnologiju. Postoji mnogo metoda i programskih alata kojima se može provesti tehnološko-ekonomska analiza. U diplomskom radu korištene su: metoda Mactor (alat Mactor), metoda zasnovana na dinamici sustava (alat Vensim), metoda pravog izbora (alat Crystal Ball) i teorija igara (alat Gambit). Korištenjem navedenih metoda i alata istraženi su tehnološko-ekonomski parametri i provedene su simulacije modela s ciljem planiranja širokopojasnih pristupnih mreža.

KLJUČNE RIJEČI: širokopojasna pristupna mreža; planiranje pristupnih mreža; tehnološki parametri; ekonomski parametri; tehnološko-ekonomska analiza

SUMMARY

A broadband access network is considered a network connecting a user to an access point. Broadband access networks are divided based on access into wired and wireless. When planning and designing broadband access networks, it is important to explore a wide range of technological and economic parameters. Technological parameters are related to the functionality and characteristics of broadband access networks and the ways of selecting the appropriate technologies. Economic parameters can be displayed through different types of costs, such as the cost of building broadband access networks, market interest for construction, capital investment, operational investments and costs unrelated to telecommunication technology. There are a lot of methods and program tools which can be used for technological-economic analysis. In this graduate thesis various methods were used: Mactor method (Mactor tool), method based on dynamics of the system (Vensim tool), real choice method (Crystal Ball tool) and theory of games (Gambit tool). Using mentioned methods and tools technological-economic parameters were examined. Also, model simulation was carried out with an aim of broadband access network planning.

KEYWORDS: broadband access network; planning of access networks; technological parameters; economic parameters; technological and economic analysis

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Karakteristike i razvoj širokopoljasnih pristupnih mreža.....	3
2.1. Arhitektura žične širokopoljasne pristupne mreže	4
2.2. Arhitektura širokopoljasne pristupne mreže preko optičkog kabela	6
2.3. Arhitektura bežične širokopoljasne pristupne mreže.....	8
2.4. DSL tehnologije širokopoljasnog pristupa	11
2.4.1. Simetrične DSL tehnologije.....	11
2.4.2. Asimetrične DSL tehnologije.....	12
3. Tehnološka obilježja širokopoljasnih pristupnih mreža	15
3.1. Analiza modela „odozdo prema gore“	15
3.2. Optimizacija dimenzioniranja mreže.....	17
3.2.1. Godišnji pristup.....	17
3.2.2. Povijesni pristup.....	17
3.3. Vrste operatora	18
3.4. Vrste tehnologije.....	19
3.5. „Scorched node“ i „scorched earth“ pristup	20
3.6. Vrsta usluga	21
4. Ekonomska obilježja širokopoljasnih pristupnih mreža.....	23
4.1. Kapitalni i operativni troškovi	23
4.2. Direktni, indirektni i opći troškovi	24
4.3. Raspodjela indirektnih troškova i općih troškova	25
5. Standardizacijski i legislativni okvir širokopoljasnih pristupnih mreža	27
5.1. CERT Republike Hrvatske (nCERT i ZSIS).....	30
5.2. Temeljni zahtjevi za elektroničku komunikacijsku mrežu i elektroničku komunikacijsku infrastrukturu.....	31
6. Usporedna analiza tehnološko – ekonomskih parametara	33
6.1. Višekriterijsko odlučivanje u funkciji planiranja širokopoljasne pristupne mreže	34
6.2. Podjela troškova	39
6.3. Klasifikacija parametara	40
6.4. Metode tehnološko – ekonomske analize	42
6.4.1. Metoda Mactor.....	43
6.4.2. Metoda zasnovana na dinamici sustava	45

6.4.3. Analiza pravog izbora	46
6.4.4. Teorija igara	47
6.5. Alati za provedbu metoda tehnološko – ekonomske analize.....	48
6.5.1. Programski alat Mactor	49
6.5.2. Programski alat Vensim	50
6.5.3. Programski alat Crystal Ball	52
6.5.4. Programski alat Gambit	53
6.6. Usporedba alata za tehnološko – ekonomsku analizu	55
7. Sustavno planiranje širokopojsnih pristupnih mreža.....	57
7.1. Strategija razvoja širokopojsnog pristupa u Republici Hrvatskoj	59
7.2. Pokazatelji razvijenosti mreže	62
7.3. Definicija projekata u pristupnim mrežama	64
7.4. Odabir investicijskog modela	65
8. Zaključak.....	67
Literatura	69
Popis kratica i akronima	74
Popis ilustracija	77
Popis slika.....	77
Popis grafikona	78
Popis tablica.....	79

1. Uvod

Projektiranjem i razvojem novih telekomunikacijskih tehnologija i usluga javlja se potreba za većim prijenosnim kapacitetima. Cilj je veliku količinu podataka prenositi u što manjem vremenu. Brzine prijenosa koje su se koristile u modemskim vezama zadovoljavale su potrebe korisnika u ranim počecima telekomunikacijskih usluga. Razvojem telekomunikacija i telekomunikacijskih usluga postojeće brzine prijenosa postale su spore za privatne i poslovne korisnike. Zbog svih navedenih razloga javlja se razvoj širokopojasnih pristupnih mreža.

Ključnu ulogu u širokopojasnim pristupnim mrežama ima digitalna pretplatnička linija. Digitalna pretplatnička linija osigurava brži pristup Internetu i podržava rad brzih digitalnih komunikacija preko postojeće infrastrukture i tako zadovoljava potrebe korisnika odnosno tržišta. Osim digitalnih pretplatničkih linija postoje i druge tehnologije koje osiguravaju znatno veće brzine prijenosa podataka. Tehnologije koje se javljaju su tehnologije optičkog pristupa koje mogu biti izvedene pomoću optičkih niti ili bežično, širokopojasni pristup koaksijalnim kabelima, satelitski širokopojasni pristup, širokopojasni pristup vodovima elektroenergetske mreže i dr.

Kod planiranja i projektiranja širokopojasnih pristupnih mreža bitno je istražiti niz tehnološko – ekonomskih parametara. Ukupni troškovi telekomunikacijske mreže se mogu podijeliti u dvije osnovne kategorije: kapitalna ulaganja i operativna ulaganja. Kapitalna ulaganja pokrivaju sve nužne troškove implementiranja nove mreže. Sastoje se od početne mrežne opreme, troškova izgradnje mreže, infrastrukturnih troškova i sustava upravljanja mrežom. Operativna ulaganja pokrivaju troškove rada, administraciju i održavanje mreže.

Tema diplomskog rada je „Usporedna analiza tehnološko-ekonomskih parametara za planiranje širokopojasnih pristupnih mreža“.

Svrha istraživanja u diplomskom radu je prikazati funkcionalnosti i karakteristike širokopojasnih pristupnih mreža te opisati njezine tehnološko – ekonomske parametre. Prikazati njihov razvoj, planiranje i projektiranje te kroz širokopojasne usluge pokazati primjenu širokopojasnih pristupnih mreža.

Provedena analiza ima za cilj istražiti tehnološko-ekonomske parametre širokopojasnih pristupnih mreža te način na koji se može odrediti važnost između parametara. Potrebno je istražiti i opisati odabrane metode kojima se može provesti tehnološko – ekonomska analiza i prikazati njihove rezultate.

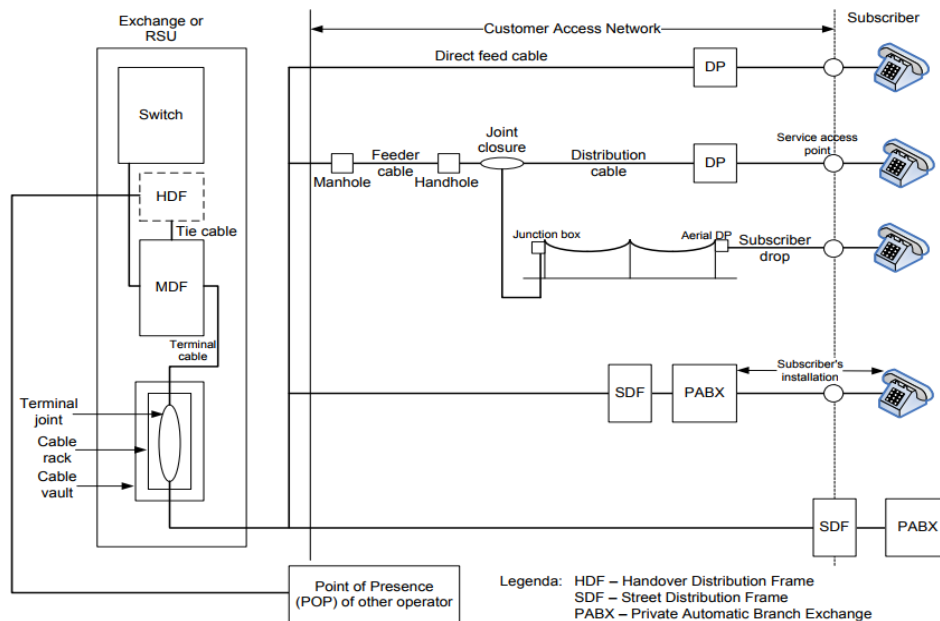
Diplomski rad sastoji se od osam poglavlja:

1. Uvod
2. Karakteristike i razvoj širokopojasnih pristupnih mreža
3. Tehnološka obilježja širokopojasnih pristupnih mreža
4. Ekonomska obilježja širokopojasnih pristupnih mreža
5. Standardizacijski i legislativni okvir širokopojasnih pristupnih mreža
6. Usporedna analiza tehnološko-ekonomskih parametara
7. Sustavno planiranje širokopojasnih pristupnih mreža
8. Zaključak

Uvodno poglavlje daje osnovnu sliku o radu te definira cilj, svrhu i strukturu rada. U drugom poglavlju, radi boljeg razlaganja problematike, predstavljene su karakteristike i razvoj širokopojasnih pristupnih mreža, opisana je arhitektura i infrastruktura. U trećem poglavlju opisani su tehnološki parametri koji obilježavaju širokopojasne pristupne mreže. Osnovni ekonomski parametri kao što su različite vrste troškova prikazani su u četvrtom poglavlju. Važan dio kod planiranja širokopojasnih pristupnih mreža i njene infrastrukture je zakonodavni okvir odnosno postojeća telekomunikacijska legislativa i standardizacija koji su opisani u petom poglavlju. U šestom poglavlju provedena je usporedna analiza tehnološko – ekonomskih parametara koji su u prijašnjim poglavljima navedeni. Korisnički zahtjevi za povećanim kapacitetima u postojećim telekomunikacijskim mrežama doveli su do sustavnog planiranja širokopojasnih pristupnih mreža koje je prikazano u sedmom poglavlju. Na temelju prezentiranih činjenica iz prethodnih poglavlja, donesen je zaključak u kojem su ukratko prikazani glavni rezultati provedenog istraživanja diplomskog rada.

2. Karakteristike i razvoj širokopojasnih pristupnih mreža

Širokopojasna pristupna mreža sastoji se od lokalnih petlji i od pridružene im mrežne opreme. Za lokalne petlje ponekad se rabi i naziv pretplatničke linije (engl. *subscriber lines*). Cilj i svrha širokopojasnih pristupnih mreža je omogućavanje pretplatnicima odnosno krajnjim korisnicima povezivanje s jezgrenom mrežom preko koje pristupaju raznim uslugama. Lokalne petlje povezuju lokacije krajnjih korisnika usluge s lokalnim centralama i prikazane su na slici 1.



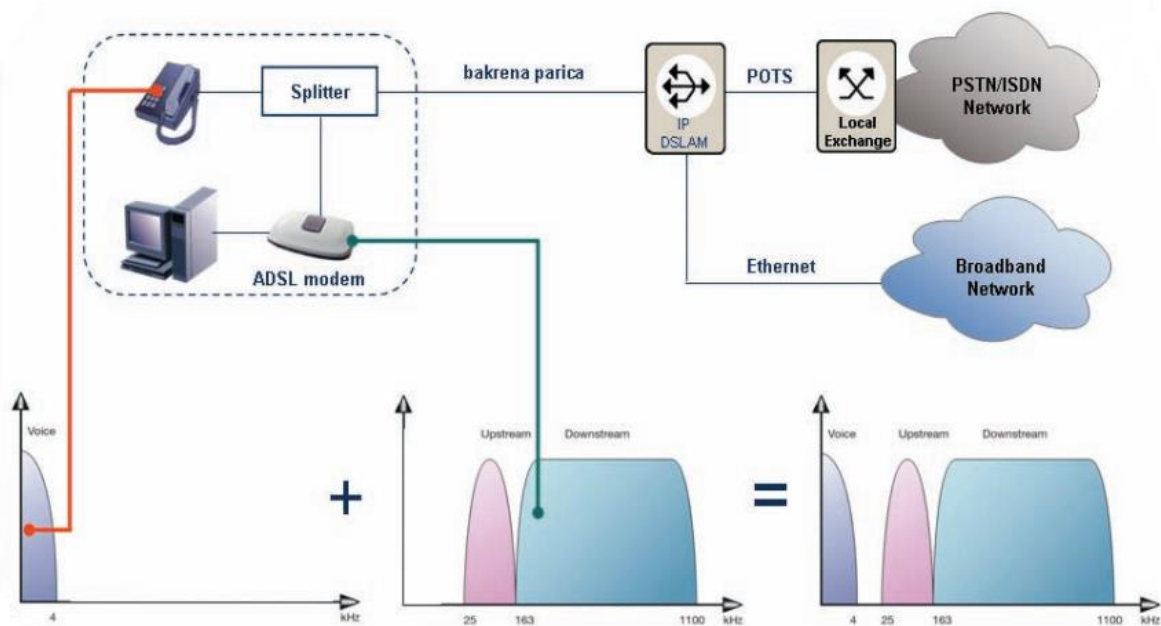
Slika 1. Lokalna petlja kao linija za pristup PSTN-u [1]

Osim putem fiksnih linija, danas se jezgrenom mreži sve češće pristupa i kroz pokretne mreže. Tradicionalna pristupna mreža sastoji se, uglavnom, od kabela s neoklopljenim upredenim paricama (**UTP** – *Unshielded Twisted Pair*).

Općenita podjela širokopojasne mreže je na žični (uključujući optički) i radijski odnosno bežični pristup. Kod žičnog pristupa imamo bakrenu paricu, optička vlakna, koaksijalni kabel te komunikaciju 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 pristup i pristup putem bežične optike, [2].

2.1. Arhitektura žične širokopojasne pristupne mreže

Najpoznatiji pristup žične širokopojasne pristupne mreže je pristup preko bakrene parice. Na slici 2. prikazana je osnovana arhitektura digitalne pretplatničke linije (**DSL – Digital Subscriber Line**) koja se sastoji od POTS razdjelnika (engl. *POTS splitter*) koji u dolaznom smjeru odvaja POTS (engl. *Plain old telephone service*) promet odnosno frekvencijski spektar predviđen za prijenos govora od DSL prometa i njegovog frekvencijskog spektra. Također sam razdjelnik je integriran u mrežno sučelje NID (**NID – Network Interface Device**).



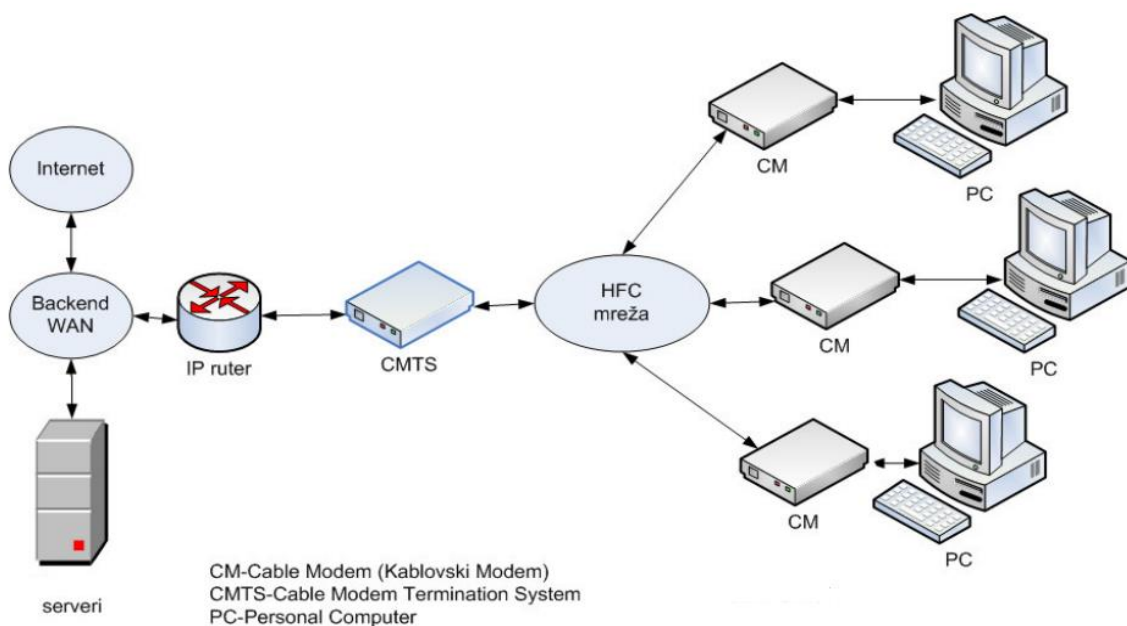
Slika 2. Arhitektura DSL sustava [3]

Mikro razdjelnici odnosno mikrofilteri imaju iste pogodnosti kao razdjelnici, to je glavni razlog zašto se mogu koristiti umjesto njih. Njihov osnovni cilj je omogućavanje istovremenog korištenja podatkovnog prometa i telefona. Mikrofilteri i razdjelnici su jednostavni uređaji te su takvi pogodni za instalaciju od samih korisnika i cijenom su prihvatljivi za proizvodnju, [2], [4].

Lokalna centrala i bakrena parica nalaze se sa suprotne strane od lokalne petlje. Bakrena parica spojena je na glavni razdjelnik MDF (**MDF – Main Distribution Frame**), njegova svrha je povezivanje DSL korisnika preko pristupne mreže s DSL multipleksorom koji se naziva DSLAM (**DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer**). Novije izvedbe odnosno generacije DSLAM-ova imaju ugrađenu funkcionalnost mrežnog protokola koji se bazira na IP protokolu te je to razlog zbog kojih se takvi DSLAM-ovi nazivaju IP/DSL (engl. *Internet Protocol-DSL*) komutatori. POTS prometni tok i podatkovni prometni tok kada se prenose preko iste lokalne petlje tada se POTS prometni tok frekvencijski razdvaja od podatkovnog prometnog toka pomoću višestrukog POTS razdjelnika koji se zove PSC (engl. *POTS splitter*

chassis). Pomoću takvog razdvajanja DSLAM multipleksira DSL promet od krajnjih korisnika u brzu jezgrenu mrežu koja se naziva ATM (**ATM** – *Asynchronous Transfer Mode*) pomoću univerzalnog pristupnog koncentratora UAC (**UAC** – *Universal Access Concentrator*) koji je smješten u lokalnoj centrali. UAC-ova svrha nije samo koncentriranje DSL prometa već i ostalih vrsta prometa. UAC odabire davatelja mrežne usluge NSP-a (**NSP** – *Network Service Provider*) kojemu je potrebno usmjeriti podatke od korisnika. On te podatke komutira i usmjerava prema brzom spojnom vodu koji se naziva trunk koji vodi do odabranog NSP-a. Trenutno rezidencijalni i mali poslovni korisnici koriste sljedeće DSL tehnologije: ADSL2, ADSL2+, VDSL, VDSL2, [2], [4].

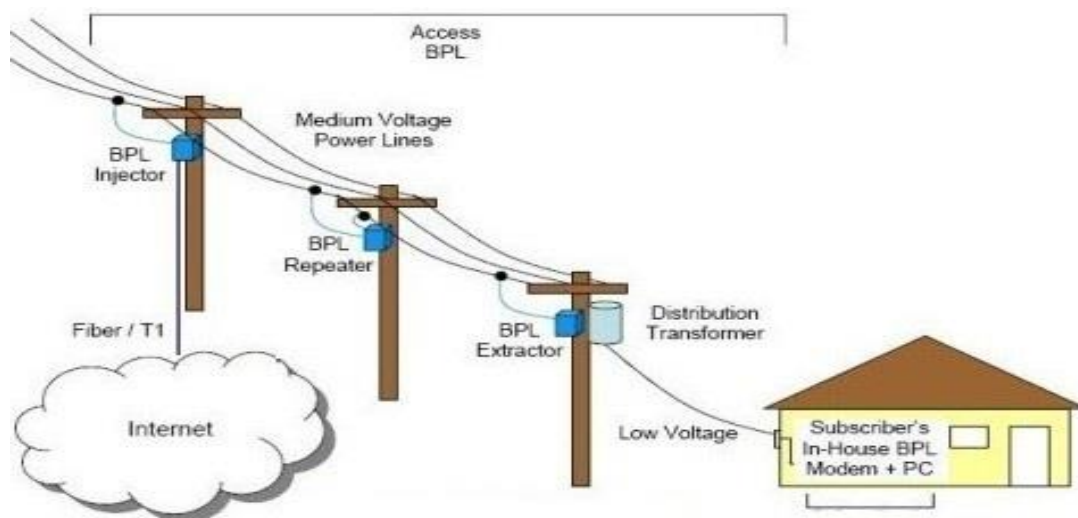
Koaksijalni kabel uz pomoć kabljskih modema (engl. *Cable modem*) realizira širokopojasni pristup mreži. Kabljski modemi povezani su sa završnim sustavom preko koaksijalnih kabela koji se naziva CMTS (**CMTS** – *Cable Modem Termination System*). On predstavlja sastavni dio CATV centrale operatora. Domet ovakve vrste mreže može biti vrlo velik zbog uporabe pojačala koja pojačavaju signal i u dolaznom i odlaznom smjeru, pa se nazivaju dvosmjerna pojačala. Zbog navedenog načina signal se može slati na udaljenostima od 100 km prema većoj skupini korisnika uz relativno mali broj koaksijalnih kabela. Povodom korištenja kabljskih modema za pristup Internetu svi korisnici koji su spojeni sa završnim sustavom odnosno CMTS-om dijelit će ukupnu brzinu i tu nastaje problem sigurnosti i privatnosti komunikacije između korisnika. Mreža koja je povezana pomoću kabljskih modema i operatorovih koncentratora može biti izvedena na dva načina: isključivo preko koaksijalnih kabela i kao HCF (**HCF** – *Hybrid Fiber/Coax*). HCF pristup je trenutno najrašireniji primjer ovakve veze u svijetu. U HCF mreži signal se iz centrale (CATV) te optičkim nitima prenosi do optičkog čvora iz kojeg se granaju koaksijalni kablei do krajnjih korisnika kao što je prikazano na slici 3., [2].



Slika 3. Arhitektura koaksijalne mreže [5]

Koaksijalni modemi omogućavaju karakteristične brzine kao što su 55.2 Mbit/s u dolaznom smjeru i 3 Mbit/s u odlaznom smjeru (novo modelirani standardi omogućavaju brzinu do 30 Mbit/s u odlaznom smjeru). Spomenute brzine su izražene za jedan koaksijalni kabel. Kako više korisnika dijeli samo jedan kabel tako se i brzine prijenosa razlikuju. Prijenosne brzine po jednom korisniku iznose od 500 do 1000 Kbit/s u dolaznom smjeru i oko 255 Kbit/s u odlaznom smjeru. Temeljni standard u ovoj tehnologiji je DOCSIS (**DOCSIS** – *Data Over Cable Service Interface Specification*), [2].

Posljednja tehnologija koja prezentira ovakvu grupu širokopojasne pristupne mreže je širokopojasni pristup preko vodova elektroenergetske mreže. Operator koji pruža ovakav tip usluge mora imati ugovor o korištenju elektroenergetske mreže. On će dijeliti širokopojasni signal pomoću elektroenergetske mreže preko transformacijske stanice, [2].



Slika 4. Arhitektura širokopojasne mreže preko dalekovoda [6]

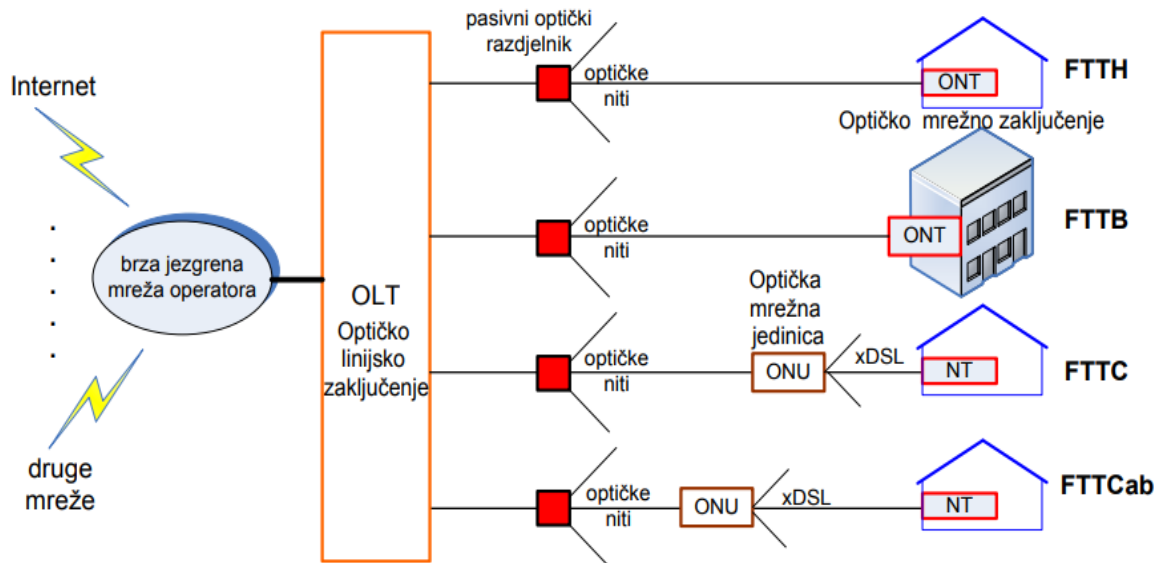
Jezgrena mreža odnosno temeljna mreža povezana je optičkim vlaknima s transformacijskom stanicom. Kada signal prođe transformacijsku stanicu putuje elektroenergetskom mrežom do korisnika koji prima širokopojasni signal i koristi uslugu operatora pomoću PLC (**PLC** – *Power Line Communication*) modema. Arhitektura takve mreže prikazana je na slici 4., [2].

2.2. Arhitektura širokopojasne pristupne mreže preko optičkog kabela

U širokopojasnim mrežama koje su izvedene preko optičkog kabela najzastupljeniji sustavi su FTTH (**FTTH** – *Fiber to the Home*) odnosno optika do kuće i FTTB (**FTTB** – *Fiber to the Building*) odnosno optika do zgrade. Kod tih sustava optički linijski terminal (**OTL** – *Optical Line Terminal*) povezan je pomoću optičkih niti s optičkim mrežnim završecima ONT (**ONT** – *Optical Network Termination*). Mrežni završeci nalaze se na kraju pristupne mreže, odnosno u kućama ili zgradama od strane korisnika. U sustavima što su FTTC i FTTCab odnosno optika do pločnika/or marića, optički linijski terminal OTL povezan je s optičkim mrežnim jedinicama (**ONU** – *Optical Network Unit*) pomoću optičkih niti.

Optičke mrežne jedinice su smještene u blizini zgrada ili kuća, te se korisnik na optičku mrežnu jedinicu spaja preko neke od DSL tehnologija. Spajanje može biti izvedeno preko bakrene parice ili koaksijalnog kabela sve do mrežnih završetaka (engl. *Network termination*), [2].

Najzastupljeniji sustavi razvlačenja optike su FTTC i FTTCab zbog značajne uštede u pristupnoj infrastrukturi. Pristupnu tehnologiju FTTx moguće je podijeliti na: poveznica od točke do točke (izravno povezivanje korisnika i centrale) i povezivanje pomoću pasivne optičke mreže (**PON – Passive Optical Network**), kao što je predočeno na slici 5.



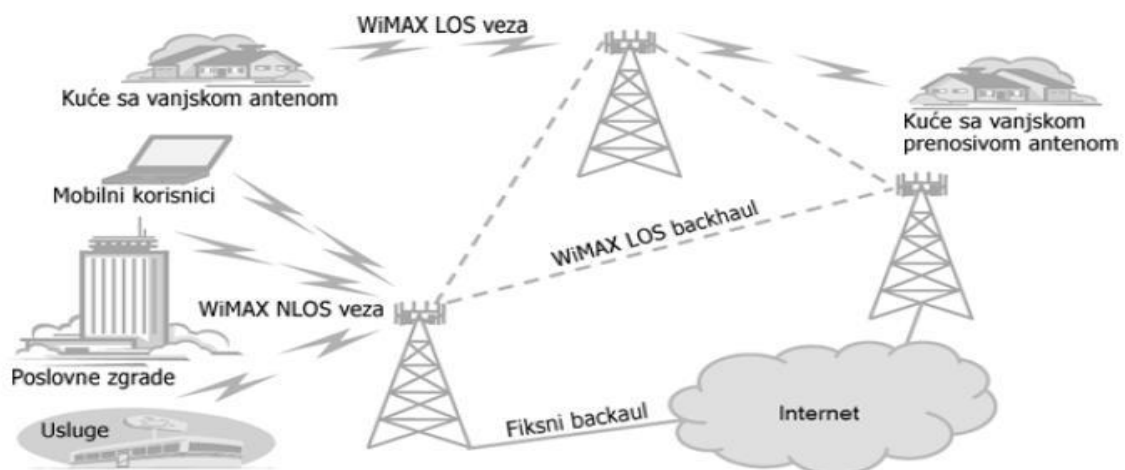
Slika 5. Arhitektura širokopoljasne optičke mreže [1]

Najbitnija i najveća prednost pasivne optičke mreže u usporedbi s poveznicom od točke od točke je ekonomskog karaktera odnosno ušteda u izgradnji kablanske infrastrukture. To znači smanjenje količine optičkih niti jer se snaga signala dijeli u omjeru koji je 1:N. N označava broj krajnjih korisnika koji su povezani na pasivni optički razdjelnik. Kod pasivnih optičkih mreža upotrebljava se vremensko multipleksiranje¹ (**TDM – Time Division Multiplexing**). Načelom *broadcastinga* prenose se podaci u dolaznom smjeru odnosno podaci usmjereni prema korisniku, dok se višestrukim pristupom (engl. *Multiple medium access*) prenose podaci u odlaznom smjeru odnosno podaci usmjereni od korisnika. Takva raspodjela znači da se ukupni prijenosni pojas između OLT-a i ONU-a dijeli između krajnjih korisnika. Brzina prijenosa podataka koja se propušta uvjetuje broj korisnika te nigdje nije definirano kolika je veličina te brzine. U svakodnevici maksimalan broj korisnika po jednom razdjelniku je 64 zbog povećanja pristupnog kašnjenja (engl. *Access delay*) nakon većeg broja korisnika, [7].

¹ **Vremensko multipleksiranje** (engl. *Time Division Multiplexing*) – tip multipleksiranja kod kojeg se raspoloživo vrijeme dijeli na vremenske okvire trajanja T , [8].

2.3. Arhitektura bežične širokopojasne pristupne mreže

WiMAX (**WiMAX** – *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) predstavlja standard za ostvarivanje gradskih bežičnih mreža (engl. *Wireless metropolitan area network*). Arhitektura ovakvog pristupa predstavljena je na slici 6. te ona odobrava dva pristupa: pristup od točke do točke (engl. *Point to point*) i pristup od točke prema većem broju točki (engl. *Point to multipoint*). U topologiji od točke do točke postoji jedna ili više poveznica koje su spojene usmjerenim antenama zbog toga što se pokušava smanjiti rasipanje signala. Kod topologije od točke prema većem broju točki koriste se bazne stanice koje zrače u ograničenom prostoru od odašiljača prema korisnicima. Najčešće korištena topologija mreže je miješana te u njoj krajnji korisnički uređaji mogu primati, ali i usmjeravati promet prema drugim terminalima u mreži. Zaključak je kako se na ovaj način omogućuje bolje pokrivanje terena zato što svaka nova korisnička stanica može poslužiti kao nova bazna stanica. Kod miješane topologije pristup od točke do točke koristi se između baznih stanica s jezgrenom mrežom, dok se pristup od točke prema većem broju točki koristi između baznih stanica i krajnjih korisnika. Veza između bazne stanice i mreže može biti izvedena optičkim vlaknima ili zakupljenim kanalima, [9].

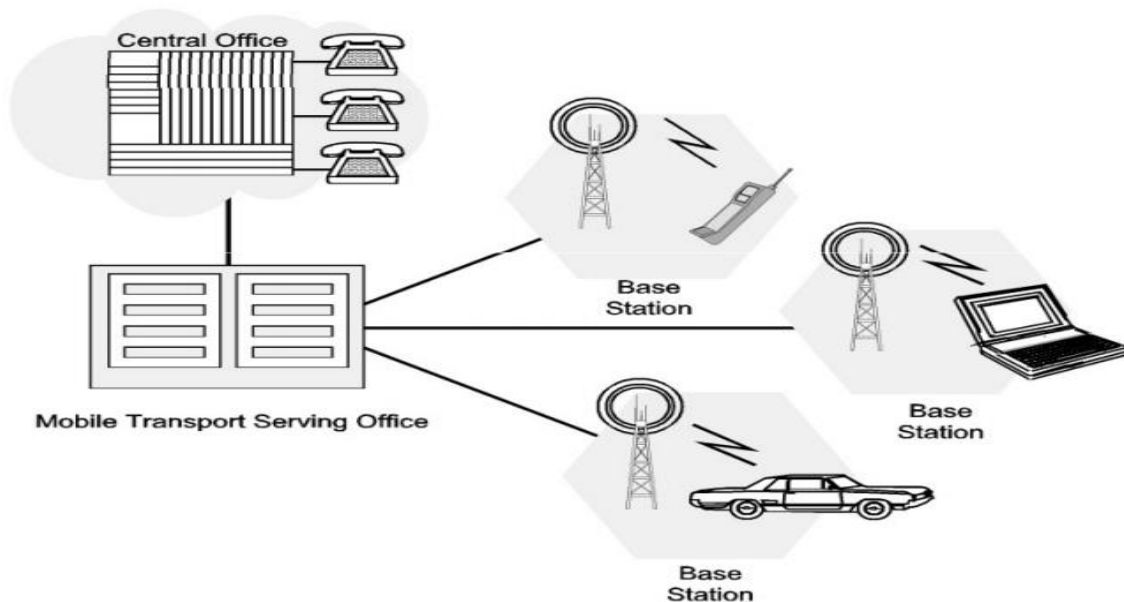


Slika 6. Arhitektura WiMAX sustava [10]

Pokretne mreže sadrže javne mreže u kojima se pristup zasniva na radijskoj komunikaciji koja omogućuje pokretljivost korisničke opreme na području pokrivenosti signalom. Jezgrena i pristupna mreža čine arhitekturu. Jezgrena mreža izvedena je kao fiksna mreža kojom se povezuju prostorno raspodijeljene pristupne mreže dok pristupna mreža sadrži radijski dio koji se temelji na sustavu ćelija, [2].

Ćelija je područje koje je prekriveno jednom baznom stanicom. Ćelijski koncept zasniva se na maksimalnoj iskoristivosti raspoloživih frekvencija jer se u susjednim ćelijama

upotrebljavaju različite frekvencije zbog interferencije², a na udaljenim ćelijama iste frekvencije. Velika prednost je što se ovakvim načinom postiže idealna pokrivenost i iskorištava se spektar koji je ograničen. Mreža koja se zasniva na ovom principu rada prikazana je na slici 7. Osim čvorova čija je svrha rješavanje problema primopredaje radijskog signala moraju sadržavati skup čvorova koji omogućuju komuniciranje unutar i van pokretne mreže, [2].



Slika 7. Arhitektura pokretne mreže [11]

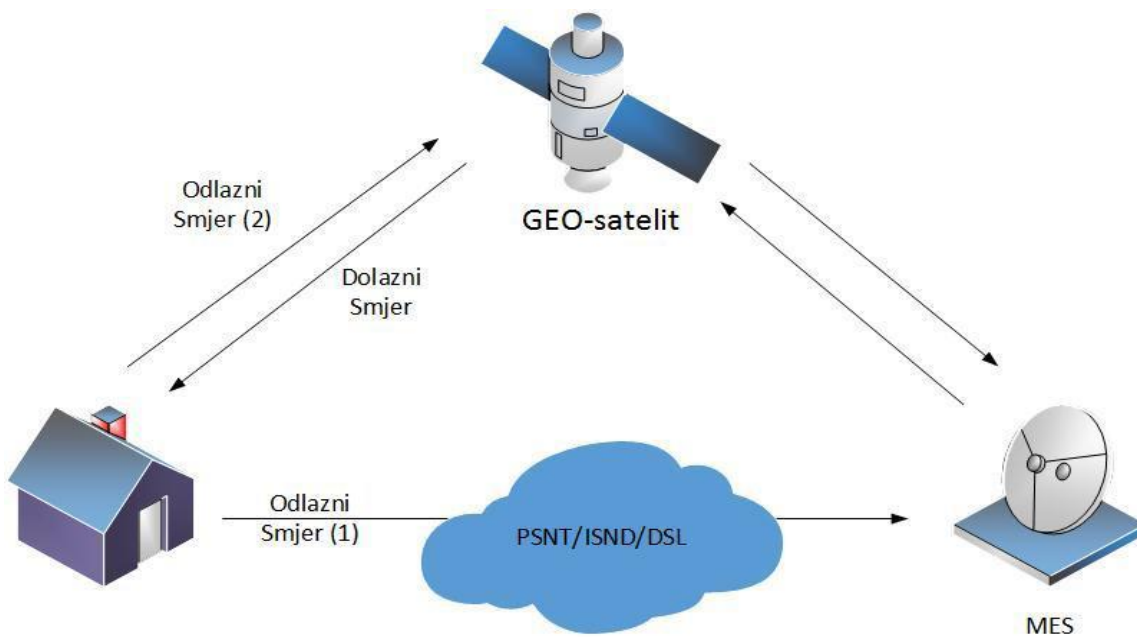
FSO (**FSO** – *Free Space Optics*) je bežični optički pristup. To je tehnologija koja podržava pristup od točke do točke s prijenosnim brzinama do 1.25 Gbit/s dok se u laboratorijskim uvjetima postižu brzine od 10 Gbit/s. Kada se udaljenost između odašiljača i prijemnika poveća tada dolazi do smanjenja brzine prijenosa i raspoloživosti sustava. Kada je brzina prijenosa podataka do 155 Mbit/s domet prijenosa je 2000 m. Bitno je reći kako je poveznica raspoloživa cijelo vrijeme do 150 m, nakon te udaljenosti raspoloživost pada. Na 800 metara raspoloživost se smanjuje na 99.5% te nakon 1500 metara iznosi 99%. Također raspoloživost se smanjuje zbog loših vremenskih uvjeta. Ako korisnik zahtijeva stopostotnu raspoloživost tada može koristiti redundantne poveznice. Ključni nedostatak ove tehnologije je nedovršeni standard na svjetskoj razini. Sama arhitektura slična je kao i kod sustava s optičkim vlaknom. Razlika je u tome što od optičkog linijskog terminala i krajnjeg korisnika nije optičko vlakno već laserski odašiljač i fotodetektor. Svrha odašiljača je slati usku kolimiranu³ koherentnu svjetlost na fotodetektor koji će primiti signal. FSO sustav je simetričan i svaki terminal ima ugrađene i predajne i prijemne sklopove gdje je sa Tx označen odašiljač, a s Rx fotodetektor, odnosno prijemnik, [12].

² **Interferencija** (engl. *Interference*) – međudjelovanje dvaju ili više valova (redovito jednake valne duljine) koji istodobno prolaze kroz isti prostor, [13].

³ **Kolimacija** (engl. *Collimation*) – ograničavanje snopa zračenja na traženu površinu primjenom zaslona od apsorbirajućega materijala, [14].

Posljednja tehnologija u poglavlju je satelitska komunikacija. Postoji mnogo rješenja za realizaciju širokopojsnog pristupa Internetu putem satelitskog prijenosa. Tri najraširenije tehnologije su: DVB-RCS (**DVB-RCS** – *Digital Video Broadcast with Return Channel via Sattelite*), DVB-RCT (**DVB-RCT** – *Digital Video Broadcast with Return Channel Terrestrial*) i VSAT (**VSAT** – *Very Small Aperture Terminal*), [2].

VSAT sustavi koriste se zbog relativno malih dimenzija prijemnog tanjura. Početak ove tehnologije bio je isključivo vezan za prijenos video signala, ali kasnije su se njihovi prijenosni kanali mogli koristiti za povezivanje s Internetom. Satelitski prijenos se uglavnom koristio za razaslanje televizijskog signala i u tim sustavima nije bila potrebna povratna veza. Kod pristupanja Internetu takav model nije bio izvediv i bilo je potrebno realizirati vezu u odlaznom smjeru od korisnika. U konceptu DVB-RCS sustava povratni put realiziran je također satelitski te se za takav sustav koristi naziv *two-way* satellite. U konceptu DVB-RCT i VSAT sustava povratna veza realizirana je preko zemaljskih linija kao što su DSL ili ISDN. Arhitektura VSAT sustava sastoji se od tri komponente: prva komponenta je sama satelitska stanica koja se nalazi na geostacionarnoj visini, druga komponenta prijemna stanica samog korisnika (može biti izvedena preko satelitskog tanjura) i treća komponenta glavna zemaljska stanica MES (**MES** – *Master Earth Station*) koja služi za povratnu vezu izvedenu putem ISDN ili DSL veze. Brzine ostvarene ovim tehnologijama uobičajeno su od 64 Kbit/s do 2 Mbit/s, [2].



Slika 8. Arhitektura satelitskog širokopojsnog pristupa [2]

S obzirom na cijenu ove usluge i same brzine ostvarene ovom tehnologijom, satelitske komunikacije se koriste isključivo za korisnike na ruralnim područjima ili za brodove, arhitektura takvog sustava prikazana je na slici 8.

2.4. DSL tehnologije širokopojasnog pristupa

DSL tehnologije povezuju krajnjeg korisnika s lokalnom centralom. Tehnologije digitalne pretplatničke linije (engl. *digital subscriber line*) su tehnologije pristupa jezgrenoju (engl. *core*) mreži pomoću fiksnih linija (prema podacima organizacije ITU u svijetu je krajem 2003. bila instalirana 1,1 milijarda fiksnih pristupnih linija). Generički naziv xDSL se često koristi kako bi se njime označile sve DSL tehnologije ili bilo koja od njih, [1], [15].

Početak xDSL-a vezan je za osamdesete godine prošlog stoljeća. Međutim, u devedesetim godinama prošlog stoljeća je započeo ubrzani masovni razvoj i primjena xDSL - a diljem svijeta. Digitalna pretplatnička linija velike prijenosne brzine (engl. *High Bit-rate DSL*, HDSL) je bila prva DSL tehnologija koja je doživjela uspjeh na tržištu, asimetrična digitalna pretplatnička linija (engl. *Asymmetric DSL*) je doživio najveći rast na tržištu, dok digitalna pretplatnička linija vrlo velike prijenosne brzine (engl. *Very high data rate DSL*,) i dalje nudi najveće prijenosne brzine od svih DSL-a. Neke DSL tehnologije podržavaju istovremeni prijenos DSL-podataka (engl. *DSL data*) i POTS-a jednom upredenom paricom kao što je ADSL, tj. koncept koji se naziva DSL over POTS, [1], [15].

Asimetrične DSL tehnologije	Simetrične DSL tehnologije
ADSL (G.dmt), ADSL over ISDN, G.lite, RADSL	IDSL - ISDN over DSL
ADSL2 (G.dmt.bis), half-rate ADSL2 (G.lite.bis), ADSL2plus, RE-ADSL2	HDSL, HDSL2
VDSL, VDSL2	SDSL (npr. M/SDSL), SHDSL, ESHDSL

Tablica 1. Osnovna podjela DSL tehnologija [1]

Osnovnu podjelu DSL tehnologija moguće je načiniti u dvije odvojene skupine: asimetrične DSL tehnologije i simetrične DSL tehnologije kao što je navedeno u tablici 1. Simetričnost se u ovom kontekstu odnosi na prijenosne brzine u dolaznom i odlaznom smjeru prijenosa signala. Ako su joj te dvije brzine međusobno jednake, tada dotična DSL tehnologija pripada skupini simetričnih DSL tehnologija. U suprotnom se radi o asimetričnoj DSL tehnologiji, [1], [15].

2.4.1. Simetrične DSL tehnologije

Simetrične DSL tehnologije su manje zastupljenije od asimetričnih DSL tehnologija. Ključan razlog su korisnički zahtjevi (podatci se češće primaju nego što se šalju pa su i brzine prilagođene tome).

Prvi predstavnik ove skupine je ISDN (**ISDN** – *Integrated Services Digital Network*) digitalna pretplatnička linija. Ova tehnologija na područjima Europe izvedena je preko telefonske mreže, dok se u Sjedinjenim Američkim Državama koristi infrastruktura kabelaške televizije zbog njene velike raširenosti. Osnovno sučelje ove tehnologije radi na brzinama do 160 kb/s u oba smjera, dolaznom i odlaznom. Veće brzine su moguće ako grupiramo ISDN kanale i može se postići maksimalna brzina od 768 Kbit/s. Glavni problem ove tehnologije je visoka cijena usluge jer je ISDN izveden preko sklopki telefonskog signala te je sama nadogradnja tih sklopki izrazito skupa. Jedno od rješenja je bilo prebacivanje ISDN-a u širokopojasni frekvencijski spektar što se i dogodilo. Brzine su ostale na 160 Kbit/s s dometom udaljenosti 6 km od centrale. Nakon dolaska ADSL-a ova tehnologija izlazi iz uporabe, [15].

Brzi DSL (engl. *High Bit rate DSL*, HDSL) je također simetrična prijenosna tehnologija koja osigurava prijenosne brzine do 1.544 Mbit/s u Sjedinjenim Američkim Državama te brzinu od 2.048 Mbit/s u ostatku svijeta. Ova tehnologija, za razliku od ostalih, može koristiti jednu, dvije ili čak tri bakrene parice u svrhu postizanja većih brzina (jedna parica za dolazni, jedna za odlazni). Standardni promjeri bakrene parice od 0,4 mm, 0,5 mm i 0,63 mm neće bitno utjecati na brzinu prijenosa, ali znatno utječu na udaljenost korisnika od centrale i kvalitetu signala pa će tako udaljenosti biti redom 2,7 km, 3,6 km i 8 km. U praksi udaljenost je oko 3,6 km jer operatori štede na bakrenim paricama. Ova usluga je zaživjela zbog usluga koje su same po sebi simetrične kao što su video konferencije, učenje na daljinu itd. Kako bi se povećao broj korisnika pojavio se standard HDSL2 koji je za komunikaciju koristio samo jedan par bakrene parice. To je rezultiralo nizom pogreški u prijenosu (signal u oba smjera putuje istom žicom) te se morao dodati protokol za kontrolu pogrešaka u sam sustav. Sami protokoli za kontrolu pogrešaka povećavaju složenost prijenosa informacija ali su znatno uštedjeli na samoj infrastrukturi i time povećali broj mogućih korisnika. HDSL2 je svojom pojavom u potpunosti zamijenio SDSL tehnologiju. Simetrična digitalna korisnička linija s više brzina prijenosa (engl. *Multirate symmetric DSL*) je tehnologija iz čijeg imena vidimo njenu glavnu prednost. To je dopuštanje promjene brzina prijenosa što može povećavati ili smanjivati moguću udaljenost korisnika od centrale (manje brzine znače veći domet). MSDSL je tehnologija koja je nastala iz HDSL2 tehnologije što znači da također koristi samo jednu bakrenu paricu za prijenos. Brzine prijenosa su naravno simetrične, a variraju od 272 Kbit/s pa sve do 2320 Kbit/s. Ova tehnologija omogućava istodobno korištenje podatkovne i govorne usluge pa čak i videokonferencije, [2], [4], [16].

2.4.2. Asimetrične DSL tehnologije

Kod asimetričnih DSL tehnologija najširu primjenu su našle ADSL (**ADSL** – *Asymmetric Digital Subscriber Line*), ADSL2 i ADSL2+. ADSL tehnologija našla je mjesto u telekomunikacijama zbog minimalnih ulaganja u već postojeću POTS arhitekturu i postizanje relativno velike brzine informacija. Ovisno o udaljenosti od centrale na debljini žice od 0.4-0.5 mm brzine se kreću od 1.533 Mb/s (engl. *Mega bits per second*) do 8.448 Mb/s u dolaznom smjeru te Kb/s (engl. *Kilo bits per second*) do 1 Mb/s u odlaznom smjeru što je bio

veliki korak naprijed u usporedbi s modemskim *dial-up* spajanjem. ADSL primjenjuje modulaciju u pomaknutom spektru (kao i sve druge DSL tehnologije) što znači da nema prekida telefonskog signala za vrijeme spajanja na Internet te je telefonska usluga dostupna kao i ostale digitalne usluge.

ADSL podržava razne širokopojasne usluge koje su po svojoj prirodi asimetrične (korisnik prima više informacija nego što pošalje) kao što su: video na zahtjev, digitalna TV, pristup internetu, online kupovina itd. Signali tih usluga zauzimaju frekvencijski pojas od 25 kHz-1.1 MHz. Odlazni promet koristi frekvencijski spektar od 25-180 kHz dok dolazni promet koristi frekvencijski spektar od 25 kHz - 1.1 MHz što znači da se u prijenosu mora primijeniti uklanjanje buke. Pošto je ADSL učinio velik iskorak po pitanju brzina bilo je potrebno ukloniti neke njegove mane kao što su poboljšanje kvalitete na većim udaljenostima na temelju čega nastaje ADSL2 tehnologija. ADSL2 omogućuje postizanje brzina u dolaznom smjeru do 12 Mb/s i do 1 Mb/s u odlaznom na udaljenostima do 5 km gdje brzina pada do 3.5 Mb/s u dolaznom smjeru odnosno do 50 Kb/s u uzlaznom smjeru. Glavne prednosti ADSL2 naspram ADSL-a su sljedeće, [2]:

- Dijagnostika – ADSL2 primopredajnici su poboljšani dodavanjem većih dijagnostičkih mogućnosti temeljenim na softverskim alatima za rješavanje problema nastalih tijekom i nakon instalacije primopredajnika te služe za nadziranje performansi sustava tijekom rada.
- Potrošnja električne energije – prva generacija ADSL-a je koristila istu količinu električne energije bez obzira odvijao se podatkovni promet ili ne, uzevši u obzir velik broj korisnika. Dolazi do velikih financijskih izdataka od strane operatora što se odražavalo na ukupnu cijenu usluge. ADSL2 ima 2 definirana načina rada po pitanju potrošnje energije. Prvi, kad se odvija podatkovni promet i drugi tzv. pričuveno stanje (engl. *Standby*), u kojem je smanjen podatkovni promet te dolazi do uštede električne energije.
- Prilagodba prijenosne brzine – štetnost preslušavanja (prijenos energije jedne parice na drugu u neposrednoj blizini) je jedan od razloga zbog kojeg ADSL sustav može prekinuti komunikaciju, te još može doći do ometanja od strane AM-područja frekvencije (engl. *Amplitude modulation*). Također promjena temperature i utjecaj vlage, odnosno vremenskih nepogoda, mogu uzrokovati poteškoće. ADSL2 navedene probleme je riješio automatskom regulacijom brzine prijenosa informacija i to u stvarnom vremenu. SRA (**SRA** – *Seamless Real-time Data Rate Adaptation*) omogućava ADSL2 sustavu promjenu brzine bez prekida rada.
- Usnopljavanje linija – povećavanje prijenosne brzine prema rezidencijalnim i malim poslovnim korisnicima može se postići usnopljavanjem što se u ADSL2 tehnologiji postiže uporabom inverznog ATM multipleksiranja (engl. *Inverse multiplexing from ATM*) koje je standardizirano od ATM foruma. ADSL 2 nam omogućuje usnopljavanje do 32 parice u jednu, u svrhu povećanja brzine.

ADSL2 plus za razliku od svojih prethodnika iz ADSL standarda koji su koristili frekvencijski spektar dolaznog kanala do 1.1 MHz koristi frekvenciju od čak 2.2 MHz. Rezultat povećanja frekvencijskog spektra uzrokuje znatno veće brzine u dolaznom kanalu, ali na lokalnim petljama kraćim od 1500 m. Dolazna brzina iznosi oko 45 MB/s dok u odlaznom smjeru seže do 1 MB/s. Obije brzine ovise u uvjetima na kojima se nalazi lokalna petlja, [2], [4], [17].

3. Tehnološka obilježja širokopojasnih pristupnih mreža

Tehnološki parametri vezani su za funkcionalnosti i karakteristike širokopojasnih pristupnih mreža te načine odabira odgovarajućih tehnologija pri planiranju širokopojasnih pristupnih mreža. Ključna tehnološka pitanja odnose se na vrstu mreže i vrstu operatora za kojeg se rade modeli. Prema [18], [19] pet tehnoloških pitanja koja su bitna za planiranje širokopojasnih pristupnih mreža:

1. Optimizacija dimenzioniranja mreže: godišnji i povijesni pristup;
2. Vrste operatora;
3. Vrste tehnologija;
4. „*Scorched node*“ i „*scorched earth*“ pristup i,
5. Vrsta usluga (veleprodajna razina).

Prilikom planiranja širokopojasnih pristupnih mreža te njihovog daljnjeg razvoja nužno je voditi računa o ispravnom poslovnom upravljanju. Budući da se takve mreže temelje na tehnologiji koja garantira kvalitetu usluga, one moraju imati povećani kapacitet u pristupnom dijelu. Dakle, zahtjev za sve višom kvalitetom usluga koji pak ovisi o dostupnoj infrastrukturi, dovodi do potrebe za detaljnom provedbom tehnološko-ekonomske analize.

3.1. Analiza modela „odozdo prema gore“

Polazišnu točku modela „odozdo prema gore“ čine podaci o potražnji pomoću kojih se određuje učinkovitost mreže, odnosno provjerava se je li zadovoljena navedena potražnja. Koristeći ovaj pristup model izgrađuje mrežu koja može pružiti elektroničke komunikacijske usluge i zadovoljiti potražnju za tim uslugama. Model „odozdo prema gore“ razvija se u tri osnovna koraka, [20]:

1. U prvom koraku se utvrđuju usluge koje će biti modelirane (usluge međusobnog povezivanja, usluge pristupa mreži, itd.) i prikupljaju podaci o potražnji za uslugama (broj i lokacija korisnika, godišnji promet i promet za vrijeme jakog prometa ako je relevantan, itd.)
2. U drugom koraku, model dizajnira mrežu utvrđujući koja imovina (oprema, sredstva, vodovi za povezivanje, itd.) je potrebna za pružanje usluga i za zadovoljavanje potražnje.
3. Nakon što je mreža dizajnirana, sva imovina se procjenjuje i amortizira te se jedinični trošak usluge izračunava pomoću ključeva raspodjele i tablica usmjeravanja.

Poštujući ekonomska pravila raspodjele troškovi modelirane mreže razdjeljuju se na sve usluge koje pružaju te je stoga ovaj pristup „inženjerski usmjeren“ za razliku od pristupa

„odozgo prema dolje“ koji se bavi detaljnom analizom troška te je „računovodstveno usmjeren“, [18].

Za razliku od modela „odozgo prema dolje“, metoda izrade modela „odozdo prema gore“ donosi mnoge prednosti koje uklanjaju nedostatke modela „odozgo prema dolje“, [18]:

- Kao što je gore navedeno, lakše se baviti s učinkovitošću jer se troškovi izvode iz potražnje za uslugama kroz utvrđena inženjerska pravila;
- Pristup „odozdo prema gore“ osigurava bolje razumijevanje strukture troškova i može preciznije odrediti promjene u troškovima tijekom vremena u uvjetima velike nesigurnosti ili kada se očekuje promjena troškovnih struktura;
- Ovaj pristup može biti potpuno transparentan ako se objave sve ulazne vrijednosti, inženjerska pravila i korištene pretpostavke. Transparentnost je važna jer pomaže operatorima i nacionalnim regulatornim tijelima pri donošenju regulatornih odluka i pridonosi boljem razumijevanju istih;
- Model „odozdo prema gore“ može predvidjeti troškove mreže koja se trenutno gradi (na primjer, FTTH mreža), dok model „odozgo prema dolje“ to ne može;
- Fleksibilan je u nizu parametara, kao što su pitanja povijesnog nasljeđa starih tehnologija, inženjerskih pravila i operativnih troškova;
- Modeli „odozdo prema gore“ primjenjuju ekonomska načela (kao što je ekonomska amortizacija, ekonomski vijek trajanja imovine, ekonomski pristupi raspodjeljivanja troškova, itd.) koja omogućuju izračun ekonomskog troška usluge;
- Modeli „odozdo prema gore“ mogu biti korisni operatorima za predviđanje i bolje razumijevanje budućih troškova ili prihoda s ekonomskog stajališta u odnosu na računovodstveno stajalište i,
- Za razliku od modela „odozgo prema dolje“, model „odozdo prema gore“ može dati regionalne i lokalne rezultate.

Međutim, unatoč brojnim prednostima, glavni nedostatak modela „odozdo prema gore“ je da procijenjeni troškovi često nisu u skladu sa stvarnim troškovima, [18]. Osim ovog nedostatka javljaju se i sljedeći:

- Budući da modeli „odozdo prema gore“ imaju za cilj izračunati troškove hipotetskog učinkovitog operatora, može se dogoditi da se određeni troškovi previše optimiziraju ili u potpunosti zanemare. Ako se to dogodi, operator će ostvarivati premalu dobit i imati manje poticaja za ulaganje u mrežu;
- Osim toga, ponekad je u praksi teško postići hipotetsku razinu učinkovitosti koja se zadaje u modelu „odozdo prema gore“;
- Teško je modelirati operativne rashode jer to zahtjeva duboko razumijevanje i iskustvo u radu s mrežom i,
- Postupak modeliranja može biti dugotrajan i skup.

3.2. Optimizacija dimenzioniranja mreže

U modelima „odozdo prema gore“ postoje dva različita pristupa dimenzioniranju mreže i optimiziranju troškova mreže za pojedinu uslugu i/ili potražnju za prometom: „godišnji“ i „povijesni“ pristup optimizaciji dimenzioniranja mreže. Ove dvije metode imaju različite pristupe pri izračunu godišnjeg ulaganja.

3.2.1. Godišnji pristup

Neovisno o ulaganjima iz prethodnih godina širokopojasna pristupna mreža svake se godine „iznova gradi“. Dakle, koristeći godišnji pristup, u obzir se uzima samo ono izgrađeno tijekom tekuće godine. Godišnji pristup može također uključivati „pogled unaprijed“ (engl. *forward looking view*) što znači da u obzir uzima predviđanja o rastu prometa. Primjerice pri dimenzioniranju širokopojasne pristupne mreže u 2017. godini može se voditi računa o procijenjenom prometu za 2020. godinu, jedino ako je to u skladu s postojećim inženjerskim pravilima [18], [19].

Mrežnim operatorima više odgovara godišnji pristup nego povijesni što istovremeno znači da godišnji pristup više odgovara modelu „odozdo prema gore“. Rezultati modela su prema navedenom pristupu istovjetni ciljevima učinkovitosti ostvarenima u srednjem roku. Međutim, ako se imovina zamjenjuje tijekom dužeg perioda, efikasni trošak operatora bit će približno jednak trošku dobivenom na temelju godišnjeg pristupa, [18], [19].

3.2.2. Povijesni pristup

Dok godišnji pristup u obzir uzima ono izgrađeno samo tijekom tekuće godine, povijesni naprotiv uzima u obzir ono što je izgrađeno u prethodnom razdoblju. Korištenjem tih podataka rade se procjene onoga što treba biti izgrađeno u budućnosti što znači da i ovaj pristup uključuje „pogled unaprijed“. Primjerice, prilikom optimizacije mreže za 2020. godinu uzima se u obzir ukupna potražnja (odnosno, cjelokupna mreža) iz prethodnih godina. Kako bi se izbjegli te ispravili mogući nedostaci pri gradnji mreže u sadašnjosti, ovaj pristup se bavi proučavanjem načina gradnje u prošlim razdobljima. Primjena povijesnog pristupa mnogo je složenija u usporedbi s godišnjim pristupom s obzirom na to da povijesni pristup uglavnom ovisi o dostupnosti i točnosti opsežnih i detaljnih povijesnih podataka, [18], [19].

Kada potražnja za uslugom i/ili prometom kontinuirano raste godišnji i povijesni pristup daju iste rezultate zahvaljujući primjeni, ne računovodstvene, nego ekonomske amortizacije⁴ s obzirom na to da prilikom ugradbe nove opreme zbog povećanja prometa ili njegove stabilnosti ona izračunava isti anuitet⁵ u određenoj godini neovisno o tome kada je oprema kupljena. No kada je potreba za novom opremom manja nego prošle godine na vidjelo će doći razlika između ova dva pristupa jer će prilikom optimizacije dimenzioniranja mreže godišnji

⁴ **Amortizacija** (engl. *Amortisation*) – smanjenje vrijednosti imovine zbog fizičkoga trošenja, uništenja ili moralnoga odnosno ekonomskoga zastarijevanja kao posljedice razvoja znanosti i tehnologije, [21].

⁵ **Anuitet** (engl. *Annuity*) – predstavlja slijed jednakih uplata ili isplata, [22]

pristup uključivati manje opreme u usporedbi s povijesnim pristupom. Potonji slučaj je ipak iznimna pojava s obzirom na to da se događa u slučaju smanjenja prometa kod elektroničkih komunikacija što je u današnjem vremenu rijetkost. Ako smanjenje prometa ukazuje na činjenicu da je količina imovine, izračunata prema modelu „odozdo prema gore“ niža od stvarne te da onemogućava povrat troškova onda HAKOM (**HAKOM** – *Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti*) kao regulatorno tijelo rješava navedeni problem [18], [19].

Prilikom optimizacije dimenzioniranja mreže, odnosno pri izradi troškovnih modela „odozdo prema gore“ HAKOM koristi godišnji pristup s obzirom na to da on osigurava veću fleksibilnost te bolju prilagodbu modela za primjenu analize osjetljivosti (engl. *sensitivity analysis*). Osim toga, manje je složen od povijesnog pristupa, a istovremeno daje slične rezultate [18], [19].

3.3. Vrste operatora

Kada se koristi troškovni model „odozdo prema gore“ regulatorna tijela koriste podatke od mrežnih operatora kao što su nabavna cijena, iznos operativnih troškova i lokalnim inženjerskim pravilima. Međutim, moguće je izraditi model za nekoliko profila operatora. Cilj modela je replicirati postojeće mrežne operatore na tržištu, dok neki drugi modeli modeliraju „generičkog operatora“ koji je različit od postojećeg mrežnog operatora, [19].

Izrada modela za postojeće operatore omogućuje utvrđivanje mogućih razlika u troškovima između operatora, kao i prepoznavanje uzroka zbog kojih nastaju uočene razlike. Za model generičkog operatora može se odabrati niz parametara, od kojih su od najvećeg značaja:

- Tržišni udio operatora;
- Mrežna tehnologija (npr. 2G i 3G tehnologija za pokretne mreže) i,
- Odabir *backhuala*⁶ (npr. za pokretne mreže, iznajmljene vodove, radijske veze).

Odabir generičkog operatora ima prednosti kao što je mogućnost objave modela bez otkrivanja povjerljivih podataka dobivenih od operatora. Također omogućena je lakša izrada modela s obzirom na to da se jedan model koristi za sve operatore. Postoji nekoliko načina modeliranja generičkog operatora. Najzastupljeniji pristup je prosječnog operatora modelirati kako bi se njegova struktura temeljila na postojećim operatorima. Drugi pristup je novog operatora koji ulazi na tržište modelirati. Pretpostavlja se kako bi „generički operator“ učinkovitije koristio tehnologiju u skladu s principom „pogled unaprijed“. Nadalje, pri modeliranju generičkog operatora važno je odrediti odgovarajuću razinu ekonomija razmjera. U 2009. godini, Europska komisija je dovršila detaljni pregled mogućnosti definicije

⁶ **Zamrežje** (engl. *Backhaul*) – oblik zaštite više tarife koja se mora primijeniti uvijek kada se na ruti od polazišta od krajnjeg odredišta prolazi kroz točku zaustavljanja, [23].

generičkih operatora u kontekstu cijena završavanja poziva u nepokretnoj mreži i cijena završavanja poziva u pokretnoj mreži, [19].

3.4. Vrste tehnologije

Kod modeliranja mreže operatora (neovisno o tome radi li se o žičnoj širokopojasnoj pristupnoj mreži ili bežičnoj širokopojasnoj pristupnoj mreži) od iznimne je važnosti odabir mrežne tehnologije koja će se modelirati. Navedeno pitanje obuhvaća niz tehnoloških pitanja čiji je cilj definirati moderne/učinkovite standarde (među kojima topologiju mreže i standarde spektra) pružanja usluge.

U modelu „odozdo prema gore“ je potrebno koristiti pouzdane, dostupne i najjeftinije tehnologije jer to omogućuje izračun učinkovitih tekućih troškova. U nastavku teksta govori se o različitim tehnologijama koje se mogu uzeti u obzir u izradi modela za pokretne i nepokretne mreže, pri čemu se modeli za nepokretne mreže dijele na dva dijela: jezgri i pristupni dio.

Trenutno se u Republici Hrvatskoj, usluge kao što su javna govorna usluga, usluga iznajmljenih vodova nižih brzina i usluge širokopojasnog pristupa u pristupnom dijelu mreže temelje na bakru. Regulatorno tijelo u Republici Hrvatskoj HAKOM, modelira troškove pristupom „odozdo prema gore“ u slučaju bakrene širokopojasne pristupne mreže. U ostalim zemljama Europske Unije, operatori primjenjuju svjetlovodne niti kao širokopojasni pristup mreži. Takve mreže se nazivaju pristupnim mrežama nove generacije NGA (**NGA** – *Next Generation Access*). Arhitektura pristupnih mreža nove generacije može biti zasnovana na konceptu svjetlovodne niti do kuće (engl. *Fiber to the Home*) ili općenito na konceptu FTTx gdje se x odnosi na točku na kojoj svjetlovodna nit završava (kao što je npr. ulični kabinet ili podrum zgrade). Hrvatski telekom u određenim dijelovima pristupne mreže koristi svjetlovodne niti i za očekivati je kako će u budućnosti nastaviti razvijati takav koncept i kako će sve više zanemarivati bakreni širokopojasni pristup mreži. Zbog svega navedenoga, HAKOM je 2016. godine razvio model „odozdo prema gore“ koji izračunava trošak izgrađene svjetlovodne pristupne mreže na način da je uz bakrenu paricu položena i svjetlovodna nit tamo gdje već postoji kabelska kanalizacija. Također treba napomenuti kako će bakrene parice i svjetlovodne niti koristiti istu kabelsku kanalizaciju, [18], [19].

Uzevši u obzir različite arhitekture svjetlovodnih pristupnih mreža, kao i činjenicu da je razvoj svjetlovodne pristupne infrastrukture u Republici Hrvatskoj tek u začetku, pri izradi modela potrebno je razmotriti sljedeće:

- Arhitektura mreže: svjetlovodna nit do uličnog kabineta (FttC), svjetlovodna nit do zgrade (FttB), i svjetlovodna nit do kuće (FttH);
- Topologija mreže: arhitektura od točke do točke (engl. *Point to point*) kao što se koristi u Ethernet P2P tehnologiji i arhitektura točka do više točaka (engl. *Point to multipoint*) kakva se koristi kod GPON (**GPON** – *Gigabit Passive Optical Networks*) tehnologije.

3.5. „Scorched node“ i „scorched earth“ pristup

Kod izrade modela „odozdo prema gore“, ključno pitanje koje se javlja kod dizajniranja mreže je treba li (i ako treba u kojoj mjeri) uzeti u obzir postojeću topologiju mreže. Najzastupljenija su dva pristupa vezana uz smještaj čvorova mreže: tzv. „*scorched node*“ pristup i tzv. „*scorched earth*“ pristup, [19], [24].

- „*scorched node*“ pristup koristi lokacije postojećih mrežnih čvorova te vodeći računa o navedenim lokacijama gradi optimiziranu postojeću mrežu i,
- „*scorched earth*“ pristup (koji se naziva i „*Greenfield*“ pristup) ima za cilj izgraditi idealnu topologiju koja nije ograničena postojećom mrežom.

„*Scorched node*“ pristup ima sljedeće značenje za model pokretne mreže i za model nepokretne mreže „odozdo prema gore“, [19], [24].

- U slučaju pokretnih mreža, „*scorched node*“ pristup zadržava postojeće lokacije baznih stanica kao ulazne vrijednosti za model. Osnova tog pristupa je da se pri određivanju lokacija baznih stanica primjenjuju mnoga ograničenja, kao što su tehnička ograničenja (npr. potreba za velikim brojem pristupnih točaka kako bi se osigurala optimalna pokrivenost), ali i administrativna ograničenja koja nije moguće jednostavno modelirati. Na primjer, operatori pokretnih mreža imaju sve više problema s pronalaženjem lokacija za bazne stanice jer lokalne vlasti ponekad nameću ograničenja u odnosu na gustoću i/ili smještaj baznih stanica.
- U slučaju nepokretnih mreža, „*scorched node*“ pristup zadržava postojeće lokacije centrala kao ulazne vrijednosti za model. Naime postojeće lokacije odabrane su u prošlosti na temelju demografskih, zemljopisnih i tehničkih studija, te je navedeno razumno uzeti u obzir. Tehničke studije uzimaju u obzir ograničenja koja će ponekad biti teško uzeti u obzir kod modeliranja idealne topologije mreže.

Nacionalna regulatorna tijela često preferiraju „*scorched node*“ pristup koji preporučuje i ERG⁷. Dizajn optimalne topologije mreže je kompleksan problem najprije zbog izvedivosti najbolje moguće rješenje je uzeti postojeću topologiju mreže kao početnu točku za proces raspodjele troškova.

Zadržavanje lokacije postojećih čvorova ne znači nužno da se nije potrebno baviti mogućim neučinkovitostima. Prema ERG-u, neučinkovitosti je potrebno ukloniti čak i ako se odabere „*scorched node*“ pristup. Poželjno je izmijeniti „*scorched node*“ pristup zbog repliciranja topologije mreže koja je učinkovitija od postojeće. Izmijenjeni „*scorched node*“ pristup znači uzimanje u obzir postojeće tehnologije kao početne točke. Nakon toga slijedi uklanjanje svih neučinkovitosti. To može značiti promjenu količine ili vrste mrežnih

⁷ ERG (engl. *European Regulators Group*) – Europsko regulatorno tijelo za elektroničke komunikacijske mreže i usluge koje je uspostavljeno je odlukom Europske komisije 2002. godine, [25].

elemenata smještenih u čvorovima mreže radi pojednostavljenja ili smanjenja troškova hijerarhije prospajanja. Bitno pitanje u tom smislu je kako postupati s rezervnim kapacitetom mreže i postojanjem izgubljenih troškova. Kada se izmijenjeni „*scorched node*“ pristup ne može primijeniti jer uklanjanje neučinkovitosti nije izvedivo, moglo bi biti prikladnije koristiti „*scorched earth*“ pristup, [19].

3.6. Vrsta usluga

Modeli „odozdo prema gore“ izrađuje izračun troška određenih usluga. Kako bi dimenzioniranje mreže bilo ispravno nužno je uzeti u obzir sve usluge koje se pružaju putem iste mreže kako bi se odredila razina ulaganja koja su potrebna za zadovoljavanje potražnje i odgovarajuću raspodjelu troškova među uslugama. Modeli „odozdo prema gore“ izračunat će troškove sljedećih reguliranih usluga, [18], [19]:

- Usluga započinjanja poziva za odabir i predodabir operatora na lokalnoj razini;
- Usluga započinjanja poziva za odabir i predodabir operatora na regionalnoj razini;
- Usluga započinjanja poziva za odabir i predodabir operatora na nacionalnoj razini;
- Usluga započinjanja poziva za pristup brojevima usluga s dodanom vrijednošću;
- Usluga završavanja poziva na lokalnoj razini;
- Usluga završavanja poziva na regionalnoj razini;
- Usluga završavanja poziva na nacionalnoj razini;
- Usluga završavanja poziva u pokretne mreže;
- Pozivi prema hitnim i posebnim službama;
- Usluga potpunog izdvojenog pristupa lokalnoj petlji na temelju bakrene parice;
- Usluga dijeljenog izdvojenog pristupa lokalnoj petlji;
- Potpuni izdvojeni pristup lokalnoj petlji na temelju svjetlovodne niti;
- Fizička kolokacija;
- Udaljena kolokacija;
- Virtualna kolokacija;
- Pristup kabelskoj kanalizaciji;
- Usluga veleprodajnog širokopojasnog pristupa na regionalnoj razini putem bakrene parice (na DSLAM, Ethernet i IP razini);
- Usluga veleprodajnog širokopojasnog pristupa na nacionalnoj razini putem bakrene parice (na DSLAM, Ethernet i IP razini);
- Usluga veleprodajnog širokopojasnog pristupa putem FttH rješenja (na OLT, Ethernet i IP razini);
- Posebni virtualni kanal za VOIP (na DSLAM, Ethernet i IP razini);
- Posebni virtualni kanal za IPTV SD (na DSLAM i Ethernet razini);
- Posebni virtualni kanal za IPTV HD (na DSLAM i Ethernet razini);
- Posebni virtualni kanal za nadzor korisničke opreme;

- Posebni virtualni kanal za uslugu koja nije unaprijed definirana;
- Veleprodajna usluga iznajmljenih vodova i,
- Najam korisničke linije.

Kao posljedica toga i kako bi modeli u potpunosti odražavali ekonomije razmjera i opsega, potrebno je u modelu uzeti u obzir sve usluge koje se pružaju putem iste mreže, čak i one koje nisu regulirane. Nije nužno modelirati usluge koje zahtijevaju posebnu imovinu i ne troše kapacitet mreže kao što su npr. napredne *e-mail* usluge, usluge *web hostinga*, i slično, [19].

4. Ekonomska obilježja širokopojasnih pristupnih mreža

Podjela troškova u javnim nepokretnim i pokretnim komunikacijskim mrežama prikazana je tablicom 2. te se ona zbiva u dvije dimenzije. Prva dimenzija, za razliku od druge koja dijeli troškove ovisno o tome na koji način imovina pridonosi pružanju određenih usluga (npr. direktno ili indirektno), dijeli troškove ovisno o tome jesu li rezultat ulaganja u imovinu (kapitalni troškovi ili CAPEX) ili pak redovnog poslovanja (operativni troškovi ili OPEX). Međutim u obje dimenzije javljaju se poteškoće: u prvoj dimenziji pri prepoznavanju CAPEX i OPEX troškova, a u drugoj pri raspodjeli troškova.

	CAPEX	OPEX
Direktni troškovi	SMS server	Potrošnja električne energije SMS servera
Indirektni troškovi	Kanalizacija	Osoblje koje upravlja kanalizacijom
Opći troškovi	IT	Plaća zaposlenika

Tablica 2. Različite vrste troškova za komunikacijske mreže [18]

Prilikom određivanja modela troškova u telekomunikacijskim mrežama valja uzeti u obzir potražnju, primijenjenu tehnologiju, topologiju mreža te geografske i demografske karakteristike područja u kojem se vrši implementacija ili proširenje mreže. Cilj upravljanja troškovima je izvršenje analize porijekla svakog konkretnog troška. Tek se nakon provedenog ispitivanja mogu dobiti prognoze budućih kapitalnih i operativnih troškova.

4.1. Kapitalni i operativni troškovi

Kapitalni troškovi (**CAPEX** – *Capital expenditure*) nastaju ulaganjem operatora elektroničkih komunikacijskih usluga u nabavu opreme kao što su, primjerice, bazne stanice, radio kontrolori, centrale i sva oprema jezgrene mreže, i/ili u dizajniranje i izgradnju mrežne infrastrukture pod čime se podrazumijeva kupovina zemljišta i građevinski radovi.

Za razliku od kapitalnih troškova operativni troškovi (**OPEX** – *Operational expenditure*) nastaju redovnim poslovanjem operatora elektroničkih komunikacijskih usluga. Postoje tri različite vrste OPEX troškova:

- troškovi vezani uz korisnike (dolazak do korisnika, subvencije terminalne opreme i naknade dobavljačima);

- troškovi vezani uz prihode koji nastaju kako bi se korisnika potaknulo na korištenje usluga i mreže ili troškovi vezani uz promet, razvoj usluge, marketinško osoblje, promidžbu i međupovezivanje i,
- troškovi vezani uz mrežu, odnosno uz rad mreže, prijenos, najam prostora, rad i održavanje.

Bez obzira na to koji se pristup koristi za procjenu troškova, telekomunikacijsko tržište obilježeno je velikim kapitalnim i relativno niskim operativnim troškovima. Troškovi se najčešće dijele na ukupne, odnosno prosječne fiksne i varijabilne troškove. Ukupni fiksni trošak što ne zavisi od aktivnosti operatora zbroj je onih troškova koji su fiksni bez obzira na nivo eksploatacije telekomunikacijske mreže i nivo osiguranja servisa kao što su: iznajmljivanje prostora, amortizacija, plaće, popratne takse, osiguranje itd. Ukupni varijabilni trošak, suma je izdataka blisko povezanih s izlaznim komponentama, to jest s nivoom iskoristivosti mreže i/ili osiguranja servisa. Zbroj ukupnog fiksnog i ukupnog varijabilnog troška čini ukupni trošak čija brzina rasta ovisi o povećanju ukupnih varijabilnih troškova, pod uvjetom da su ukupni fiksni troškovi nepromjenjivi, [26], [27].

4.2. Direktni, indirektni i opći troškovi

Obilježje imovine elektroničke komunikacijske mreže je da pruža ne jednu, nego više usluga ili čak cijeli portfelj usluga operatora (npr. kabelaška kanalizacija u javnoj nepokretnoj komunikacijskoj mreži). Prema tome troškovi se mogu podijeliti u dvije glavne skupine: pripisivi i nepripisivi troškovi. Nadalje, pripisivi se troškovi dijele na direktne troškove i one indirektno koji se sastoje od zajedničkih i združenih troškova mreže, dok se nepripisivi troškovi sastoje samo od općih troškova, [18].

U nastavku slijedi definicija i objašnjenje za svaku podskupinu troškova:

- Direktni troškovi su troškovi izravno vezani uz pružanje neke usluge što znači da prestaju postojati nakon prekida pružanja usluge. Dakle, imaju jasan uzročno-posljedični odnos s *predmetnom uslugom*;
- Zajednički troškovi su troškovi koji nastaju prilikom pružanja skupine usluga. Kao indirektno pripisivi troškovi imaju jasan uzročno-posljedični odnos s *predmetnom skupinom usluga* i,
- Opći troškovi, odnosno „nemrežni združeni troškovi“ ne mogu se raspodijeliti na jednoznačan način (nepripisivi troškovi), već njih dijeli cijeli portfelj usluga.

Budući da je ukupan trošak pružanja nekoliko usluga zajedno niži od zbroja troškova samostalno pruženih pojedinačnih usluga, operatoru se više isplati pružati više usluga zajedno nego ih pružati odvojeno. Zajednički i združeni troškovi stoga predstavljaju ekonomije opsega koje operator ostvaruje. Kod procjene troška usluge, valja dobro prosuditi kako zajedničke i združene mrežne troškove raspodijeliti između različitih usluga koje pruža operator, [26].

Zajednički i združeni troškovi čine većinu troškova u elektroničkim komunikacijskim mrežama u kojima se velik broj mrežnih elemenata koristi ne samo za pružanje jedne, nego većeg broja usluga. Izračun troškova ovisi o pravilnoj raspodjeli mrežnih izdataka između različitih usluga s obzirom na to da se u elektroničkim komunikacijskim mrežama istodobno pružaju razne usluge (SMS, govor, podaci za pokretne mreže; govor, podatkovne usluge, TV, video na zahtjev, internet promet za jezgrenu mrežu, itd.). To znači da je nužan oprez pri raspodjeli zajedničkih i združenih troškova s obzirom na to da različite metode mogu dovesti do različitih jediničnih troškova predmetne usluge, [26], [27].

4.3. Raspodjela indirektnih troškova i općih troškova

Postoji više načina raspodjele zajedničkih i združenih troškova između različitih usluga, no pri izradi troškovnih modela, u obzir se uzimaju dvije osnovne skupine raspodjele troškova: raspodjela troškova s proporcionalnim pravilima (tehnička raspodjela) ili raspodjela troškova s pravilima teorije igara (ekonomska raspodjela). Svaka skupina ima nekoliko potkategorija raspodjele troškova. Unutar tehničke raspodjele to su potreban kapacitet (engl. *Required capacity*), *Moriarty* i preostala korist (engl. *residual benefit*), a u ekonomskoj raspodjeli *Shapley-Shubik* i nukleolus (engl. *nucleolus*), [18], [27].

Premda svako pravilo raspodjele troškova ima svoje prednosti i nedostatke, nacionalna regulatorna tijela za raspodjelu zajedničkih i združenih mrežnih troškova najčešće koriste metodu pridjeljivanja prema potrebnom kapacitetu (širina pojasa) i *Shapley-Shubik* metodu.

Korištenjem raspodjele „prema potrebnom kapacitetu“ zajednički i združeni troškovi dijele se na temelju kapaciteta potrebnog za pružanje usluge. On se najčešće mjeri u vrijeme vršnog sata, odnosno, unutar 60-minutnog razdoblja najvećeg ukupnog prometnog opterećenja s obzirom na to da mnogi troškovi ovise o prometu, a mreže podržavaju najveće prometno opterećenje. Dimenzija mreže ovisi o prometu i zato se mrežni troškovi dijele u skladu s istim. Budući da je potražnja za uslugama kao što su podatkovne usluge, pristup internetu ili video na zahtjev (**VoD** – *Video on Demand*) sve veća, primjena ovog pristupa u slučaju NGN mreže (**NGN** – *New Generation Network*) dovodi do niskih jediničnih troškova govornih usluga. Slično se događa kod javnih pokretnih komunikacijskih mreža koje se sve više koriste za pružanje (pokretnih) podatkovnih usluga, [18], [27].

Shapley-Shubik metoda sastoji se od izračuna troška usluge koji je jednak prosjeku inkrementalnih troškova usluge dobivenih preispitivanjem svih mogućih redosljeda inkrementa. Primjenu navedene metode razmatrala su nacionalna regulatorna tijela, kao što su ARCEP u Francuskoj ili ComReg u Irskoj. HAKOM će također razmotriti primjenu ove metode s obzirom na pojedine nedostatke metode raspodjele prema potrebnom kapacitetu. Primjerice, koristeći pravilo raspodjele prema potrebnom kapacitetu, na javnu govornu uslugu može biti raspodijeljeno vrlo malo zajedničkih mrežnih troškova zbog ograničenog kapaciteta. Prema tome, navedena usluga može snositi vrlo niske troškove koji mogu biti u suprotnosti s načinom na koji konkurenti i krajnji korisnici opažaju njenu vrijednost. U tom slučaju, *Shapley-Shubik* metodom može se postići bolji rezultat, [19].

Međutim, HAKOM smatra da takve metode raspodjele možda nisu prikladne za izračun troškova pristupne mreže u situaciji kada će se troškovi kabelaške kanalizacije morati raspodijeliti između bakrene i svjetlovodne mreže jer će oni koristiti istu kanalizaciju (raspodjela troškova o kojoj se ovdje govori odnosi se na raspodjelu troškova kabelaške kanalizacije koja se koristi i za bakrene i za svjetlovodne kabele pristupne mreže te se ne odnosi na raspodjelu troškova kabelaške kanalizacije između kabela jezgrene i pristupne mreže). Ako se troškovi kanalizacije dijele između kabela na temelju oba iznad navedena pravila, onda će bakrenoj mreži biti pridijeljeno oko 50% troškova kanalizacije, kao i svjetlovodnoj mreži. Uzimajući u obzir sve veći broj korisnika svjetlovodne infrastrukture takva će pravila dati visoki početni trošak kanalizacije po korisniku svjetlovodne infrastrukture koji će se smanjivati, dok će se trošak kanalizacije po korisniku bakrene infrastrukture povećavati što znači da je potrebno korištenje neke druge metode raspodjele troškova, [19], [26].

Prema mišljenju HAKOM-a moguće rješenje leži u raspodjeli troškova kabelaške kanalizacije između svjetlovodnih i bakrenih kabela na temelju broja korisnika svjetlovodne i broja korisnika bakrene infrastrukture. Tako bi se postigla stabilnost troška kabelaške kanalizacije po korisniku pojedine infrastrukture čak i u slučaju povećanja broja korisnika svjetlovodne infrastrukture, [18].

Uz mrežne troškove, operator ima i opće troškove (koji su poznati i kao nemrežni združeni troškovi) kao što su:

- troškovi vođenja ureda;
- troškovi uprave (CxO);
- troškovi pravnog odjela i
- troškovi unutarnje revizije.

Opći troškovi mogu biti materijalni i njihov bi se povrat trebao ostvariti, prema BEREC-u (**BEREC** – *Body of European Regulators for Electronic Communications*) najčešćom metodom koju nacionalna regulatorna tijela koriste za raspodjelu tih troškova, metodom jednako proporcionalnog dodatka (EMPU), [18].

Primjenom ove metode svakoj usluzi je pripisan dio općih troškova proporcionalno udjelu te usluge u ukupnim pripisivim troškovima. Iako se najčešće koristi, glavni nedostatak tog pristupa je da ne uzima u obzir pitanja učinkovitosti.

5. Standardizacijski i legislativni okvir širokopojsnih pristupnih mreža

Prilikom planiranja širokopojsnih pristupnih mreža i njene infrastrukture neophodno je voditi računa o zakonodavnom okviru, odnosno o postojećoj telekomunikacijskoj legislativi i standardizaciji.

Zakon o elektroničnim komunikacijama (ZEK, NN 73/08, 90/11, 133/12, 80/13, 71/14, 72/17), prihvaćen 22. srpnja 2017. godine, uvjetuje izgradnju mreža koje će omogućiti ravnopravne uvjete davanja i primanja usluga kako za operatore, tako i za korisnike. Zakonom se uspostavljaju prava i ovlasti Državnog regulatornog tijela – HAKOM-a (Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti) koji će sastaviti pravilnike i primjenjivati odgovarajuće mjere. Time su stvorene zakonske pretpostavke za liberalizaciju tržišta elektroničkih komunikacijskih mreža.

Navedenim se Zakonom regulira područje elektroničkih komunikacija. Prilikom ulaska Hrvatske u Europsku uniju komunikacijska infrastruktura se planirala, gradila i održavala sukladno direktivama Europske unije. Primjerice, prilikom izgradnje zgrade investitor mora o svom trošku izraditi kabelsku kanalizaciju primjerenu namjeni i postaviti elektroničku komunikacijsku mrežu s pripadajućom aktivnom opremom. Uređuje se korištenje elektroničkih komunikacijskih mreža i pružanje elektroničkih komunikacijskih usluga, pružanje univerzalnih usluga te zaštita prava korisnika usluga. Također se propisuje način gradnje, postavljanje, održavanje i korištenje elektroničke komunikacijske infrastrukture i povezane opreme, uvjeti tržišnog natjecanja te prava i obveze sudionika na tržištu elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga. Osim toga regulira se adresiranje, numeriranje i upravljanje radiofrekvencijskim spektrom, digitalni radio i televizija, zaštita podataka i sigurnost elektroničkih komunikacija te obavljanje inspeksijskog i stručnog nadzora i kontrole u elektroničkim komunikacijama, kao i osnivanje nacionalnog regulatornog tijela za elektroničke komunikacije i poštanske usluge. Posebna se pažnja posvećuje uređenju njegovog ustrojstva, djelokruga i nadležnosti te postupka donošenja odluka i rješavanja sporova u elektroničkim komunikacijama.

Osnovna nadležnost HAKOM-a je reguliranje tržišta elektroničkih komunikacija i tržišta poštanskih usluga u Republici Hrvatskoj. HAKOM također upravlja i vrši nadzor nad upotrebom radiofrekvencijskog (u daljnjem tekstu: RF) spektra te adresnog i brojevnog prostora kao prirodno ograničenih općih dobara od interesa za RH, [28].

Osim toga HAKOM prati i potiče razvoj mreža sljedeće generacije NGN pri čemu osobito brine o otvorenosti, neutralnosti te pristupnim tehnologijama i uslugama. Upravo je otvoren pristup glavni element za razvoj tržišta kao i za tehnološki razvoj mreža. Stoga će se u svrhu poticanja takvog pristupa voditi računa da poslovni modeli budu prilagođeni vertikalnoj, slojevitoj arhitekturi radi smanjenja potencijalnih diskriminacija u pružanju maloprodajnih usluga, [29].

Osim poticanja infrastrukturne (mrežne) konkurencije, HAKOM potiče i razvoj komunikacijskih usluga i aplikacija davajući potpore u skladu s Programom razvoja interneta i širokopojasnog pristupa Internetu na područjima od posebne državne skrbi, brdsko-planinskim područjima i otocima, [28].

Premda se Pravilnik o EKM⁸ velikim dijelom oslanja na brojne europske i međunarodne norme, krajnji mu je cilj da na razini Republike Hrvatske propiše obveznu izgradnju širokopojasne i konvergentne EKM koja će omogućiti sljedeće aplikacije (načine na koje se informacija isporučuje) korisniku, [30]:

1. Aplikacije informacijskih i komunikacijskih tehnologija: primjerice prijenos informacija putem Fast /1G/10GE Ethernet, ISDN, ADSL /VDSL, PON/GPON i slično, uobičajeno za telekom operatore ili za LANb/ BCT

2. Aplikacije difuzijskih i komunikacijskih tehnologija: npr. prijenos zvuka, slike i podataka, koristeći DVB-T/DBV-C difuzijske prijenose, prijam analognih i digitalnih, zemaljskih i satelitskih, radijskih i TV programa i dr. Prijenos se ostvaruje u radio frekvencijskom spektru HF/VHF/UHF, uobičajeno za CATV kableske operatore c/ CCCB.

3. Aplikacije upravljanja, kontrole i komunikacije unutar zgrade: npr. specijalizirane kućne automatike, upravljanje energijom, interfoni, sigurnosni sustavi – autorizacije, video nadzor te vatrodojavni sustavi i dr.. Izvođači su građevinske tvrtke i tvrtke koje se bave tehničkom zaštitom. Kabliranje EKM-a zgrada ovisi o namjeni objekta i ostvaruje se na sljedeći način, [30]:

- Kabliranje EKM-a poslovnih zgrada (PZ) realizira se kao obavezno generičko kabiranje uredskih prostora za ICT- aplikacije⁹, ostalo je izborno (BCT i CCCB);
- Kabliranje EKM-a stambenih zgrada (SZ) ostvaruje se kao obavezno generičko kabiranje stambenih prostora za ICT-I BCT- aplikacije¹⁰;
- Generičko CCCB-kabliranje;
- SZ je izborno, a preporučuje se sukladno smjernicama europske *Smart House* – inicijative (inteligentnih građevina) i pripadajućim preporukama i,
- Kabliranje stambeno-poslovnih zgrada (PSZ) je kombinacija gornjih izbora sukladno namjeni dijelova građevine glede tehnološkog odabira. Bakreno kabiranje (balansirano i nebalansirano) dozvoljeno je u sljedećim izvedbama:
 - Za podršku ICT-aplikacija predviđene su balansirane komponente Cat5 do Cat7 A, za željene frekvencijske širine 100 MHz do 1 GHz, prema tehnološkoj odluci investitora;

⁸ EKM – *Elektronička komunikacijska mreža*, [31].

⁹ ICT (engl. *Information and communications technology applications*) – skupina aplikacija za slanje/prijam informacija, [32].

¹⁰ BCT (engl. *Broadcast and communications technology applications*) – skupina aplikacija koja za prijenos zvuka, slike i dvosmjerni prijenos podataka, [33].

- Za podršku BCT-aplikacija rabe se koaksijalne komponente kategorije Cat BCT-C prijenosne širine do 3 GHz, a iznimno i balansirane komponente kategorije Cat BCT-B reducirane prijenosne širine do 1 GHz i,
- Za podršku CCCB-aplikacija¹¹ rabe se balansirane komponente kategorije Cat CCCB prijenosne širine do 0,1 MHz.

Optičko vlakno je stakleno ili plastično vlakno koje ima sposobnost prenošenja svjetlosti. Optička (svjetlovodna) vlakna imaju široku primjenu u komunikacijskoj tehnologiji gdje se koriste za prijenos signala s velikom propusnom moći. Zbog malih gubitaka na veću udaljenost i otpornosti na elektromagnetne smetnje te gotovo iste cijene po jedinici duljine, danas sve češće zamjenjuju upletenu bakrenu paricu.

Tablica 3. prikazuje primjenu svjetlovodnih vlakana koja je predviđena u ICT-i BCT-aplikacijama, međutim njihovo korištenje u CCCB aplikacijama nije predviđeno zbog uskopojasnosti CCCB aplikacija i njihove raznovrsnosti. Sukladno tome, tehnološke alternative uporabe svjetlovodnih vlakana u kabliranju građevina su sljedeće, [15]:

1. stakleni (GOF) višemodni svjetlovodi kategorija OM1, OM2, OM3 i OM4 na valnim duljinama 850 nm i 1300 nm;
2. stakleni jednomodni svjetlovodi kategorije OS1 i OS2 na valnim duljinama 1310 nm, 1383 nm i 1550 nm i,
3. plastični (POF) višemodni svjetlovodi kategorije OP1 i OP2, na valnoj duljini 650 nm, za OP2 na valnim duljinama 650 nm, 850 nm i 1300 nm.

Podrška aplikacija najmanje do duljine kanala od	Primjenjivi razred kanala	Primjenjive kategorije svjetlovoda	
		Poslovne primjene	Stambene primjene
25m	OF-25	-	OP1 ÷ OP2
50m	OF-50	-	OP1 ÷ OP2
100m	OF-100	OM1 ÷ OM4	OP2
300m	OF-300	OM1 ÷ OM4, OS1 ÷ OS2	
500m	OF-500		
2000m	OF-2000		
5000m	OF-5000		
10000m	OF-10000	OS2	

Tablica 3. Podrška aplikacija prema duljini kanala [30]

Infrastrukturni operator je pravna ili fizička osoba koja koristi vlastite nekretnine i/ili nekretnine drugih u svrhu građenja, održavanja, razvoja i korištenja elektroničke komunikacijske mreže i elektroničke komunikacijske infrastrukture i povezane opreme, odnosno ona koja je zasnovala pravo puta u skladu sa Zakonom o elektroničkim

¹¹ CCCB (engl. *commands, controls and communications in building*) – skupina aplikacija za upravljanje uređajima i sustavima u zgradi, [34].

komunikacijama, ili je obveznik davanja pristupa elektroničkoj komunikacijskoj infrastrukturi i povezanoj opremi na temelju analize mjerodavnog tržišta provedene u skladu s ovim Zakonom, [35].

Elektronička komunikacijska infrastruktura i pripadajuća oprema je infrastruktura povezana s elektroničkom komunikacijskom mrežom i/ili elektroničkom komunikacijskom uslugom, koja omogućuje ili podržava pružanje usluga putem te mreže i/ili usluge, što nadasve obuhvaća kabelsku kanalizaciju, antenske stupove, zgrade i druge pripadajuće građevine i opremu, te sustave uvjetovanog pristupa i elektroničke programske vodiče, [35].

Pravo puta je pravo pristupa, postavljanja, korištenja, popravljanja i održavanja elektroničke komunikacijske mreže te infrastrukture i povezane opreme, što obuhvaća također kabelsku kanalizaciju, kao i druga s tim povezana prava koja čine teret na nekretnini na kojoj je izgrađena elektronička komunikacijska infrastruktura i pripadajuća oprema, [35].

Upravitelj općeg dobra ili vlasnik nekretnine mora poštovati pravo puta i suzdržati se od bilo kakve radnje kojom bi se ometalo ostvarivanje tog prava, [35].

Pristup je omogućivanje dostupnosti opreme i/ili usluga drugom operatoru uz utvrđene uvjete, na isključivoj ili neisključivoj osnovi, radi pružanja elektroničkih komunikacijskih usluga, što, uz ostalo, podrazumijeva: pristup dijelovima mreže i pripadajućoj infrastrukturi i opremi, koji može obuhvaćati i priključenje opreme putem nepokretnih ili pokretnih veza (osobito pristup lokalnoj petlji te opremi i uslugama nužnim za pružanje usluga putem lokalne petlje), pristup fizičkoj infrastrukturi, uključujući zgrade, kabelsku kanalizaciju i antenske stupove, pristup odgovarajućim programskim sustavima, uključujući sustave za operativnu potporu, pristup sustavima za pretvaranje brojeva ili sustavima istovjetne funkcionalnosti, pristup nepokretnim i pokretnim mrežama, osobito za potrebe *roaminga*, pristup sustavima uvjetovanog pristupa za usluge digitalne televizije te pristup virtualnim mrežnim uslugama, [35].

5.1. CERT Republike Hrvatske (nCERT i ZSIS)

Hrvatski CERT (**CERT** – *Computer Emergency Response Team*) sastoji se od dva tijela: nacionalni CERT i Zavoda za sigurnost informacijskih sustava (ZSIS).

Zavod za sigurnost informacijskih sustava je osnovan zakonom o informacijskoj sigurnosti u Republici Hrvatskoj, članak 17. To je središnje državno tijelo za tehnička područja sigurnosti informacijskih sustava koje obavlja poslove sigurnosne akreditacije informacijskih sustava zajedno sa Uredom vijeća za nacionalnu sigurnost. Zavod za sigurnost informacijskih sustava nadležan je za, [36]:

- procese vezane uz sigurnost informacijskih mreža i sustava državnih tijela,
- materijali vezani uz kriptografiju koji se koriste u razmjeni klasificiranih podataka,

- prevenciju i otklanjanje sigurnosnih problema informacijskih sustava i mreža u državnim tijelima.

Nacionalni CERT osnovan je u skladu sa zakonom o informacijskoj sigurnosti Republici Hrvatskoj, članak 20. To tijelo je zasebni dio Hrvatske akademske i istraživačke mreže, a usklađuje postupanja u slučaju sigurnosnih računalnih incidenata na javnim informacijskim sustavima u Republici Hrvatskoj. Bave se sigurnosnim problemima u .hr domeni i hrvatskom IP adresnom prostoru. Bitno je naglasiti kako granice hrvatskog internetskog prostora nisu identične geografskim granicama kao što je predočeno tablicom 4. Također, prate stanja na području nacionalne sigurnosti te sukladno istima objavljuju sigurnosne obavijesti sa svrhom ublažavanja i sprječavanja štete i provode edukativne obuke za specifične grupe korisnika, [36].

ID adresa	Domena	Fizička lokacija	Vlasnik domene
Hrvatski ISP	.hr	Republika Hrvatska	Domaći i strani
Hrvatski ISP	.com, .net, .org...	Republika Hrvatska	Domaći i strani
Strani ISP	.hr	Izvan RH	Domaći i strani
Strani ISP	.com, .net, .org...	Izvan RH	Domaći

Tablica 4. Ovlasti Nacionalnog CERT-a nad hrvatskim internetskim prostorom [36]

Zajedno sa Zavodom za sigurnost informacijskih sustava radi na prevenciji i zaštiti od računalnih incidenata vezanih uz sigurnost informacijskih sustava te predlažu norme i preporuke iz područja sigurnosti informacijskih sustava, [36].

5.2. Temeljni zahtjevi za elektroničku komunikacijsku mrežu i elektroničku komunikacijsku infrastrukturu

Zakonom o elektroničkim komunikacija koji je na snazi od 2017. godine donesene su opće odredbe. Zakon uređuje područje elektroničkih komunikacija, [37]:

- korištenje elektroničkih komunikacijskih mreža i pružanje elektroničkih komunikacijskih usluga;
- zaštita prava korisnika usluga, gradnja, postavljanje, održavanje i korištenje elektroničke komunikacijske infrastrukture i povezane opreme;
- uvjeti tržišnog natjecanja te prava i obveze sudionika na tržištu elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga;

- djelotvorno upravljanje radiofrekvencijskim spektrom te adresnim i brojevnim prostorom;
- digitalni radio i televizija;
- zaštita podataka;
- sigurnost i cjelovitost elektroničkih komunikacijskih mreža i usluga te obavljanje inspeksijskog nadzora i kontrole u elektroničkim komunikacijama, kao i,
- osnivanje nacionalnog regulatornog tijela za elektroničke komunikacije, poštanske usluge i željezničke usluge, njegovo ustrojstvo, djelokrug i nadležnosti te postupak donošenja odluka i rješavanje sporova u elektroničkim komunikacijama.

Elektronička komunikacijska mreža i elektronička komunikacijska infrastruktura i povezana oprema mora se planirati, projektirati, proizvoditi, graditi, održavati i upotrebljavati u skladu s normama i tehničkim specifikacijama sadržanima u popisu obvezujućih norma i/ili tehničkih specifikacija, koji se objavljuje u Službenom listu Europske unije u skladu s mjerodavnom direktivom Europske unije, [35].

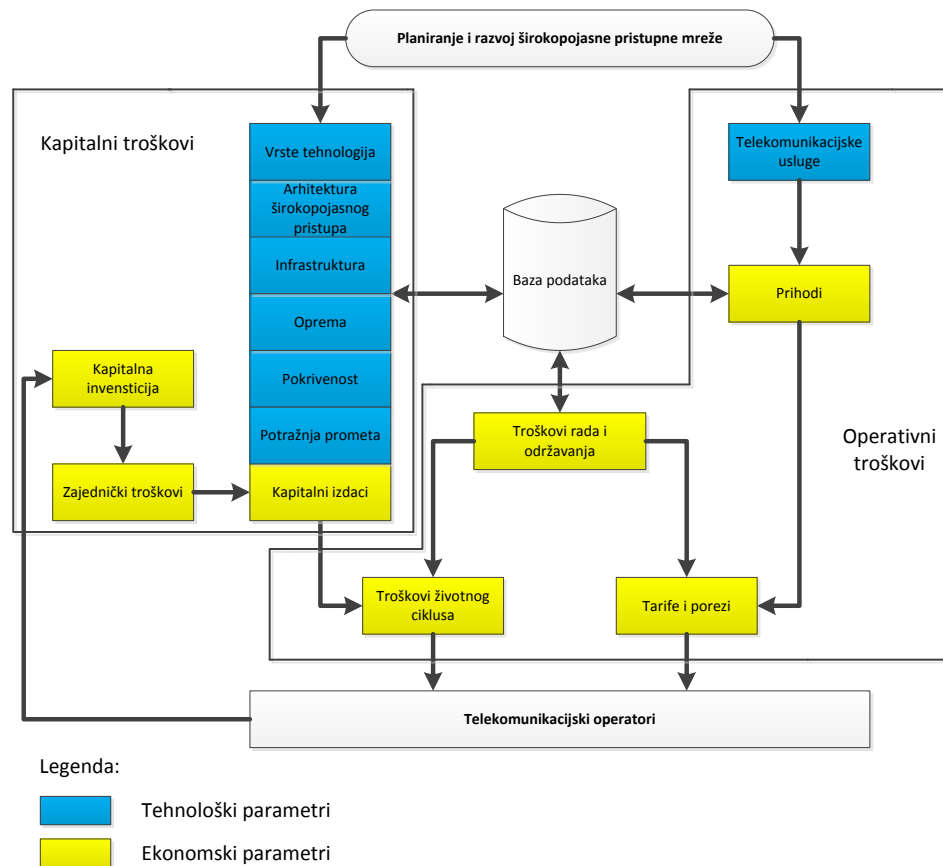
Ako ne postoje odgovarajuće obvezujuće norme i/ili tehničke specifikacije, primjenjuju se norme i tehničke specifikacije Europskog instituta za telekomunikacijske norme (**ETSI** – *European Telecommunications Standards Institute*), Europskog odbora za normizaciju (**CEN** – *The European Committee for Standardization*) i Europskog odbora za elektrotehničku normizaciju (**CENELEC** – *The European Committee for Electrotechnical Standardization*) te norme, odluke i preporuke Međunarodne telekomunikacijske unije (**ITU** – *International Telecommunication Union*), Međunarodne organizacije za normizaciju (**ISO** – *International Organization for Standardization*), Međunarodnoga elektrotehničkog povjerenstva (**IEC** – *International Electrotechnical Commission*) i Europske konferencije poštanskih i telekomunikacijskih uprava (**CEPT** – *The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*), [35].

6. Usporedna analiza tehnološko – ekonomskih parametara

Kod planiranja i projektiranja širokopojsnih pristupnih mreža bitno je istražiti niz tehnološko–ekonomskih parametara. Različiti tehnološki i ekonomski parametri, odnosno faktori potrošnje trebaju se uzeti u obzir kod tehnološko-ekonomske analize. Ukupni trošak vlasništva TCO (**TCO – Total Cost of Ownership**) dijeli se na manje troškove s ciljem dobivanja boljeg pregleda. Postoje dva pristupa za pronalaženje podjele troškova i poveznice za različite parametre, prema [38]:

- U prvom pristupu pregled ukupnog troška je formuliran i specificiran, ali ne ulazi u detalje. Svaki dio troška je potom analiziran do sitnijih detalja.
- U drugom pristupu počinje se s najvišom razinom pregleda ukupnog troška vlasništva i taj trošak se podijeli na manje dijelove. Klasifikacija parametara je spajanje različitih troškova da bi se na kraju mogao vidjeti ukupan trošak procesa ili cijele mreže. U ovom pristupu svaki osnovni element je prvo razrađen do detalja. Ti elementi se kasnije spajaju tako da formiraju potprocese koji su povezani na više razina, sve do najviše razine procesa, odnosno dok se ne formira TCO.

Oba pristupa daju korisne ulazne podatke za daljnje razvijanje TCO-alata i kasnije će se spojiti i služiti kao početna točka za gradnju i strukturiranje ulaznih podataka za TCO-alat.



Grafikon 1. Prikaz tehnološko-ekonomskih parametara za planiranje širokopojsnih pristupnih mreža

Usporedna analiza tehnološko-ekonomskih parametara prikazana je grafikonom 1. Analiza uključuje tehnološke parametre koji su ključni za izračun ekonomskih parametara. Takva analiza širokopojasne pristupne mreže nam služi za procjenu komercijalne izvedivosti i financijske održivosti, odnosno je li telekomunikacijskom operatoru u budućnosti isplativije razvijati novu širokopojasnu mrežu ili nadograđivati postojeću. Planiranje i razvoj širokopojasnih pristupnih mreža ovisi o trenutnoj i prognoziranoj potražnji za prometom i telekomunikacijskim uslugama. Planiranje dodatno određuju mnoge zemljopisne, demografske i socijalne karakteristike kao što su urbana i ruralna područja, profil korisnika, atributi usluga i dr. Posebni tehnološki parametri koji utječu su mrežna infrastruktura, mrežna oprema, odabir širokopojasne pristupne tehnologije, pokrivenost, potražnja za prometom. Navedeni parametri su sastavni dio kapitalnih troškova jer nastaju ulaganjem telekomunikacijskog operatora u nabavu i izgradnju nove opreme ili nadogradnju postojeće opreme. Operativni, administrativni troškovi i troškovi održavanja također se uzimaju u obzir, jer stavke kao što su plaće zaposlenika, troškovi gradnje/ureda, troškovi oglašavanja/prodaje i troškovi popravka često mogu značiti veliki dio ukupnih troškova. Operativni, administrativni troškovi i troškovi održavanja obično se temelje na procjenama, odražavaju planiranje širokopojasne pristupne mreže i često se mogu izračunati kao proporcionalna vrijednost kapitalnog ulaganja. Procijenjeni prihodi temeljeni su na ponuđenim telekomunikacijskim uslugama, broju korisnika i cijenama telekomunikacijskih usluga, te zajedno s predviđenim kapitalnim i operativnim troškovima mogu odrediti budućnost poslovnog projekta.

6.1. Višekriterijsko odlučivanje u funkciji planiranja širokopojasne pristupne mreže

Odlučivanje se definira kao proces između najmanje dvije ili više različitih mogućnosti rješavanja nekog problema. Odlučivanje je stalan proces i njime se donose pojedine odluke koje su proces vrednovanja alternativa koje sve zadovoljavaju određene postavljene kriterije. U trenutku kad se između ponuđenih alternativa treba odabrati ona koja zadovoljava najviše kompletan skup zadanih kriterija, tada se javljaju problemi. Ako se radi o poslovnom odlučivanju, tada se donošene odluke reflektiraju na veći ili manji broj podsustava poslovnog sustava.

U procesu odlučivanja mogu se pojaviti problemi koji uključuju više kriterija koji su međusobno suprotstavljeni. Kada se pojave takvi problemi koristi se višekriterijsko odlučivanje. Takvi problemi u poslovnom svijetu su vrlo kompleksni. Općenito, problem kompleksnosti nije samo zadan većim brojem kriterija, već i tome da sve ponuđene alternative uvjetuju zajedničke kriterije koji će dovesti do odluke, [39].

Razvojem informacijsko komunikacijske tehnologije došlo je do razvoja višekriterijskog odlučivanja u telekomunikacijama. Brzi razvoj informacijsko komunikacijske tehnologije omogućio je provođenje sustavne analize složenih višekriterijskih problema, dok masovna uporaba računala i informacijskih tehnologija prouzročila je veliku količinu

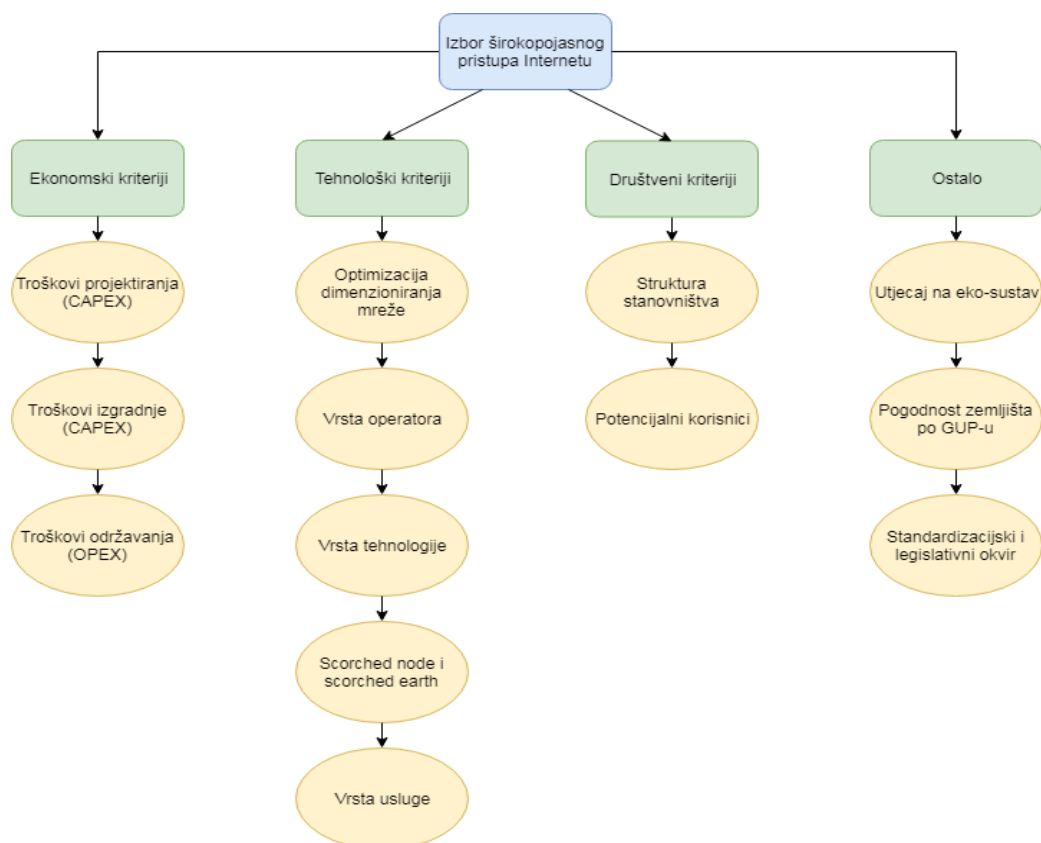
informacija, što je za posljedicu imalo sve veću primjenu višekriterijskog odlučivanja u poslovnom svijetu, [39].

Višekriterijsko odlučivanje koristi se u raznim granama, pa tako pronalazi svoju primjenu u: vrednovanju rada zaposlenika, procjeni zdravstvene zaštite u postupanju s otpadom, određivanju bankarske učinkovitosti, Internet bankarstvu, određivanju najboljih profesora, odabiru dobavljača, upravljanjem lancem opskrbe, odabiru lokacije skladišta i slično, [39].

S obzirom na primjenu razlikujemo brojne metode višekriterijskog odlučivanja: AHP (engl. Analytic Hierarchy Process), ANP (engl. Analytic Network Process), ELECTRE (engl. ELimination Et Choix Traduisant la REalite), PROMETHEE (engl. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations), DEA (engl. Data Envelopment Analysis), TOPSIS (engl. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), SMART (engl. Simple Multi-Attribute Rating Technique), AIRM (engl. Agregated Indices Randomization Method), COPRAS-G (engl. Complex PROportional ASsessment of alternative with Grey relations), GRA (engl. Grey Relational Analysis), - Grey Theory, - MAUT (engl. Multi-Attribute Utility Theory), MAVT (engl. Multi-Attribute Value Theory),...

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.

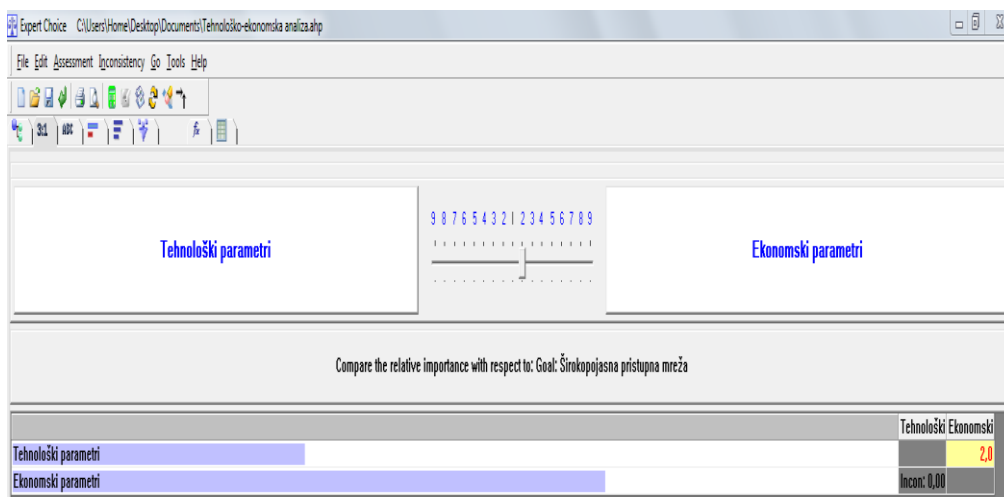
Kriteriji su atributi kojima se opisuju alternative (varijante) i njihova svrha je direktno ili indirektno pružanje informacija o tome u kojoj mjeri se pojedinom alternativom (varijantom) ostvaruje željeni cilj. Kriteriji trebaju opisati alternative na takav način da se više alternativa (varijanti) jasno može rangirati po kvaliteti (odn. traži se najbolja varijanta) u odnosu na promatrani kriterij. Grafikon 2. prikazuje osnovne kriterije i podkriterije u procesu planiranja i razvoja širokopojasne pristupne mreže.



Grafikon 2. Prikaz osnovnih kriterija i podkriterija u procesu planiranja i razvoja širokopolasne pristupne mreže

Ukoliko pri donošenju odluke postoji više različitih kriterija, oni gotovo u pravilu nemaju istu važnost te im se zbog toga dodjeljuju težine (težinski faktori odnosno vrijednosti) koje odražavaju njihove relativne važnosti.

Za usporednu analizu tehnološko-ekonomskih parametara u širokopolasnim pristupnim mrežama korištena je višekriterijska metoda AHP (Analitički hijerarhijski proces) uz pomoć programskog alata *Expert Choice* 11. Programski alat *Expert Choice* služi kao potpora u grupnom odlučivanju. Predstavlja način odlučivanja koji se usklađuje s ciljem donositelja odluke. Omogućuje poslovnim subjektima brzo i kvalitetno donošenje odluka, a sve s ciljem ostvarivanja boljih poslovnih rezultata. Ovaj programski alat korisniku omogućuje strukturiranje jednostavnih kao i vrlo složenih problema, uspoređivanje kriterija, podkriterija i alternativa u parovima. U ovom radu parametri će se uspoređivati prema Saatyjevoj skali.



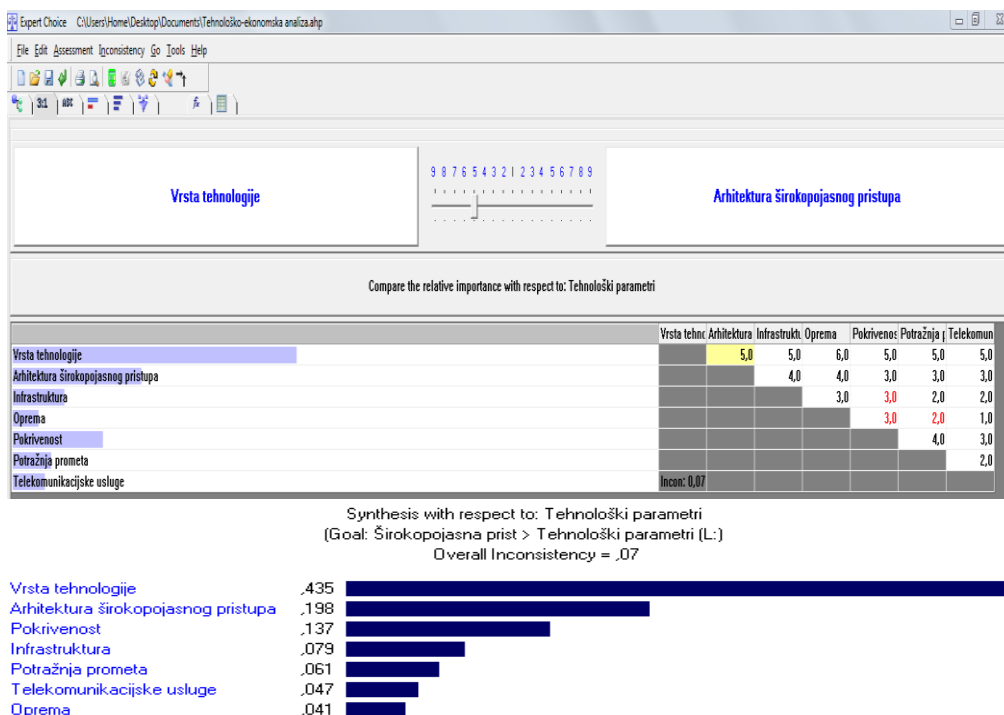
Slika 9. Vrednovanje kriterija u paru prema Saatyjevoj skali

Na slici 9. prikazano je vrednovanje kriterija u paru prema Saatyjevoj skali¹². Vrednovanje svih elemenata predloženog AHP modela napravljeno je na temelju subjektivnog ocjenjivanja i služi kao primjer u funkciji odabira optimalne alternative

Nakon što se definira struktura problema AHP modela, sljedeći korak u donošenju odluke je usporedba kriterija u paru kako bi se odredio najznačajniji kriterij. Kriteriji se uspoređuju u odnosu na to koliko puta je jedan od njih važniji za mjerenje postizanja cilja od drugog. Kako je prikazano na slici 9., korištena je usporedba kriterija u parovima prema Saatyjevoj skali. Također, na slici se može uočiti i indeks konzistencije („Incon: 0,00“), koji nakon dodjeljivanja težinskih vrijednosti između kriterija poprima vrijednost 0,00, odnosno 0%. S obzirom na to da je indeks konzistencije manji od 10%, omjeri važnosti kriterija dobro su strukturirani.

Nakon uspoređivanja kriterija po važnosti, sljedeći korak u procesu odlučivanja AHP metodom višekriterijskog odlučivanja je usporedba podkriterija unutar pojedinih kriterija. Usporedba podkriterija vrši se na isti način kao i usporedba kriterija.

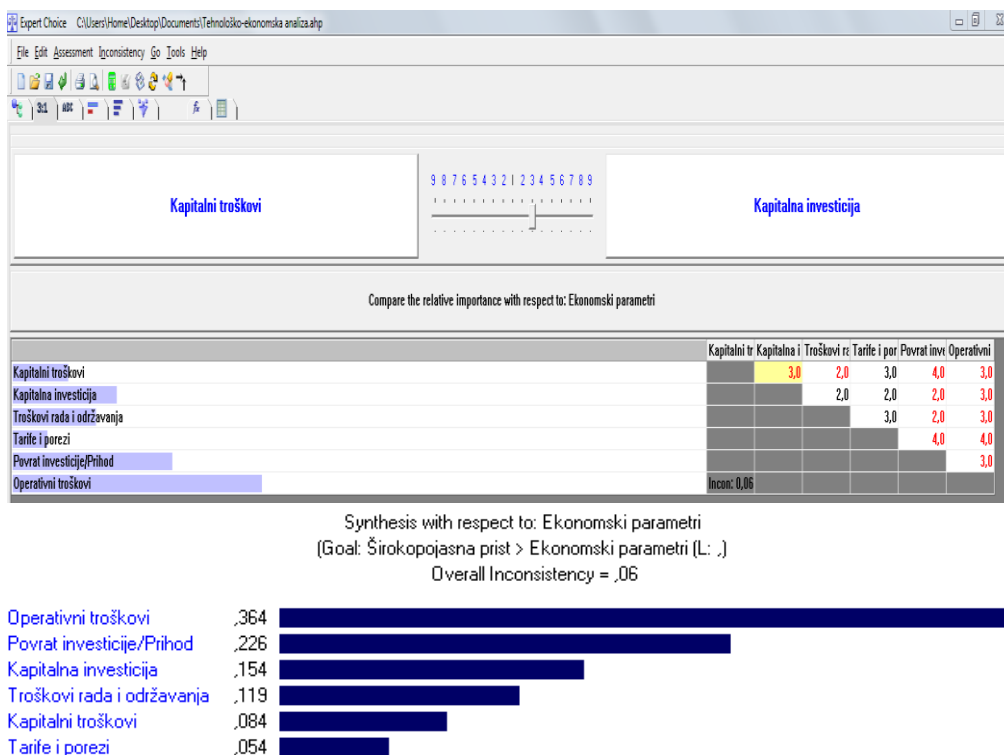
¹² **Saatyjeva skala** (engl. Saaty scal) - omjerna skala koja ima pet stupnjeva intenziteta i četiri međustupnja, a svakom od njih odgovara vrijednosni sud o tome koliko puta je jedan kriterij važniji od drugog, [50].



Slika 10. Uspoređivanje podkriterija unutar kriterija „tehnološki parametri“

Prilikom planiranja širokopojasne pristupne mreže odabir pristupne tehnologije predstavlja najveći problem. Također iz slike 10. može se uočiti kako je podkriteriju arhitekturi širokopojasnog pristupa dodijeljena velika relativna težina. Pokrivenost određenog područja od velike je važnosti za implementaciju širokopojasnih pristupnih mreža. Indeks konzistentnosti iznosi 7% za uspoređene podkriterije.

Kako je već navedeno u radu, ekonomski parametri uzimaju se kao točka polazišta kod implementacije širokopojasnih pristupnih mreža. Pa je tako na slici 11. prikazano uspoređivanje podkriterija u parovima unutar kriterija „ekonomski parametri“.



Slika 11. Uspoređivanje podkriterija unutar kriterija „ekonomski parametri“

S obzirom na to da operativni troškovi obuhvaćaju čitav niz troškova (troškovi dolaska do korisnika, subvencije terminalne opreme, naknade dobavljačima, troškovi nastali kako bi se korisnik potaknuo na korištenje usluga i mreže, troškovi vezani uz promet, razvoj usluge, marketinško osoblje, promidžbu, međupovezivanje, troškovi vezani uz rad mreže, prijenos, najam prostora, rad i održavanje) smatraju se najbitnijim elementom ekonomskog aspekta implementacije širokopojasnog pristupa.

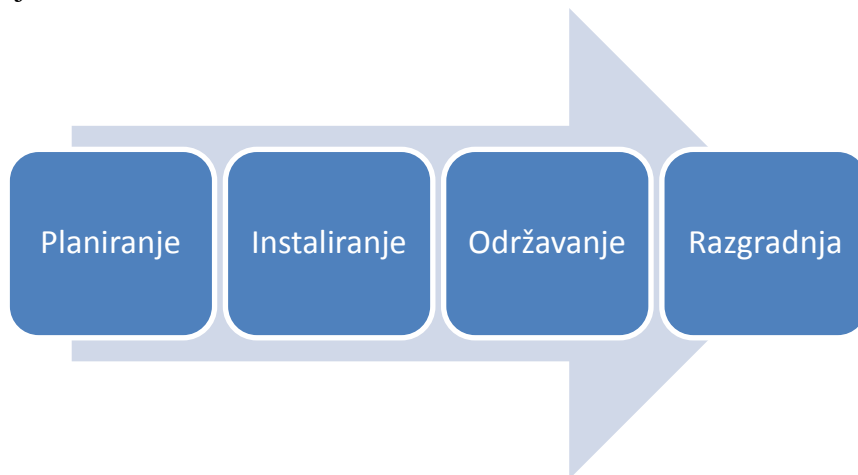
Također, povrat investicije odnosno prihodi prilikom izgradnje pristupne mreže vrlo su bitan element ovog kriterija. Telekomunikacijskom operatoru bitno je znati koliki novčani prihod čemu se vratiti u odnosu na investiciju. Vrlo je važno kolika će biti kapitalna investicija odnosno hoće li izgradnju biti izdvojena vlastita sredstva ili će izgradnja biti sufinancirana od strane države, lokalne uprave ili će jedan dio sredstava biti iz određenih fondova. Troškovi rada i održavanja kao i kapitalni troškovi, promatraju se s velikom relativnom težinom. Indeks konzistentnosti kriterija „ekonomski parametri“ iznosi 0,06, što znači da je uspoređivanje podkriterija u parovima dobro strukturirano.

6.2. Podjela troškova

Za pouzdano procjenjivanje razvoja nove širokopojasne pristupne infrastrukture, važno je prvo dobiti potpuni pregled svih troškova uključenih u razvijanje širokopojasne pristupne infrastrukture te zatim dobiti konzistentnu klasifikaciju tih komponenata troškova zasnovanih na njihovoj namjeni i veličini, [40].

U životnom ciklusu mreže potrebno je osigurati pokrivenost svakog aspekta novog razvoja. Životni ciklus se najčešće sastoji od 5 faza kao što je prikazano grafikonom 3.:

1. Planiranja mreže;
2. Početne instalacije mrežne infrastrukture;
3. Faze održavanja mreže;
 - a. Povezivanje s korisnikom;
 - b. Održavanje mreže i usluga;
4. Razgradnje mreže.

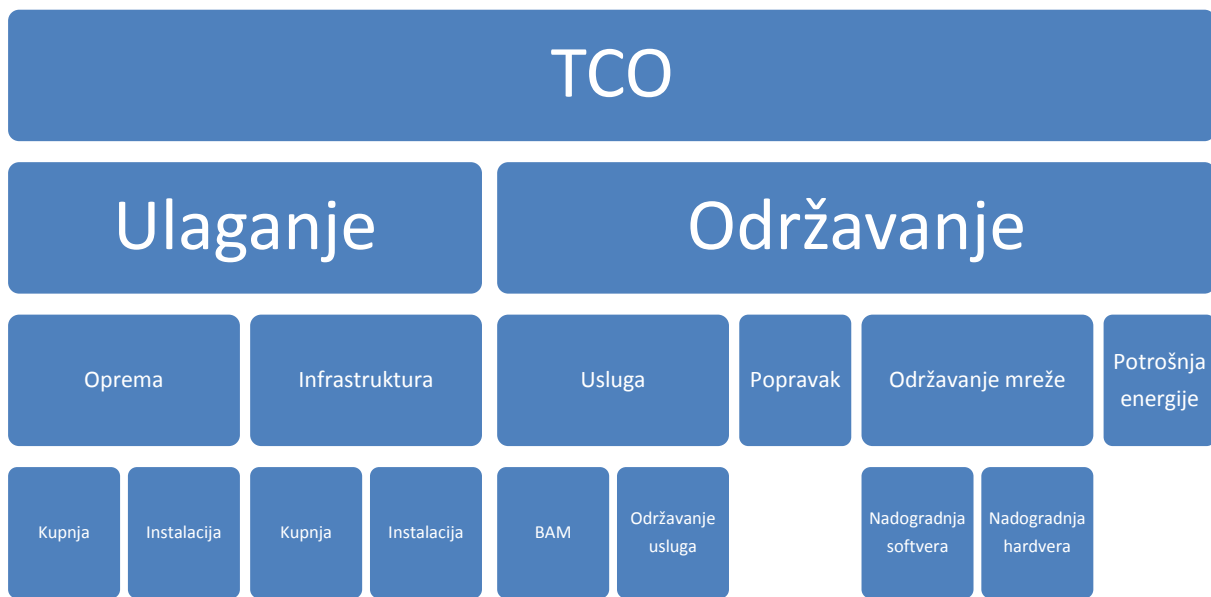


Grafikon 3. Životni ciklus troškova mreže [40]

Buduća planiranja dati će bolji pogled na različite komponente i modele gradnje za izračun troškova. Najbolji način za počinjanje ovoga je procijeniti važnost različitih komponenata u postojećoj klasifikaciji, bazirane na veličini rizika. Faza razvoja ima najveći trošak u FTTH procesu, a faza razgradnje ima najmanji trošak.

6.3. Klasifikacija parametara

Klasifikacija ukupnog troška (TCO) dijeli se na dva osnovna troškovna parametra koja su ulaganje i održavanje. Nadalje, oni se dijele na manje troškovne jedinice kao što je hijerarhijski prikazano na grafikonu 4.



Grafikon 4. Kategorija troškova koji utječu na ukupan trošak vlasništva [40]

Opis parametara vezanih u mrežu, [38]:

- Karakteristike mreže: tehnologija, brzina prijenosa, propusnost, topologija, zaštita projekta (*TCO*);
- Karakteristike mrežne usluge: početna primjena, osiguranje pretplatnika, promjena, obnova (*Održavanje*);
- Parametri mrežnih komponenata: potreban prostor, srednje vrijeme popravka, rezervni dijelovi, stopa kvara, srednje vrijeme između kvarova, vrijeme pristupa – vrijeme puta i pristupa opremi, vrijeme instalacije, potrošnja energije (*Ulaganje, Popravak*);
- Mrežna povezanost: raskopavanje, povezivanje vlakana, najam vlakana, kućno kabliranje, povezivanje korisnika s početnom točkom, optička raspodjela okvira (*Infrastruktura, Ulaganje*) i,
- Energija mreže: trošak energije, troškovi hlađenja i grijanja (*Ulaganje*).

Opis parametara vezanih uz povezivanje područja:

- Povezivanje: cijena zemlje, troškovi za odobrenje postupka, trošak javnog razvoja (*Infrastruktura, Ulaganje*) i,
- Obilježja površine: površina, udaljenost korisnika, tipovi korisnika i njihov postotak, postojeća infrastruktura – kanali, vlakna, kablovi... (*TCO, Infrastruktura, Ulaganje*).

Opis parametara vezanih uz financije:

- Financijski parametri: inflacija, gradnja nad postojećom mrežom, propisi, koncesije, tehnolojska devalvacija, deprecijacija, porez, amortizacija, očekivani prihodi, vremenski period, krivulje učenja, tržišna vrijednost operatera (*TCO*).

Opis parametara vezanih uz telekomunikacijskog operatora:

- Ljudski resursi: lokacija, radne smjene - koliko ih ima, razlika u plaćama..., terenski tehničari, softverski tehničari/inženjeri, upravitelj mrežnim radom, ostali ljudski resursi – prodaja, marketing i dr. (*Održavanje*);
- Naplata: potrebno vrijeme, alati, oprema (*BAM*);
- Računovodstvo: potrebni resursi, potrebno vrijeme, alati, oprema, međusobna povezanost (*BAM*);
- Operator – marketing: potrebni resursi, potrebno vrijeme, alati, oprema (*BAM*);
- Dijagnoza kvara: (*Popravak*);
- Planiranje trajanja mreže: prelazak iz jedne u drugu tehnologiju (*Održavanje*) i,
- Upravljanje mrežom: kvaliteta napretka, administrativna opterećenja (*Održavanje*).

6.4. Metode tehnološko – ekonomske analize

Tehnološko-ekonomska analiza može se provesti kroz razne metode. Neke od njih koje će biti opisane u ovom poglavlju su, [40]:

- Mactor;
- Dinamika sustava;
- Analiza pravog izbora i
- Teorija igara.

U tablici 5. navedene su metode i ukratko opisani ciljevi tih metoda.

Metoda	Cilj
Mactor	Odnos sudionika i ciljeva
Dinamika sustava	Praćenje aktivnosti tijekom vremena
Analiza pravog izbora	Predviđanje i analiza rizika
Teorija igara	Interakcija između igrača

Tablica 5. Metode tehnološko-ekonomske analize [40]

Svaka od navedenih metoda okarakterizirana je svojim funkcionalnostima i ciljem koji je moguće postići. Svakom metoda ima specifično i točno definirano područje djelovanja kako bi pružila što relevantnije informacije. Unatoč različitosti metoda, u praksi se često istovremeno koristi više metoda kako bi se detaljno provela tehnološko – ekonomskih analiza.

Metoda mactor je višeciljna metoda koja analizira odnos ključnih sudionika i njihovih uloga i ciljeva. Dinamika sustava iz aspekta tehnološko-ekonomske analize odnosi se na praćenje i analiziranje određenih aktivnosti u određenom vremenskom intervalu. Analiza pravog izbora standardna je ekonomska metoda koja se koristi kod višekriterijskog odlučivanja prilikom donošenja odluka s ciljem procjene i analize potencijalnog rizika. Teorija igara iz ekonomskog aspekta koristi se prilikom određivanja poslovnih strategija i

određenih interakcija između tvrtki koje natječu na tržištu (u našem slučaju telekom operatora).

6.4.1. Metoda Mactor

Metoda Mactor (engl. *Matrix of Alliances and Conflicts: Tactics, Objectives and Recommendations*) je metoda u koju je uključeno više sudionika. Metodu Mactor razvili su Michel Godet i Jacques Arcade. Dozvoljava dubinsku analizu pojedine razine i u isto vrijeme daje potrebne podatke, algoritme i strukture da se izvedu više apstraktne implikacije i preporuke za industrije i kompanije.

Metoda Mactor je predstavljena kao odgovor na kritike prijašnjih metoda predviđanja. Najveća kritika odnosila se na to da sudionici mogu utjecati na ključne čimbenike središnjeg sustava. Metoda Mactor polazi od analize vrijednosti mreže. To se uspješno primjenjuje za sustave s više sudionika i više ideja. Potrebni ulazni podaci su položaji sudionika u određenim pitanjima, koja su pitanja važna za sudionike i međusobni utjecaj sudionika, [41].

Za razvoj novog proizvoda glavni ključ je ispravno određivanje izbora u stvaranju mreže. Model više sudionika, MIAM (**MIAM** – *Multi-Issue Actor Model*) je najbolji izbor za vođenje analize u trenucima kada je uključeno više sudionika i različitih ciljeva. MIAM je primjenjiv u situacijama gdje je više sudionika suočeno sa situacijom čiju je budućnost teško predvidjeti, primjerice izdavanje novog proizvoda. Model više sudionika osim različitih interesa i opcija koje sudionici imaju, prepoznaje važnost rukovanja bitnim faktorima koji utječu na buduće ishode situacija, [40], [41].

Rezultati Mactor analize su:

1. Predviđanja za važnost dominantnih sudionika
2. Otkrivanje snage pojedinog sudionika
3. Otkrivanje spremnosti sudionika da sudjeluju u ključnim pitanjima
4. Razvijene su taktike i preporuke za moguće saveze i konflikte.

Metoda Mactor se dijeli se na šest osnovnih koraka koji su prikazani na grafikonu 5.:



Grafikon 5. Koraci u Mactor analizi [41]

1. Identifikacija sudionika i njihovih ciljeva

- Stvaraju se profili korisnika za opće identificiranje sudionika u vrijednosti mreže. Profili pružaju dodatne informacije o aktivnosti sudionika, njihovih ciljeva i poslovna područja u kojima su aktivni.

2. Identifikacija strateških područja i ciljeva na tržištu

- Za svako pitanje, formulirani su određeni ciljevi. Ti ciljevi su neophodni za iduće korake. Iz osobne perspektive sudionika, neki od ciljeva su: radije koriste optičke mreže umjesto drugih tehnoloških rješenja, dugoročno opredjeljenje na optiku, velika pokrivenost FTTH mreže, brza primjena optičkih mreža, minimiziranje troškova optičkih mreža, dijeljenje troškova prema riziku, definiranje dugoročnih i stabilnih uvjeta za izradu i održavanje optičke mreže, ponuda novih usluga, uvođenje kvalitete usluge i sl.

3. Procjena položaja sudionika prema strateškim područjima i ciljevima – matrice sudionika i ciljeva

- U ovom koraku su identificirana stajališta sudionika. Sudionik može imati pozitivno, negativno ili neutralno stajalište. Podaci su prikupljeni u Mactor alatu u obliku tablice. U stupcima su navedeni ciljevi, a u redovima sudionici. Elementi matrice predstavljaju stajališta određenog sudionika i cilja. Ova matrica se zove „Matrica ciljeva i sudionika” (**MAO** – *Matrix of Actors & Objectives*). Postoji još jedna matrica koja se zove „Vrijednosna matrica ciljeva i sudionika“ (engl. *Valued Matrix of Actors & Objectives*). Sastav matrice je isti, ali su pozicije sudionika ponderirane na skali od -2 do 2.

4. Procjena ravnoteže snage među sudionicima – ponderirane matrice sudionika i ciljeva

- U ovom koraku su zaustavljeni izravni i neizravni utjecaju sudionika. U matrici izravnih utjecaja MID (**MID** – *Matrix of Direct Influences*) vidi se kako sudionici utječu jedni na druge. Elementi mogu poprimiti vrijednost od do, gdje znači da sudionik u redu nema utjecaja na sudionika u stupcu, a pokazuje visok stupanj utjecaja. Na temelju ove procjene izravnih utjecaja, razvila se matrica direktnih i indirektnih utjecaja MIDI (**MIDI** – *Matrix of Direct and Indirect Influences*). Ovdje su uključene i ponderirane pozicije sudionika.

5. Procjena usklađivanja i razilaženja

- Za svaku MAO matricu stvorene su dvije matrice: matrica usklađivanja – CAA (*Matrix of Convergence: Actor x Actor*) i matrica razilaženja – DAA (*Matrix of Divergence: Actor x Actor*). Dvoje sudionika u CAA matrici imaju oboje pozitivan ili negativan stav o cilju. U DAA matrici je obrnuta situacija, odnosno sudionici imaju različita stajališta.

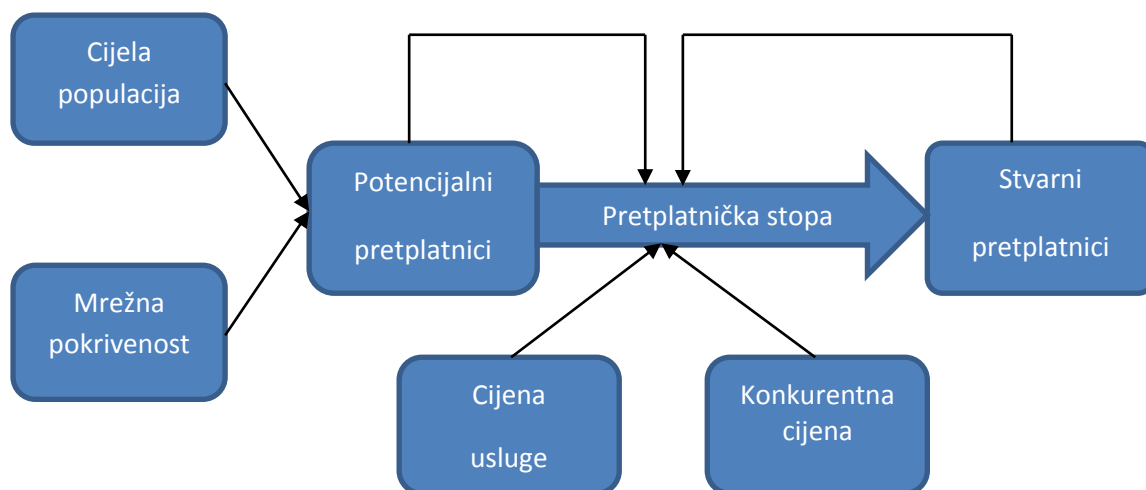
6. Razvoj implikacija i preporuka

- Mactor-analiza objašnjava interakciju između sudionika i prvi je korak ka igri teorijskih pristupa. Mogu se uočiti mogući savezi i sukobi među sudionicima. Na temelju toga se formuliraju opcije i preporuke u vezi suradnje.

6.4.2. Metoda zasnovana na dinamičkim sustavima

Dinamika sustava je tehnika simulacija modeliranja za razumijevanje i analizu kretanja tijekom vremena. Nedavna istraživanja kao što su „*Dynamical Systems: Analytical and Computational Techniques*“ autora Mahmuta Reyhanoglua i „*Dynamic Systems*“ autora Josea A. Tenreira Machada pokazala su da je dinamika sustava SD (**SD** – *System Dynamics*) najpopularnija tehnika za istraživanje stvarnih problema pomoću podataka iz stvarnog svijeta.

Jednostavan primjer zaliha i tijeka prikazan je na grafikonu 6. koja opisuje kako se korisnici mogu pretplatiti na novu uslugu u nekom vremenskom periodu. U ovom primjeru potencijalni pretplatnici i stvarni pretplatnici mogu se smatrati kao zaliha, a strelica označava tijek između njih. Tijek se može opisati pretplatničkom stopom koja ovisi o brojnim faktorima, [40], [42].



Grafikon 6. Simulacija pretplate na telekomunikacijsku uslugu [42]

Pretpostavlja se da će cijena usluge u ovom modelu pasti kada novi pružatelji usluga počinju nuditi nove usluge. Jedna od strategija novog operatora je da uspoređi cijene konkurencije i tako zaradi odgovarajući profit. Novi pružatelji usluga uglavnom su usmjereni da usluge koje pružaju korisnicima imaju više mogućnosti, a cijene su im niže. Međutim, istraživanja pokazuju da istodobno sniženje cijena i povećanje usluga (npr. veća propusnost) može imati negativan utjecaj na globalnu učinkovitost tvrtke. Pružatelji usluga ne mogu biti u mogućnosti ostvariti tržišni udio (broj korisnika i prihoda) i naknadu troškova u vremenskom periodu trajanja proizvoda zbog raznih čimbenika kao što su tehnološke promjene i visoki troškovi za održavanje stare opreme. Rezultati ovog modela mogu se prikazati grafovima i tablicama, [40], [42].

6.4.3. Analiza pravog izbora

Metodologija pravog izbora – RO (**RO** – *Real Option*) pokušava uključiti vrijednost upravljačke fleksibilnosti prisutne u poslovnom slučaju. Financijska opcija daje pravo za kupnju ili prodaju u ograničenom vremenskom periodu temeljne vrijednosti za unaprijed određenu cijenu. Pravi izbor definiran je 1977. godine i primjenjuje teoriju vrednovanja izbora ulaganja u imovinu. To se pokazalo korisno u investicijskim odlukama koje se sastoje od različitih faza, [40], [43].

Ovaj pristup podrazumijeva tri koraka:

1. Određivanje ključa neizvjesnosti;
2. Određivanje izbora;
3. Procjena izbora s obzirom na neizvjesnost.

Vrijednost projekta sada se treba proširiti na vrijednosti izbora, a definira se kao skup trenutnih vrijednosti mreže – NPV (**NPV** – *Net Present Value*) projekta s vrijednosti svakog

izbora. Izbori će pokušati smanjiti šansu za gubitkom i povećati šansu za profit. Takav ishod poslovnog slučaja kada uzima pravi izbor vrednovanja odrazit će se na dobit uključivanja u drugoj fazi projekta. Na grafikonu 7. prikazan je primjer neizvjesnosti za FTTH primjenu. Neizvjesnost je subjektivan pojam koje predstavlja nedostatak povjerenja o vjerojatnosti procjene. Odluke su navedene u najnižem sloju, [40], [43].



Grafikon 7. Primjena neizvjesnosti i stablo odluke za primjenu u FTTH mreži [40]

Uporaba analize pravog izbora ne zahtijeva velike promjene za TCO alat. Izračun različitih izbora može se izvesti TCO-alatom koji ima iste ulazne parametre. Ishod pravog izbora će tada biti najbolji rezultat u određenom trenutku od različitih paralelnih TCO izračuna. Da bi RO analiza bila potpuna, ishode treba proširiti tako da se uzmu u obzir neizvjesni ulazni parametri. Originalni ulazni parametri se kombiniraju s neizvjesnima pomoću funkcija vjerojatnosti distribucije – PDFs (**PDF** – *Probability Distribution Functions*). To dovodi do različitih ulaznih skupova koji se koriste kao ulazni parametri za TCO alat i rezultirat će različitim ishodima, [40], [43].

6.4.4. Teorija igara

Pomoću teorije igara dobije se bolji pogled na učinke i interakciju između „igrača“. Da bi se to postiglo, treba se izgraditi integrirani model u kojem će rezultat pojedinog igrača ovisiti o njegovim aktivnostima, ali i o postupcima drugih igrača. Interakcija dva igrača može se sastojati od natjecanja ili suradnje. Ovdje će se razmatrati samo konkurentni igrači. Igrači će se natjecati za istu nagradu koju će u ovom slučaju predstavljati kupac, [27].

Različiti igrači mogu birati između različitih akcija, što se naziva strategija. Primjeri strategija u tehno-ekonomskoj analizi su: primjena novih tehnologija, zaustavljanje razvoja i

sl. Isto obrazloženje za pronalaženje neizvjesnosti i izbora koji se primjenjuju u prethodnom slučaju (RO) mogu se iskoristiti za pronalaženje smislenog skupa strategija za različite igrače u tehno-ekonomskoj igri. Nakon što su definirani igrači i strategije, a model je u mogućnosti izračunati izlazni rezultat (isplatu), teorijski koncepti igre mogu se koristiti za dohvaćanje najvjerojatnije interakcije među igračima. Ravnoteža u igri se koristi za pokazivanje skupa strategija u kojoj ni jedan igrač ne mijenja svoju strategiju. Postoje različiti pristupi u nalaženju ravnoteže u igri, a većina ih se temelji na matematičkim modelima i pristupima, [27], [40].

	FTTH	Trenutna tehnologija
FTTH	(a) 40 40	(b) 80 20
Trenutna tehnologija	(c) 20 80	(d) 90 90

Tablica 6. Natjecanje operatora u razvijanju FTTH [40]

Na primjeru tablice 6., kada se dva operatora bore za kupca, oboje mogu ili zadržati dosadašnju tehnologiju ili primijeniti FTTH-mrežu, što je skuplje. Postoje četiri moguća scenarija s isplatama povezane u slici i označene sa (a), (b), (c) i (d). U (a) scenariju, oba operatora prelaze na FTTH-mrežu. U scenarijima (b) i (c) jedan od operatora prelazi na FTTH-mrežu, dok u (d) scenariju niti jedan operator neće mijenjati svoju strategiju.

6.5. Alati za provedbu metoda tehnološko – ekonomske analize

Postoje razni alati za provedbu poslovnog modela u telekomunikacijama. Ovdje će biti opisani sljedeći alati: programski alat Mactor, programski alat Vensim, programski alat Crystal Ball i programski alat Gambit.

Metoda	Alat	Pomoćni alat
Mactor	Mactor	Microsoft Excel
Dinamika sustava	Vensim	–
Analiza pravog izbora	Crystal Ball	Microsoft Excel
Teorija igara	Gambit	–

Tablica 7. Metode i alati za tehnološko-ekonomsku analizu [40]

Svaki programski alat koristi se za provedbu određene metode, kao što je prikazano u tablici 7. Metoda Mactor koristi programski alat Mactor i za njegov rad potreban je pomoćni alat Microsoft Excel. Ista situacija je kod programskog alata Crystal Ball koji se koristi kod analize pravog izbora. Metoda koja je zasnovana na dinamici sustava koristi programski alat Vensim. Programski alat Gambit koristimo kod teorije igara. Bitno je napomenuti kako su navedeni programski alati zastarjeli i kao takvi na određenim operativnim sustavima ih nije moguće instalirati i ne funkcioniraju. Preporuča se korištenje operativnog sustava Windows 7 ili starijih i operativnog sustava Linux.

6.5.1. Programski alat Mactor

Alat Mactor koristi se za provedbu metode Mactor. Razvio ga je Europski centar za informacijsku i komunikacijsku tehnologiju - EICT (**EICT** – *European Center of Information and Communication Technologies*). Koristi se kao dodatak alatu Microsoft Excel. Verzija koja je opisana u diplomskom radu je Mactor 1.1.0.0.

Ulazni parametri koji su potrebni su, [40]:

- Položaj svakog sudionika u svakom cilju;
- Utjecaj svakog sudionika na drugog sudionika.

Ulazni parametri se unose u obliku broja u intervalu $[-2,2]$ ili $[0,3]$. Izlazni podaci koji se dobiju ovim alatom su, [40]:

- Vrijednosna matrica konvergencije položaja i moći;
- Vrijednosna matrica divergencije položaja i moći.

Ulazni parametri unose se u obliku liste sudionika, ishoda i ciljeva, 2MAO i MID. Unos podataka može se opisati u pet koraka, [40]:

1. Sudionici – definicija i opis svakog sudionika;
2. Ishod i cilj – opis ishoda i ciljeva;
3. MAO – matrica pozicije sudionika u svakom cilju;
 - 3.1. 2MAO – vrijednosna matrica pozicije sudionika;
4. MID – matrica izravnih utjecaja, tj. prividni odnos moći;
 - 4.1. MIDI – matrica izravnih i neizravnih utjecaja, tj. realni odnos moći;
 - 4.2. 3MAO – vrijednosna matrica pozicije sudionika i odnosa moći;
5. CAA – matrica konvergencija, tj. broj ciljeva u kojima dva sudionika konvergiraju;
 - 5.1. DAA – matrica divergencija, tj. broj ciljeva u kojima dva sudionika divergiraju;
 - 5.2. 2CAA – vrijednosna matrica konvergencija, tj. konvergencija između dva sudionika u svim ciljevima;
 - 5.3. 2DAA – vrijednosna matrica konvergencija, tj. divergencija između dva sudionika u svim ciljevima;
 - 5.4. 3CAA – vrijednosna matrica konvergencija položaja i moći, tj. ponderiran intenzitet konvergencije između dva sudionika u svim ciljevima;
 - 5.5. 3DAA – vrijednosna matrica divergencija položaja i moći, tj. ponderiran intenzitet divergencije između dva sudionika u svim ciljevima

6.5.2. Programski alat Vensim

Dinamika sustava iz aspekta tehnološko-ekonomske analize odnosi se na praćenje i analiziranje određenih aktivnosti u određenom vremenu. Za provedbu metode zasnovane na dinamici sustava koristi se programski alat Vensim. Verzija koja je korištena u diplomskom radu je Vensim PLE 7.1.

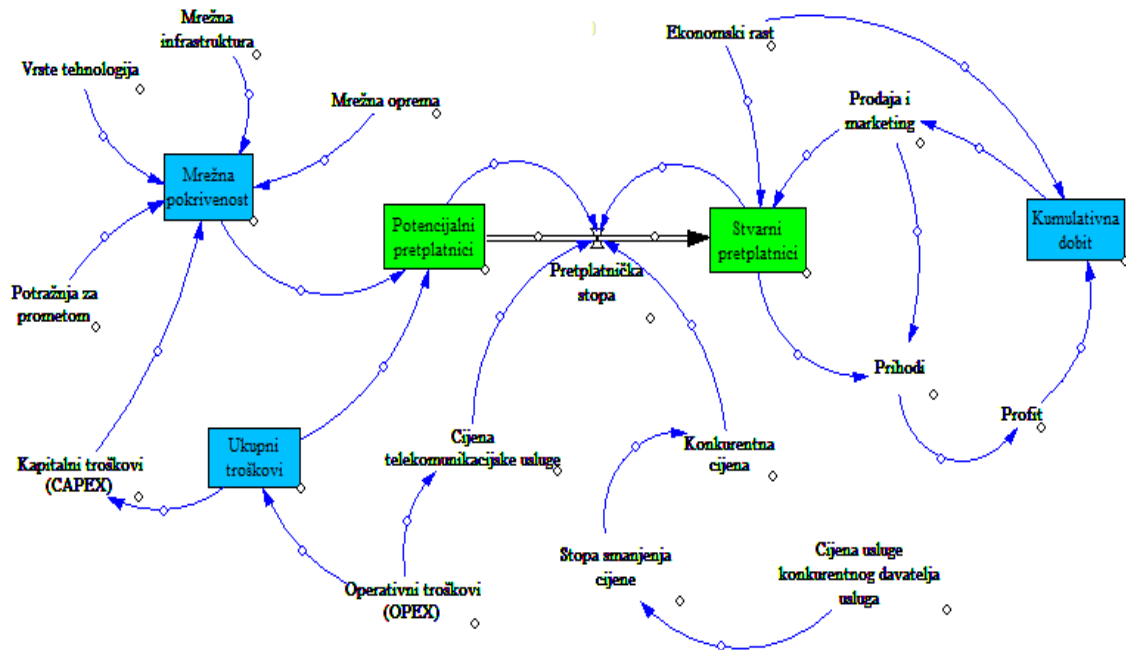
Programski alat Vensim je simulacijski softver koji je razvijen od strane tvrtke Ventana Systems i služi za vizualno modeliranje. Alat Vensim prvenstveno podržava kontinuiranu simulaciju, odnosno simulaciju baziranu na metodi dinamike sustava. Vensim olakšava stvaranje telekomunikacijskih modela, dokumentiranje sustava, simulaciju događanja u sustavima, analiziranje i optimiziranje sustava. Grafičko sučelje je jednostavno i intuitivno, te omogućava lako stvaranje simulacijskih modela na principu uzročno-posljedičnih veza (engl. *Stock and Flow*) ili na principu razine i promjene (engl. *Level and Rate*), [44].

Ulazni parametri koji su potrebni:

- CAPEX (Kapitalni izdaci, troškovi za stvaranje buduće pogodnosti);
- OPEX (Troškovi nastali u toku poslovanja);
- Cijena konkurencije i
- Mrežna pokrivenost.

Izlazni podaci alata su:

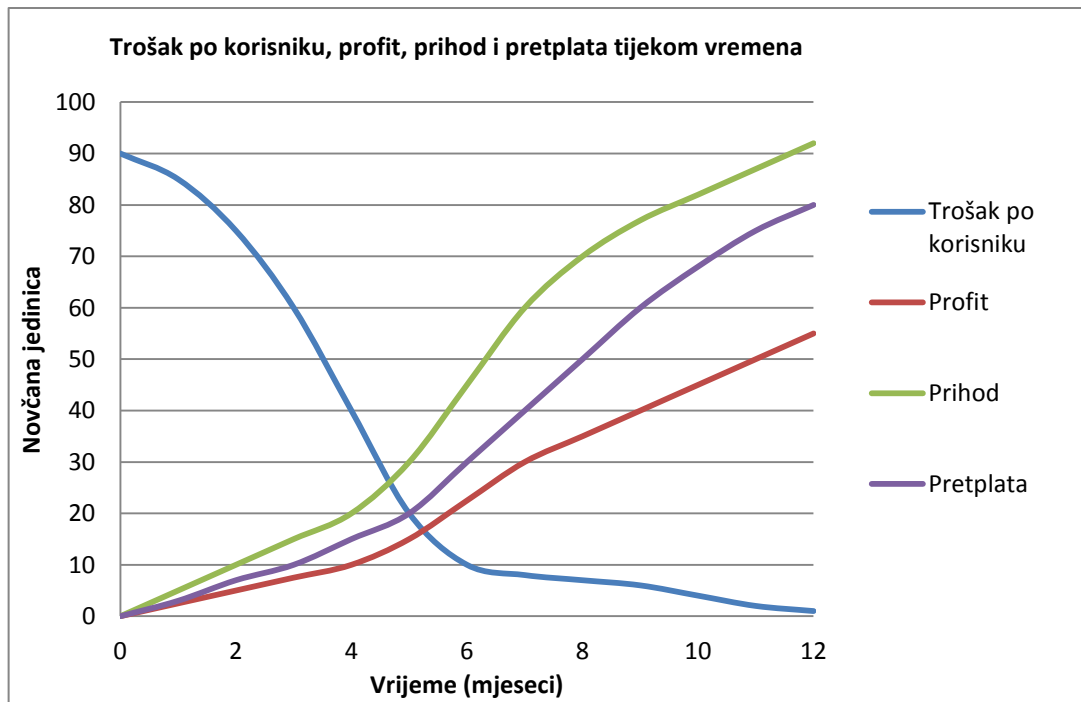
- Trošak po korisniku;
- Pretplatnička stopa;
- Prihod i
- Profit.



Slika 12. Primjer modela u programskom alatu Vensim

Ulazni parametri unose se u grafičko sučelje, a izlazni podaci su prikazani u obliku grafikona i tablica. Na slici 12. je prikazan model za analizu rasta pretplate, profita, prihoda i troška po korisniku tijekom vremena.

Ovaj model je razvijen na pretpostavci da je broj pretplatnika 100 i da kapitalni troškovi iznose 70 % od ukupnog troška. Zaključak je kako se stopa pretplate smanjuje s porastom cijene usluga, a povećava s povećanjem pokrivenosti mrežom, gospodarskim rastom i marketinškim aktivnostima.



Slika 13. Načelni prikaz rezultata u programskom alatu Vensim

Rezultat je prikazan u obliku grafikona na slici 13., i označuje trošak po korisniku, profit, prihod i pretplatu (promatrano s pozicije telekomunikacijskog operatora). Tijekom vremena trošak po korisniku pada jer su ukupni troškovi manji što znači kako su i operativni troškovi manji. Prihod i profit tijekom vremena rastu jer su troškovi manji i pretplatnička stopa se povećava. Razlika između prihoda i profita su ukupni troškovi koji su bili potrebni za izgradnju širokopojasne pristupne mreže.

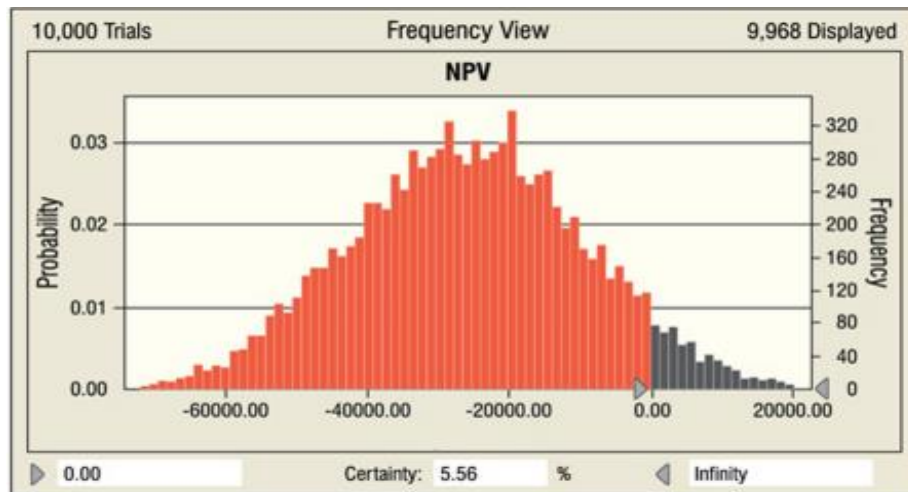
6.5.3. Programski alat Crystal Ball

Crystal Ball je alat koji se koristi za metodu pravog izbora zasnovanu na *Monte Carlo* simulaciji. *Monte Carlo* simulacija temelji se na predviđanju ponašanja pomoću slučajnih varijabli. Alat Crystal Ball razvila je tvrtka Oracle za analizu rizika, predviđanja, simulaciju i optimizaciju, [40].

Verzija programskog alata Crystal Ball 11.1.2.4.850 korištena je u diplomskom radu. Crystal Ball automatski izračunava više različitih „što ako“ slučajeva. Sprema ulaze i rezultate svakog izračuna kao pojedinačni scenarij, analizom tih scenarija otkriva se raspon mogućih ishoda, njihova vjerojatnost pojavljivanja i koji ulaz ima najviše utjecaja na model. Programski alat Crystal Ball kombinira analizu rizika i optimizacije, te pomaže korisnicima razumjeti rizik i svrha mu je korisniku prikazati ispravnu odluku. U novijim verzijama programskog alata Crystal Ball potpuno je integriran Microsoft Excel, pomoću toga proširuju se mogućnosti proračunskih tablica u Microsoft Excelu, [40].

Ulazni parametri programskog alata Crystal Ball su, [45]:

- Troškovi opreme;
- Stopa usvajanja i
- Prosječan prihod po korisniku.



Slika 14. Načelni prikaz rezultata u programskom alatu Crystal Ball

Na slici 14. prikazana je analiza osjetljivosti implementacije optičke mreže GPON u ruralnom području u razdoblju osam godina. Ulazni parametri koji su uneseni u Microsoft Excel su stopa usvajanja, odnosno broj korisnika koji iznosi 250 korisnika, prosječni godišnji prihod po korisniku koji iznosi 400 novčanih jedinica, kapitalni i operativni troškovi koji iznose 450000 novčanih jedinica. Rezultat je neto sadašnja vrijednost (NPV), odnosno vjerojatnost da neto sadašnja vrijednost bude veća od nule je 5,56 %, što implementaciju optičke mreže GPON čini izuzetno riskantnom.

Općenito ulazni parametri unose tako da se vrijednosti upišu u Excel tablicu. Kao rezultat se dobije raspodjela vjerojatnosti prikazana pomoću grafova i tablica. Programski alat Crystal Ball se izvodi pomoću programa Microsoft Excel.

6.5.4. Programski alat Gambit

Gambit je *open source* zbirka alata tvrtke Programski alat Gambit čija je osnovna svrha graditi, analizirati i istraživati modele igara. Alat Gambit je alat koji radi na platformama Microsoft Windows, Mac OS X i Linux, [46]. Verzija koja je korištena u diplomskom radu je Gambit 15.1.1.

Grafičko korisničko sučelje programskog alata Gambit omogućuje „integrirano razvojno okruženje“ koje pomaže vizualno konstruirati igre i istražiti njihove glavne strateške značajke. Grafičko sučelje uglavnom je namijenjeno interaktivnoj konstrukciji i analizi malih

i srednjih igara. Programski alat Gambit je idealan za korisnike koji uče o temeljima teorije igara ili za korisnike koji rade prototipe igara.

The screenshot shows the Gambit software interface. At the top, the title bar reads "Gambit - [C:\Users\Home\Desktop\diplomski.gbt] Odabir širokopojasne pristupne tehnologije". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Format", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area displays a game tree for two players: "Operator 1" (red) and "Operator 2" (blue), both with a payoff of 200/3. The game tree shows two choices for each operator: "FTTH" and "TT". The resulting payoff matrix is as follows:

	FTTH	TT
FTTH	40, 40	80, 20
TT	20, 80	90, 90

Below the matrix, the "Profiles" section shows "All equilibria by enumeration of mixed strategies in strategic game". The table of equilibria is:

#	1: FTTH	1: TT	2: FTTH	2: TT
1	1	0	1	0
2	0	1	0	1
3	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$

Slika 15. Načelni prikaz rezultata u programskom alatu Gambit

Programski alat Gambit koristi se za provedbu teorije igara. Na slici 15. prikazani su rezultati programskog alata Gambit. U ovome slučaju operator 1 i operator 2 su dva konkurenta koja se natječu za korisnika. Oba dva operatora mogu zadržati trenutnu tehnologiju, recimo DSL ili primijeniti FTTH tehnologiju što je skuplje. Ulazni parametri su ishodi različitih igrača za određeni skup strategija, a unose se u obliku matrice ili stabla. Postoje četiri moguća scenarija s isplatama. Oba operatora prelaze na FTTH tehnologiju, jedan od operatora prelazi na FTTH tehnologiju dok drugi ostaje na trenutnoj tehnologiji i niti jedan operator ne mijenja trenutnu tehnologiju. Rezultat je prikazan tako da je označena najvjerojatnija i najbolja strategija.

6.6. Usporedba alata za tehnološko – ekonomsku analizu

U tablici 8. Uspoređeni su programski alati Mactor, Vensim, Crystal Ball i Gambit. Elementi usporedbe podijeljeni su u četiri podskupine: generalne specifikacije, tehničke specifikacije, tehnološke specifikacije i ekonomske specifikacije.

Elementi usporedbe	Mactor	Vensim	Crystal Ball	Gambit
Naziv tvrtke/osnivača	François Bourse i Michel Godet	Ventana systems, Inc.	Oracle corporation	Profesor Theodore L. Turocy
Godina izdavanja	1990.	1991.	1987.	1994.
Posljednja verzija	2.0.2	7.2	11.1.2.4	16.0.1
Godina/mjesec izdavanja zadnje verzije	Kolovoz 2008.	Studeni 2017.	Svibanj 2015.	Svibanj 2014.
Operativni sustav	Windows XP+, Linux	Windows XP+, Linux	Windows 98+, Linux	Windows 98+, Linux, Mac
Softverska licenca	Open source	Proprietary	Proprietary	Open source
Programski jezik	Java, XML	C	C#	Python
Optimizacija	Low	Medium	Low	Low
Vizualizacija	High	Medium	Medium	Low
Simulacija	Low	High	High	Medium
Životni ciklus troškova	Planiranje	Održavanje	Planiranje, održavanje	Planiranje, održavanje, razgradnja
Kategorija troška	Ulaganje	Održavanje	Ulaganje	TCO

Tablica 8. Usporedba alata za tehnološko-ekonomsku analizu

U generalnim specifikacijama prikazani su neku od osnovnih parametara kao što je naziv tvrtke ili osnivača pojedinog alata. Također prikazana je godina izdavanja i može se primjetiti kako su svi alati implementirani devedesetih godina. Zatim su navedene posljednje dostupne verzije navedenih alata. Na kraju je navedena godina i mjesec izdavanja zadnje navedene verzije

Tehničke specifikacije prikazane su u drugoj podskupini. Navedeni su operativni sustavi u kojima navedeni alati funkcioniraju. Navedeni su samo oni operativni sustavi koji su u ovom radu korišteni. Može se vidjeti kako su pojedini alati *open source*, odnosno imaju otvoreni kod, dok je drugi dio alata *proprietary*, odnosno vlasnički i nemaju otvoreni kod.

U trećoj podrgrupi navedene su tehnološke specifikacije kao što su optimizacija, vizualizacija i simulacija. *Low*, *medium* i *high* su ocjene koju su dane alatima po subjektivnom mišljenju. Po ocjenama najbolji alat je Vensim, dok je najgori alat Gambit.

Također je navedeno u kojem životnom ciklusu troškova mreže (planiranju, održavanju ili razgradnji) se pojedini alat koristi i u kojoj kategoriji troškova koji utječu na ukupan trošak vlasništva (ulaganje, održavanja ili TCO) se koristi pojedini alat.

Programski alat Mactor služi za provođenje metode Mactor pomoću koje se vidi međusoban utjecaj sudionika i odnos sudionika i raznih ciljeva. Koristi se kod planiranja mreže jer je potrebno dobro rasporediti ljudske resurse odmah na početku projekta. Praćenje projekta tijekom vremena najbolje se provodi programskim alatom Vensim, stoga se on koristi u fazi održavanja. Za analizu pravog izbora s obzirom na moguće rizike koristi se programski alat Crystal Ball u fazi planiranja i održavanja mreže. Programski alat Gambit se koristi za teoriju igara, gdje se gleda interakcija između tzv. igrača (konkurenata na telekomunikacijskom tržištu). Neke od strategija koje se primjenjuju u teoriji igara su uvođenje novih tehnologija ili zaustavljanje razvoja, pa se alat Gambit koristi kroz tri faze životnog ciklusa mreže: planiranje, održavanje i rušenje.

U ovom diplomskom radu uspoređeno je nekoliko softverskih alata i simulatora koji se koriste unutar telekomunikacija pri tehnološko-ekonomskoj analizi. Prikazane su neke prednosti i neki nedostaci alata iz subjektivnog pogleda. Konačno, alati kao što su Mactor, Vensim, Crystal Ball i Gambit nude nova iskustva i poboljšavaju stečeno znanje.

7. Sustavno planiranje širokopojasnih pristupnih mreža

Korisnički zahtjevi za povećanim kapacitetima u postojećim telekomunikacijskim mrežama te predstojeće uvođenje cijele palete širokopojasnih usluga uvjetovali su potrebu za izgradnjom nove javne širokopojasne pristupne mreže. Stoga je određivanje optimalne tehnologije za izgradnju širokopojasnih pristupnih mreža postalo jedno od najvažnijih pitanja s kojim se danas sučeljavaju javni telekomunikacijski operatori. Naime, poznato je kako optički medij omogućuje prijenos podataka najvećim brzinama. Međutim, potpuna zamjena postojeće klasične pristupne mreže optičkom ekonomski je neprihvatljiva. Stoga se u razmatranje uzimaju razni prijelazni modeli koji postupno približavaju optiku korisnicima i time zadovoljavaju njihove rastuće potrebe za velikim brzinama i za širokopojasnim uslugama. Bez obzira na tehnologiju koja će biti primijenjena za realizaciju pojedinog modela, osnovni podaci koji moraju biti na raspolaganju tijekom planiranja širokopojasnih pristupnih mreža su broj i kapacitet budućih širokopojasnih pristupnih uređaja, [47].

Može se pretpostaviti da broj i kapacitet širokopojasnih pristupnih uređaja odgovara postojećoj konfiguraciji korisnika i njihovim karakteristikama. Sukladno tome evidentna je različitost pristupnih mreža u gradskim područjima: poslovnim i rezidencijalnim dijelovima grada, te u prigradskim i ruralnim područjima. U istraživanjima provedenima u Odsjeku za razvoj i planiranje TKC-a Zagreb, izvršena je statistička analiza postojeće telefonske pristupne mreže na području grada Zagreba. Tom su prigodom odvojeno analizirana poslovna i rezidencijalna područja grada, te njihove međusobne kombinacije, [47].

Prema tome, uz određeno skaliranje rezultata dobivenih na osnovi analize postojeće telefonske pristupne mreže, moguće je predvidjeti broj i kapacitet budućih širokopojasnih pristupnih uređaja bez obzira na to planira li se korisnicima ponuditi npr. ISDN, ATM ili $n \times 2$ Mbit/s priključak na optičku mrežu. Prikladnom statističkom analizom podataka o zauzeću parica postojeće telefonske pristupne mreže može se doći do vrlo zanimljivih zakonitosti. Pored tehničkih podataka, svaki zapis o zauzeću parice ima naziv korisnika i njegovu adresu. Na osnovi tih podataka moguće je napraviti kvantitativnu analizu podataka o korisnicima na određenoj adresi i o pripadajućem broju telefonskih priključaka. Potrebno je napomenuti kako je nužno odvojeno tretirati korisnike koji su istog naziva, ali se nalaze na različitim adresama, [47].

Nužan preduvjet za planiranje pristupnih širokopojasnih mreža jest određivanje broja i kapaciteta budućih širokopojasnih pristupnih uređaja. Kvantitativna analiza podataka o korisnicima na određenoj adresi i pripadajućem broju telefonskih priključaka daje gustoću razdiobe $f(x)$ koja nam predočava koliko ima korisnika koji imaju samo po jedan telefonski priključak, koliko ih je s dva telefonska priključaka, itd, [47].

Naime, svako se ulaganje može podijeliti na fiksni i varijabilni dio. Fiksni su dio ulaganja u ovom slučaju sredstva utrošena za uključenje u rad širokopojasnog čvora u razmatranoj centrali. Varijabilni dio ulaganja prigodom izgradnje širokopojasne pristupne mreže ovisi o BrPU - broju instaliranih pristupnih uređaja (koji ovisi o prekrivanju broja

korisnika PBK) i o KapPU - ukupnom kapacitetu instaliranih pristupnih uređaja (koji, pak, ovisi o prekrivanju kapaciteta korisnika PKK), [47].

Dodatno se mogu uvećati fiksni i varijabilni dijelovi investicije s rashodima koji su posljedica operativnih troškova tijekom određenog vremena eksploatacije. S druge je strane povrat investicije moguć jedino kroz eksploataciju ukupnog instaliranog kapaciteta KapPU koji ovisi o prekrivanju kapaciteta korisnika PKK, [47].

Na osnovi navedene gustoće razdiobe mogu se definirati parametri prekrivanja koji se kreću između 0 i 100 posto, a ovisni su o zadanom kriteriju (odluci) k : u prekrivanje broja korisnika: $PBK(k)$ i u prekrivanje kapaciteta korisnika: $PKK(k)$, [47].

Bakrena parica stigla je gotovo do svog limita, dok su potrebe za sve većim brzinama korisnika neminovne. Kako su troškovi investiranja u FTTx infrastrukturu toliko visoki da ih čak i donedavni monopolisti nisu u stanju financirati te osigurati povrat investicija u uobičajenom roku, sve se više traže različiti načini sufinanciranja, [48].

Već je neko vrijeme sasvim jasno da telekom operatori diljem svijeta donose odluke (ili će ih donijeti uskoro) o uključivanju postojećih paričnih lokalnih petlji u svoje širokopojasne pristupne mreže sljedeće generacije. S obzirom na to da krajnji korisnici postaju sve zahtjevniji glede prijenosnih brzina, ADSL bi mogao, unatoč novijim inačicama ADSL2 i ADSL2+, iskazati slabe performanse u složenoj okolini u kojoj je potreban istovremeni prijenos govorne telefonije, interaktivnog videa i brzih podatkovnih usluga na veće udaljenosti između krajnjih korisnika i lokalne centrale, [48].

Nužni elementi za projektiranje širokopojasnih mreža mogu se (uz odgovarajuće skaliranje) izravno odrediti iz parametara prekrivanja:

- u broj širokopojasnih pristupnih uređaja - iz prekrivanja broja korisnika (PBK) i ,
- u kapacitet širokopojasnih pristupnih uređaja - iz prekrivanja kapaciteta korisnika (PKK).

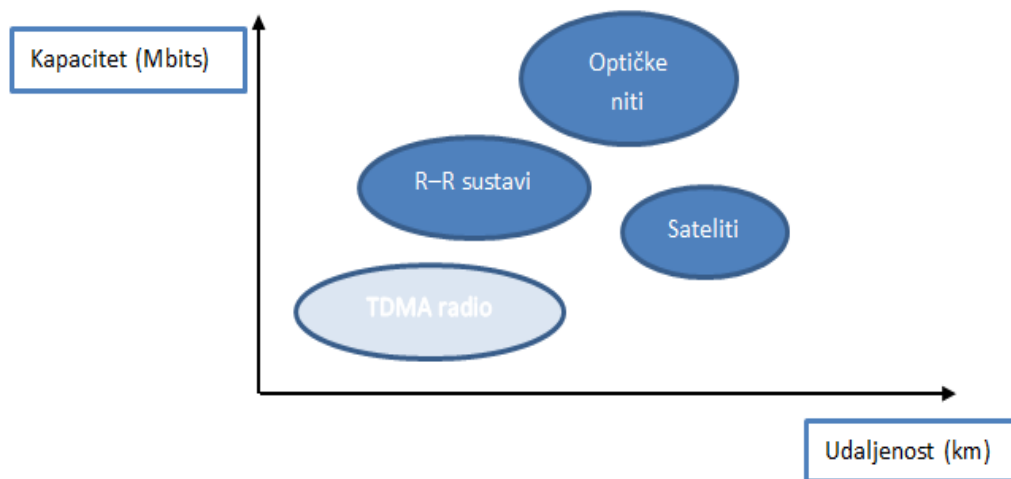
Stoga bi poznavanje analitičkih modela za $PBK(k)$ i $PKK(k)$ znatno olakšalo donošenje odluka prigodom planiranja novih širokopojasnih pristupnih mreža. Naime, umjesto uzastopnog provođenja statističkih analiza za svaki različiti kriterij k , u tom bi slučaju bilo dovoljno samo uvrstiti vrijednost za kriterij k u odgovarajuće analitičke izraze, [47].

U planiranju se pretpostavljaju i procjene o očekivanim ekonomskim učincima uvođenja nove usluge. Svako se ulaganje može podijeliti na fiksni i varijabilni dio. Fiksni su dio ulaganja u ovom slučaju sredstva utrošena za uključenje u rad širokopojasnog čvora u razmatranoj centrali. Varijabilni dio ulaganja prigodom izgradnje širokopojasne pristupne mreže ovisi o BrPU - broju instaliranih pristupnih uređaja (koji, pak, ovisi o prekrivanju broja korisnika PBK) i o KapPU – ukupnom kapacitetu instaliranih pristupnih uređaja (koji, pak, ovisi o prekrivanju kapaciteta korisnika PKK). Dodatno se mogu uvećati fiksni i varijabilni

dijelovi investicije s rashodima koji su posljedica operativnih troškova tijekom određenog vremena eksploatacije, [47].

Potpuna pokrivenosti brzim širokopojasnim pristupom ambiciozan je cilj koji zahtijeva izgradnju pristupnih širokopojasnih mreža sljedeće generacije (NGA) na cijelom području Hrvatske. U Hrvatskoj prevladava širokopojasni pristup Internetu putem xDSL tehnologije koji pruža većina operatora, ali da bi se omogućio značajan kvalitativni iskorak (engl. *step change*) u dostupnosti širokopojasnog interneta priključaka širokopojasnog i pristupnim brzinama operatori će morati nastaviti ulaganja u NGA infrastrukturu.

Vlada Republike Hrvatske naglašava da je potrebno obratiti pažnju na ruralna područja, u kojima je širom svijeta razvijenost elektronskih komunikacija na nižem nivou nego u urbanim područjima, budući da nejednakosti (digitalni jaz) između pojedinih hrvatskih regija te između različitih korisničkih zajednica u zemlji trebaju biti prevladane ili barem ublažene, [28].



Grafikon 8. Planiranje mreže u ruralnim područjima [30]

Podjela se pravi prema vrstama pretplatnika, odnosno:

- gusto naseljeno područje s uslugama fiksne mreže, gusto naseljeno područje s uslugama koje omogućavaju određeni stupanj mobilnosti
- relativno rijetko naseljeno područje, prikazano grafikonom 8.
- vrlo rijetko naseljeno područje.

7.1. Strategija razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj

Vlada Republike Hrvatske utvrđuje da je razvoj infrastrukture i usluga širokopojasnog pristupa internetu, brzinama većim od 30 Mbit/s, od interesa za Republiku Hrvatsku i jedan od preduvjeta razvoja suvremenog gospodarstva. Strategijom razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. Do 2020. godine Vlada Republike Hrvatske daje snažan politički i djelatni poticaj stvaranju uvjeta za ubrzavanje razvoja brzog širokopojasnog

pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj i dostizanju razine njegove dostupnosti i korištenja jednakih prosjeku Europske unije, do kraja 2020. godine, [49].

Istovremeno, Strategija stavlja naglasak i na potrebu osiguranja dostupnosti širokopojasnog pristupa s brzinama većim od 100 Mbit/s, kako bi razvoj infrastrukture širokopojasnog pristupa pratio i razvoj usluga i aplikacija kojima su, za nesmetani rad, potrebne brzine širokopojasnog pristupa veće od 100 Mbit/s, što uključuje i simetričnost pristupnih brzina, [49].

U području razvoja širokopojasnog pristupa na razini Europske unije Digitalna agenda za Europu donijela je konkretne mjere i ciljeve te preporučene rokove za ispunjavanje tih ciljeva, kako bi se ostvarile najveće pogodnosti od takva razvoja za gospodarstvo i stanovništvo Europske unije, [49].

Stupovi Digitalne agende za Europu su sljedeći, [49]:

1. Jedinstveno digitalno tržište;
2. Unaprjeđenje interoperabilnosti i standarda;
3. Jačanje povjerenja u on-line i sigurnosti;
4. Promicanje brzog i ultra-brzog pristupa internetu za sve;
 - a) osnovni pristup pokrivenost: 100% stanovništva EU do 2013. godine,
 - b) brzi pristup (30 Mbit/s ili više) pokrivenost: 100% stanovništva EU do 2020. godine i,
 - c) ultra-brzi pristup (100 Mbit/s ili više) korištenje: 50% kućanstava EU do 2020. godine;
5. Investicije u istraživanje i razvoj;
6. Promicanje digitalne pismenosti, vještina i digitalne uključenosti i,
7. Koristi za europsko društvo koje omogućava ICT.

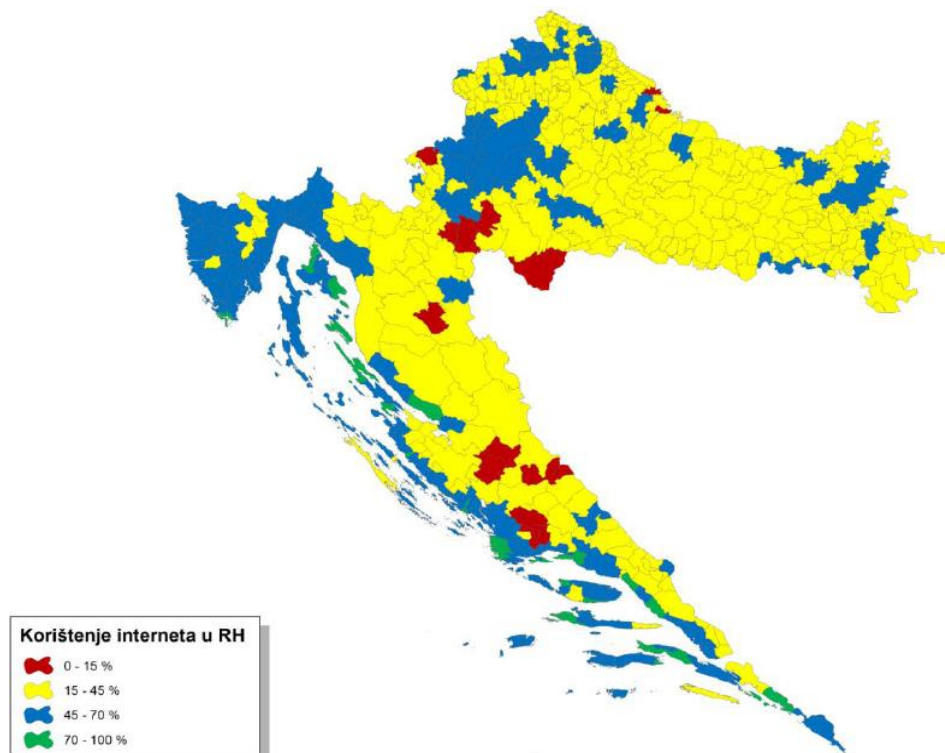
Države članice Europske unije u posljednjih nekoliko godina, usporedno o naporima Europske komisije u promicanju razvoja širokopojasnog pristupa, samostalno donose nacionalne planove i strategije razvoja širokopojasnog pristupa, [49].

Nacionalni planovi i strategije razlikuju se od članice do članice, pri čemu se mogu uočiti sljedeći zajednički trendovi, [49]:

- planovi i strategije odnose se na razdoblje od tri do pet godina za osnovni širokopojasni pristup, te sedam i više godina za brzi i ultra-brzi širokopojasni pristup;
- ciljevi su postavljeni u odnosu na pokrivanje određenog postotka stanovništva, odnosno kućanstava širokopojasnim pristupom određene ili najmanje brzine;

- ciljevi se razlikuju za osnovni širokopojasni pristup i brzi, odnosno ultra-brzi širokopojasni pristup;
- planovi i strategije promiču, u svrhu ostvarivanja navedenih 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 i,
- osigurana su financijska sredstva kojima se ostvaruju zacrtani ciljevi.

U Hrvatskoj 83% ukupnog broja korisnika širokopojasnog pristupa Internetu pristupa putem xDSL tehnologije. Udio širokopojasnog pristupa Internetu realiziran putem kablovske mreže u Hrvatskoj iznosi 12%. Udio FTTH/B u Hrvatskoj je 2% dok je udio ostalih tehnologija pristupa iznosi 4% (prosinac 2014. godine). Karta korištenja širokopojasnog pristupa (brzina ≥ 2 Mbit/s) u Republici Hrvatskoj na razini grad/općina, prikazuje veliki digitalni jaz između urbanih i ruralnih područja i prikazan je slikom 16., [49].



Slika 16. Karta korištenja širokopojasnog pristupa u RH (brzina većih od 2 Mbit/s) [49]

Temeljni ciljevi koje Vlada Republike Hrvatske ističe u Strategiji razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020. godine su [49]:

- pokrivenost pristupnim mrežama sljedeće generacije (NGA), koje omogućavaju pristup Internetu brzinama većim od 30 Mbit/s za sve stanovnike i
- najmanje 50% domaćinstava budu korisnici usluge pristupa Internetu brzinom od 100 Mbit/s ili većom.

U Hrvatskoj prevladava širokopojasni pristup Internetu putem xDSL tehnologije koji pruža većina operatora, ali da bi se omogućio značajan kvalitativni iskorak (eng. *step change*) u dostupnosti širokopojasnog interneta priključaka širokopojasnog i pristupnim brzinama operatori će morati nastaviti ulaganja u NGA infrastrukturu.

7.2. Pokazatelji razvijenosti mreže

Važno je pri planiranju mreže definirati osnovni (apsolutni) pokazatelj stupnja razvijenosti mreže, kako bi se lakše mogli postaviti osnovni ciljevi planiranja.

Primjer: osnovni pokazatelji razvijenosti za telefonsku mrežu: broj glavnih telefonskih priključaka GTP (nepokretnih i pokretnih). Vrlo su ilustrativni i tzv. relativni pokazatelji koji pokazuju odnos između dvije veličine, primjerice, [50]:

- broj GTP/100 stanovnika (gustoća GTP);
- broj Internet korisnika/100 stanovnika (gustoća DP) i,
- broj km pari/1 GTP (prosječna duljina pretplatničkog voda) i dr.

U segmentu telefonskih usluga u nepokretnoj mreži prikupljaju se podaci, [50]:

- Broj priključaka;
 - Broj analognih (POTS) priključaka;
 - Broj ISDN BRA i PRA priključaka;
 - Broj priključaka putem internetskog protokola (IP);
 - Broj priključaka putem kabelske mreže;
 - Broj priključaka putem bežičnih tehnologija u nepokretnoj mreži;
 - Broj priključaka putem usluge najma korisničke linije (WLR).
- Promet;
- Prihod i,
- Izgrađenost mreže.
 - Broj udaljenih pretplatničkih stupnjeva;
 - Broj lokalnih telefonskih centrala;
 - Broj tranzitnih telefonskih centrala;
 - Broj međunarodnih telefonskih centrala;
 - Ukupan broj izgrađenih pretplatničkih parica;
 - Ukupan instaliran kapacitet POTS i ISDN BRA i PRA priključaka.

U segmentu telefonskih usluga u pokretnoj mreži prikupljaju se podaci, [50]:

- Broj priključaka;
 - Korisnici GSM mreže;
 - Korisnici UMTS mreže;
 - Korisnici mobilnog Interneta.
- Promet;

- Prihod i,
- Stupanj izgrađenosti mreže.
 - Populacijska pokrivenost mrežom;
 - Geografska pokrivenost mrežom.

U segmentu iznajmljenih mreža i vodova prikupljaju se podaci, [50]:

- Broj iznajmljenih vodova i,
 - Broj iznajmljenih digitalnih vodova SDH;
 - Broj iznajmljenih Ethernet vodova;
 - Broj iznajmljenih vodova ostalih tehnologija (analogni).
- Prihod.

U segmentu usluge televizije prikupljaju se podaci, [50]:

- Broj priključaka kabelaške televizije;
- Broj priključaka televizije utemeljene na IP protokolu;
- Broj priključaka satelitske televizije;
- Prihod i,
- Mreža;
 - Maksimalan broj KTV priključaka (analogni i digitalni);
 - Maksimalan broj IPTV korisničkih priključaka;
 - Broj iznajmljenih posebnih virtualnih kanala za IPTV uslugu.

U segmentu usluga pristupa Internetu prikupljaju se podaci, [50]:

- Broj priključaka prema vrsti korisnika;
- Broj širokopojasnih priključaka - prema vrsti pristupne tehnologije i prema oglašavanju brzini pristupa u dolaznom smjeru (engl. *downstream*);
- Broj fiksnih širokopojasnih priključaka po županijama (neovisno o tehnologiji) za širokopojasni pristup putem vlastite mreže i širokopojasni pristup putem mreže drugog operatora;
- Promet;
- Prihod;
- Broj paketa usluga i,
- Prihod od paketa usluga.

Ukupan broj priključaka širokopojasnog pristupa Internetu uključuje podatke, [50]:

- Broj xDSL priključaka putem vlastite pristupne mreže (ADSL, VDSL, ostalo);
- Broj xDSL priključaka putem izdvojenog pristupa lokalnoj petlji (ADSL, VDSL, ostalo);
- Broj xDSL priključaka putem zajedničkog (dijeljenog) pristupa lokalnoj petlji (ADSL, VDSL, ostalo);

- Broj xDSL priključaka putem usluge *bitstream* pristupa (ADSL, VDSL, ostalo);
- Broj priključaka putem svjetlovodne pristupne infrastrukture (FttH);
- Broj priključaka putem iznajmljenih vodova;
- Broj priključaka putem kabelskih mreža;
- Broj priključaka putem bežičnih tehnologija u nepokretnoj mreži (WiMAX, Wi-Fi *Hot-Spots, Homebox*, ostalo);
- Broj priključaka putem pokretnih mreža (UMTS, HSDPA, i sl.);
- Broj priključaka putem podatkovnih SIM kartica (USB, PC kartica);
- Broj priključaka putem mobilnih telefona i,
- Broj priključaka putem satelitskih veza.

Broj širokopojasnih priključaka prema vrsti pristupne tehnologije i prema oglašavanoj brzini pristupa u dolaznom smjeru (engl. *downstream*) zavisno o brzinama prijenosa (≤ 512 [kbit/s], 512 [Kbit/s] < brzina ≤ 1024 [kbit/s], 1 [Mbit/s] < brzina ≤ 2 [Mbit/s], 2 [Mbit/s] < brzina ≤ 4 [Mbit/s], 4 [Mbit/s] < brzina ≤ 8 [Mbit/s], 8 [Mbit/s] < brzina ≤ 20 [Mbit/s], > 20 [Mbit/s]) su podaci za, [50] :

- xDSL;
- Svjetlovodna pristupna infrastruktura (FttH);
- Pristup putem iznajmljenih vodova;
- Pristup putem kabelskih mreža;
- Fiksni bežični pristup i,
- Pristup putem satelitskih veza.

U navedenoj skupini podataka još se prikupljaju podaci o prosječnoj brzini prijenosa podataka putem pokretne mreže, zemljopisnoj pokrivenosti HSDPA signalom [%] i populacijskoj pokrivenost HSDPA signalom [%], [15].

7.3. Definicija projekata u pristupnim mrežama

Budući da potražnja za priključcima ne može biti u potpunosti točno predviđena (broj priključaka područja potražnje), telekom operatori uvijek nastoje izgraditi odgovarajuću mrežnu infrastrukturu, koja s jedne strane daje operatoru dovoljno fleksibilnosti kako bi odmah reagirao na zahtjeve korisnika, a s druge je strane ekonomski isplativa, bez previše rezervnih kapaciteta, [51].

Mogući scenariji:

- Direktno priključenje korisnika – ne zahtijeva posebno planiranje tehničke izgradnje, ima za cilj izravno priključenje jednog ili više pretplatnika i nisu potrebna dodatna kapitalna ulaganja;

- Mini projekti – potrebne manje intervencije u postojećoj infrastrukturi (proširenje kraka zračne mreže, polaganje kabela, zamjena samonosivog kabela većim kapacitetom, aktiviranje kabela rezerve, ugradnja PCM/PGS, fiksni GSM) i,
- Projekti razvoja mreže – proširenje mreže paralelno s lokalnim općinskim programima razvoja, osiguranje dodatnih kapaciteta, nadgradnja ili zamjena postojeće tehnologije, osiguranje komunikacijske infrastrukture na područjima koja nisu pokrivena i opsežno proširenje mreže.

Izgrađenost mreže uključuje sljedeće podatke:

- Broj udaljenih pretplatničkih stupnjeva;
- Broj lokalnih telefonskih centrala;
- Broj tranzitnih telefonskih centrala;
- Broj međunarodnih telefonskih centrala;
- Ukupan broj izgrađenih pretplatničkih parica i,
- Ukupan instalirani kapacitet priključaka.

7.4. Odabir investicijskog modela

Pri planiranju širokopojasne infrastrukture bitno je izabrati investicijski model koji je definiran prema odnosu tijela javnih vlasti, kao i privatnih poduzetnika, odnosno operatera u projektu. Navedeno se odnosi na investicijske udjele, odgovornost za izgradnju i upravljanje mrežom, te stjecanje i zadržavanje vlasništva nad izgrađenom infrastrukturom, [52].

Danas su najviše u primjeni sljedeći modeli, [52]:

- Model „Odozdo prema gore“ odnosno model lokalne zajednice koje uključuje skupinu krajnjih korisnika u lokalnim zajednicama.
- Privatni DBO¹³ model odnosi se na slučajeve s privatnim operaterima, korisnicima, odnosno potpora gdje se daje pravo izgradnje i upravljanja infrastrukturom.
- Javni model vanjske usluge je sličan DBO modelu, s tim da je razlika da je infrastruktura izgrađena javnim poticajima.
- Model zajedničkog ulaganja se temelju na ugovorima gdje je vlasništvo podijeljeno između privatnog i javnog sektora.
- Javni DBO¹⁴ model je prikladan kada primjena drugih modela omogućuje davanje prednosti pojedinačnim operaterima.

Pri planiranju važno je u obzir uzeti sljedeće čimbenike:

¹³ **Privatni DBO** (engl. *Private Design Build Operate*) – obuhvaća slučajeve u kojima se privatnim operatorima, daje pravo izgradnje i upravljanja infrastrukturom, uz trajno zadržavanje vlasništva nad tako izgrađenom infrastrukturom, [53].

¹⁴ **Javni DBO** (engl. *Public Design Build Operate*) – obuhvaća sve slučajeve u kojima je kompletna provedba izgradnje širokopojasne infrastrukture pod nadzorom tijela javne vlasti, pri čemu vlasništvo nad izgrađenom infrastrukturom ostaje u trajnom javnom vlasništvu, [53].

- Tehnička stručnost jer tehnički stručnjaci moraju biti uključeni u proces planiranja razvoja infrastrukture. U projektu Midtso-enderjylland u Danskoj općine su svoj svjetlovodni master plan načinile na osnovi master plana Centra za planiranje mreže na Sveučilištu Aalborg koji je bio dostupan besplatno. Ovaj je master plan za regiju uštedio oko 25% troškova u odnosu na ono što je bilo prethodno planirano. No, postoje i negativna iskustva osobito kada se stručnost ne koristi učinkovito. Tako je u jednom projektu u Francuskoj mrežni operater morao instalirati više bežičnih odašiljača od objektivno potrebnih, [52].
- Zastarijevanje mrežnih tehnologija je bitno jer tehnološko zastarijevanje mrežnih tehnologija je čest problem u telekomunikacijama, jer se u ovom sektoru tehnologije brzo razvijaju, tako da realizirana investicija, kada se mreža stavi u funkciju, bude zastarjela te se moraju provoditi nadogradnje sustava. Tako npr. kada je u pitanju izbor mrežnog sustava između bakrenih i svjetlovodnih tehnologija neki realizirani projekti već provode nadogradnju sustava. Kada je u pitanju izbor svjetlovodnih tehnologija (FTTC vs FTTH) teško (bez istraživanja) znati što je prikladno rješenje, jer su operateri i u razvijenim tržištima (npr. SAD) usvojili različite strategije (npr. tvrtka Verizon je slijedila FTTH strategiju, a AT&T se odlučila za FTTC), [54].
- Državne mjere poticanja izgradnje širokopojasne infrastrukture mogu uključivati i državne potpore, u skladu s općenitim pravilima o državnim potporama na razini EU-a. Ista pravila detaljnije su razrađena slijedom dosadašnje prakse u državama EU-a te formalizirana unutar smjernica o državnim potporama koja se odnose na brzi razvoj širokopojasnih mreža, a koje su prenesene kroz istoimenu Odluku i u hrvatski pravni sustav. Državne potpore u pravilu su opravdane ako pozitivni učinci primjene potpora, što u kontekstu širokopojasnog pristupa podrazumijeva dostupnost infrastrukture na cijelom nacionalnom području, prevladavaju nad negativnim učincima vezanim uz potencijalno narušavanje tržišnog natjecanja, odnosno davanja prednosti privatnim operatorima korisnicima potpora, [55].

Nadalje, kada se planiraju mreže u ruralnim područjima dizajn lokalnih mreža se odnosi na lokaciju novih centrala, lokaciju RSS. Veličina pretplatničke mreže, kao i veličina spojne mreže i vrste rutiranja i određivanje tandem područja. Planiranje mreže u ruralnim područjima se bazira na određivanju konfiguracijske mreže, odnosno centrale i korisnika, kao i određivanje načina povezivanja budućih pretplatnika s centralom, te dimenzioniranje spojnih vodova između centrala.

Potrebno je naglasiti kao spajanje izoliranih pretplatnika ili manjih skupina na većim udaljenostima od centrale stvara velike troškove. Kada je riječ o udjelima u troškovima investiranja navode se sljedeći načini i prijedlozi kako bi se smanjili troškovi, što je bitno u planiranju širokopojasnih pristupnih mreža.

8. Zaključak

Razvitkom informacijsko komunikacijskih tehnologija pojavila se potreba za što većim brzinama prijenosa informacija između računala i ostalih terminalnih uređaja spojenih u mrežu. Korisnici zahtijevaju što veće brzine, dok pružatelji usluga traže najjeftiniji način ostvarenja tih zahtjeva. Nužan preduvjet za planiranje pristupnih širokopojasnih mreža jest određivanje broja i kapaciteta budućih širokopojasnih pristupnih uređaja te, naravno, zahtjevnosti budućih širokopojasnih usluga koje će se nuditi kao proizvod krajnjim korisnicima.

Navedeni razlozi upućuju na modificiranje postojeće širokopojasne pristupne mreže radi uštede kapitala. Idealno bi bilo dovesti optiku do svakog korisnika i time osigurati veliku brzinu i kvalitetu usluge, no to je istovremeno najskuplja varijanta, pa su operatori odlučili koristiti postojeću POTS infrastrukturu (bakrene parice u obliku lokalne petlje) korištenu za telefonsku mrežu te time krajnjim korisnicima putem ADSL ili VDSL tehnologije ponuditi veće brzine prijenosa kako u *uplinku* tako i u *downlinku*.

Bitni segmenti kod planiranja širokopojasnih pristupnih mreža su tehnološki i ekonomski parametri. Tehnološki parametri vezani su za funkcionalnosti i karakteristike širokopojasnih pristupnih mreža te načine odabira odgovarajućih tehnologija pri planiranju širokopojasnih pristupnih mreža. Ključna tehnološka pitanja odnose se na vrstu mreže i vrstu operatora za kojeg se rade modeli. Ekonomski parametri prikazani su kroz različite vrste troškova, kao što su troškovi izgradnje širokopojasnih pristupnih mreža, tržišni interes za izgradnju, kapitalna ulaganja, operativna ulaganja, troškovi nevezani za telekomunikacijsku tehnologiju i dr.

Veoma bitan dio kod planiranja širokopojasnih pristupnih mreža i njene infrastrukture je zakonodavni okvir odnosno postojeća telekomunikacijska legislativa i standardizacija. Zakonom o elektroničkim komunikacijama (NN 72/17) koji je na snazi od 2017. godine donesene su opće odredbe koje uređuju područje elektroničkih komunikacija. Zakona se moraju pridržavati svi mrežni operatori zbog zaštite korisničkih prava te je HAKOM regulatorno tijelo Republike Hrvatske koje kontrolira i nadzire mrežne operatore u skladu s donesenim zakonom.

Tehnološko-ekonomsku analizu u funkciji planiranja širokopojasnih pristupnih mreža moguće je ostvariti korištenjem više metoda i programskih alata pomoću kojih se omogućuje bolja kontrola tržišta novih i postojećih tehnologija. Kako se u posljednje vrijeme mreže nove generacije razvijaju velikom brzinom, potrebno je korisnicima omogućiti što jednostavniji pristup uslugama. Planiranje nove i održavanje postojeće mreže jako je složen postupak i na njega utječu navedeni tehnološki i ekonomski parametri. Važan aspekt tehnološko-ekonomske analize u sustavnom planiranju širokopojasnih pristupnih mreža je ukupni trošak vlasništva (TCO). Za ulaganje u nove mrežne infrastrukture potrebno je mnogo financijskih resursa, stoga se pružatelji usluga još uvijek odlučuju na korištenje postojeće mrežne infrastrukture. Dobiveni rezultati u diplomskom radu potvrđuju kako je telekomunikacijskom operateru

financijski isplativije održavati postojeću infrastrukturu nego graditi novu, dokaz tome je što ne postoje kapitalni troškovi u tom slučaju. Također kod takve odluke operater uzima u vid društvene parametre (potražnja, dostupnost, interesne skupine), regulatorne parametre (pravo puta, ograničenja i dozvole) i ekološke parametre (oblik terena, klimatski uvjeti).

Metode za provođenje tehnološko-ekonomske analize kao što su metoda Mactor, metoda zasnovana na dinamici sustava, analiza pravog izbora i teorija igara služe za što bolje upravljanje mrežnim, financijskim i ljudskim resursima. Također, potrebno je obuhvatiti sve moguće rizike i smanjiti njihovu vjerojatnost pojavljivanja.

Svaka metoda provodi se određenim programskim alatom. Programski alati kao što su Mactor, Vensim, Gambit i Crystal Ball napravljeni su tako da se mogu na vrlo jednostavan način koristiti te kao takvi daju pregledan opis rezultata. Prilikom njihove instalacije potrebno je voditi brigu o operativnom sustavu na kojem će se instalirati. Zbog svoje starosti pojedini alati ne rade na svim operativnim sustavima. Iako postoji velik broj takvih metoda i alata, i dalje se razvijaju velikom brzinom kako bi se pružateljima telekomunikacijskih usluga omogućila što kvalitetnije i jednostavnije planiranje širokopoljasnih pristupnih mreža.

U cilju planiranja i razvoja novih širokopoljasnih mreža u Republici Hrvatskoj, potrebno je proširiti svijest korisnika o mogućnostima koje širokopoljasne pristupne mreže na novoj mrežnoj infrastrukturi nude. Mogućnosti kao što su veće brzine prijenosa, veći prostorni pristup mreži, manja kašnjenja, manji gubitak paketa i dr. Nadalje, mrežnim operatorima potrebno je podići interes za ulaganja u mrežnu infrastrukturu i planiranje odnosno razvoj novih širokopoljasnih pristupnih mreža u cilju ispunjenja korisničkih zahtjeva. Interes je moguće podići većim brojem korisnika koje operator mora informirati i educirati o mogućnostima svojih usluga koje nudi. Povećanjem broja korisnika koji će biti zadovoljni ponuđenim uslugama koje nudi operater dolazi se do krajnjeg cilja svakog pružatelja usluge a to je prihod odnosno profit.

Literatura

- [1] Lovrek, I.: *Regulatorni aspekti mreža i usluga*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2014.
- [2] Bažant, A. i dr.: *Telekomunikacije – tehnologija i tržište*, Element, Zagreb, 2007.
- [3] Fabeta, T.: *Evolucija širokopolasnih pristupnih mreža*, Revija Ericsson Nikole Tesle, Zagreb, 2007.
- [4] Stojković, N.: *xDSL tehnologije za komunikaciju po bakrenim paricama*, Engineering Review (1330-9587) **23** (2003); 1-11, Zagreb, 2003.
- [5] Stanković, V.: *Implementacija DOCSIS specifikacija*, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Beograd, 2007.
- [6] Širokopolasni pristup preko dalekovoda, internetska stranica: <http://www.interfacebus.com/BPL-Broadband-over-Power-Line.html> (12. 9. 2017.)
- [7] Horak, R.: *Telecommunications and data communications handbook*, The Context Corporation, Wiley-Interscience, New Jersey, 2007.
- [8] Bažant, A.: Osnove prijenosa podataka, internetska stranica: <https://www.fer.hr/download/repository/OPP-2006%5B1%5D.pdf> (18. 8. 2017.)
- [9] WIMAX Forum, internetska stranica: <http://www.wimaxforum.org/> (20. 7. 2017.)
- [10] Šehić, A.: *WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)*, Internacionalni univerzitet Travnik, Saobraćajni fakultet u Travniku, Travnik, 2014.
- [11] Šarić, S., Forenbacher, I.: *Arhitektura telekomunikacijske mreže, autorizirana predavanja, Mobilni komunikacijski sustavi i mreže*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb. (12. 9. 2017.)
- [12] Jurdana, I., Štrlek, M., Kunić, S.: *Wireless Optical Networks – Mobile Communications*, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2013.
- [13] Interferencija valova, internetska stranica: <http://struna.ihj.hr/naziv/interferencija-valova/7992/> (21. 7. 2017.)
- [14] Kolimacija, internetska stranica: <http://struna.ihj.hr/naziv/kolimacija/18106/> (10. 7. 2017.)
- [15] Nižetić, M., Vrdoljak, M.: *Lokalne i pristupne mreže*, Sveučilišni studijski centar za stručne studije, Fakultet elektronike i elektroenergetike, Split, 2010.
- [16] Bažant, A. i dr.: *Osnovne arhitekture mreža*, 2. Izdanje, Element, Zagreb, 2007.

- [17] Bažant, A.: *Širokopoljasni pristup mrežama i uslugama*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2015.
- [18] Hrvatske agencija za poštu i elektroničke komunikacije, internetska stranica: <http://www.hakom.hr/userdocsimages/javnaRasprava/IZ-AT-PD-OPR-Konzultacijski%20dokument-v1.0.pdf> (7. 8. 2017.)
- [19] Hrvatski Telekom (2011.): Izrada i primjena troškovnih modela za nepokretnu i pokretnu mrežu i univerzalnu uslugu, Internetska stranica: https://www.hakom.hr/userDocsImages/javnaraspava/Bernard/907/HT-Odgovori_i_komentari_na_konzultacijski_dokument.pdf (12. 9. 2017.)
- [20] Krasić, D., Ščukanec, A.: *Planiranje transportnih koridora, autorizirana predavanja, Osnove prometnog planiranja i modeliranja*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb. (12. 9. 2017.)
- [21] Amortizacija, internetska stranica: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=2341> (28. 8. 2017.)
- [22] Anuitet, internetska stranica: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=2341> (28. 8. 2017.)
- [23] Backhaul, internetska stranica: <http://www.poslovni.hr/leksikon/backhaul-243> (1. 8. 2017.)
- [24] Hrvatske agencija za poštu i elektroničke komunikacije, internetska stranica: http://www.hakom.hr/userdocsimages/javnaraspava/Microsoft%20Word%20-%20Racunovodstveno%20odvajanje%20i%20troskovno%20racunovodstvo_Final%20_2_.pdf (12. 9. 2017.)
- [25] The European Regulators Group, internetska stranica: <https://www.erg.eu/> (10. 7. 2017.)
- [26] Radonjić Đogatović, V.: *Upravljanje troškovima u telekomunikacionim mrežama*, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd, 2015.
- [27] Križanović, V.: *Tehno-ekonomski model za uvođenje širokopoljasnog pristupa Internetu u ruralnim područjima*, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2014. (12. 9. 2017.)
- [28] Hrvatske agencija za poštu i elektroničke komunikacije, internetska stranica: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2011/Studije/UL-LATOR-SD-AT-HAKOM_studija_ulaganja%20u%20%C5%A0PI-v.1.0..pdf (5. 8. 2017.)
- [29] Analysis Mason (2011.): *Guide to broadband investment*, Final report, internetska stranica: http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/itemdetail.cfm?item_id=7630 (4. 8. 2017.)

- [30] Kavran, Z., Grgurević, I.: Planiranje telekomunikacijskih mreža, nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, internetska stranica: http://estudent.fpz.hr/Predmeti/P/Planiranje_telekomunikacijskih_mreza/Materijali/12_2_Sir_okopojasna_pristupna_mreza.pdf (20. 8. 2017.)
- [31] HAKOM – Pravilnik o tehničkim uvjetima za elektroničku komunikacijsku mrežu poslovnih i stambenih zgrada, članak 24. stavka 8. Zakona o elektroničkim komunikacijama (NN br. 73/2008), internetska stranica: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2011/propisi_pravilnici_zakoni/Pravilnik%20o%20tehni%C4%8Dkim%20uvjetima%20za%20elektroni%C4%8Dku%20komunikacijsku%20mre%C5%BEu%20poslovnih%20i%20stambenih%20zgrada%20NN%20155_09.PDF (17. 7. 2017.)
- [32] ICT Applications, internetska stranica: <http://www.itu.int/en/ITU-D/ICT-Applications/Pages/default.aspx> (28. 7. 2017.)
- [33] BCT Applications, internetska stranica: <http://www.nadta.org/education-and-credentialing/become-a-bct/bct-apply.html> (28. 7. 2017.)
- [34] CCCB, internetska stranica: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1435745/> (28. 7. 2017.)
- [35] Vojković, G.: *Telekomunikacijska legislativa i standardizacija, službeni materijali, Kabelska kanalizacijska infrastruktura i pravo puta.pdf*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.
- [36] Nacionalni CERT, internetska stranica: <http://www.cert.hr/onama> (3. 8. 2017.)
- [37] Zakon o elektroničkim komunikacijama, internetska stranica: <https://www.zakon.hr/z/182/Zakon-o-elektroni%C4%8Dkim-komunikacijama> (30. 8. 2017.)
- [38] Wang, K.; Krauß, S.; Mas, C.; Martin, R.: *Techno-economic assessment studies*, OASE project, Technical report, 2013. internetska stranica: <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/5/249025/080/deliverables/001-OASED53WP5TUM220113v10.pdf> (13. 9. 2017.)
- [39] Dujmić, D.: *Primjena višekriterijskog odlučivanja u odabiru lokacije skladišta*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014. (5. 6. 2018.)
- [40] Tomac, R.: *Alati i metode za tehno-ekonomsku analizu u telekomunikacijskom sektoru*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2012.
- [41] Methods of prospective, internetska stranica: <http://en.lapropective.fr/methods-of-prospective/softwares/60-mactor.html> (12. 9. 2017.)

- [42] A Comparison of System Dynamics (SD) and Discrete Event Simulation (DES), internetska stranica: <https://www.systemdynamics.org/conferences/1999/PAPERS/PARA78.PDF> (12. 9. 2017.)
- [43] Real Options in Telecom Infrastructure Projects – A Tutorial, internetska stranica: https://www.researchgate.net/publication/248386765_Real_Options_in_Telecom_Infrastructure_Projects_-_A_Tutorial (12. 9. 2017.)
- [44] Vensim PLE Quick Reference and Tutorial, internetska stranica: <https://public.wsu.edu/~forda/Vensim%20PLE%20tutorial.pdf> (12. 9. 2017.)
- [45] Monte Carlo simulation in Crystal Ball 7.3 (2008), internetska stranica: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=58c628f7f7b67e639a3e2669&asstKey=AS%3A471314843607040%401489381623169> (12. 9. 2017.)
- [46] Gambit: Software Tools for Game Theory, internetska stranica: <http://www.gambit-project.org/gambit14/gui.html> (12. 9. 2017.)
- [47] Pečnik, M., Sokele, M.: Analitička metoda za planiranje širokopojsnih pristupnih mreža (PDF Download Available) , internetska stranica: https://www.researchgate.net/publication/286109660_Analiticka_metoda_za_planiranje_sirokopojsnih_pristupnih_mreza (15. 8. 2017.)
- [48] New ITU Standard Delivers 10x ADSL Speeds, internetska stranica: <https://www.itu.int/ITU-T/e-flash/017-jun05.html> (13. 8. 2017.)
- [49] Strategija razvoja širokopojsnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020. godine, Zagreb, srpanj 2015. Povjerenstvo za izradu prijedloga Strategije širokopojsnog pristupa u Republici Hrvatskoj, osnovana Rješenjem ministra pomorstva, prometa i infrastrukture od 14. listopada 2014. godine (Klasa: 344-03/14-01/45, Urbroj: 530-06-2-1-14-9) , internetska stranica: <https://esavjetovanja.gov.hr/ECon/MainScreen?entityId=1512> (31. 7. 2017.)
- [50] Kavran, Z., Grgurević, I.: *Planiranje telekomunikacijskih mreža, autorizirana predavanja, Tehnika planiranja telekomunikacijskih mreža*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb. (25. 7. 2017.)
- [51] Kavran, Z., Grgurević, I.: *Planiranje telekomunikacijskih mreža, autorizirana predavanja, Udaljeni pretplatnički stupanj*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb. (31. 7. 2017.)
- [52] Fornefeld, M.; Delaunay, G.; Elixmann, D. : *The Impact of Broadband on Growth and Productivity*, MICUS Consulting GmbH, Düsseldorf, Germany, 2008, internetska stranica: <https://www8.gsb.columbia.edu/citi/sites/citi/files/Panel%203.Martin%20Fornefeld%20paper.pdf> (25. 7. 2017.)

[53] Odabir najpovoljnijih modela financiranja i poticajnih mjera za ulaganja u infrastrukturu širokopojasnog pristupa, internetska stranica:

http://www.mppi.hr/UserDocsImages/Lator_MMPI_studija_final.pdf (25. 8. 2017.)

[54] WIK-Consult (2008.): *The Economics of Next Generation Acces-Final Report*, internetska stranica:

http://www.wik.org/uploads/media/ECTA_NGA_masterfile_2008_09_15_VI.pdf (7. 8. 2017.)

[55] Lator, d.o.o. (2012.) Studija o odabiru najpovoljnijih modela financiranja i poticajnih mjera za ulaganja u infrastrukturu širokopojasnog pristupa, internetska stranica: www.mppi.hr (22. 7. 2017.)

Popis kratica i akronima

ADSL – (engl. *Asymmetric Digital Subscriber Line*), Asimetrična DSL tehnologija

ATM – (engl. *Asynchronous Transfer Mode*), Jezgrena mreža

BEREC – (engl. *Body of European Regulators for Electronic Communications*), Europsko tijelo za regulacije elektroničkih komunikacija

CAPEX – (engl. *Capital expenditure*), Kapitalni troškovi

CEN – (engl. *The European Committee for Standardization*), Europski odbor za normizaciju

CENELEC – (engl. *The European Committee for Electrotechnical Standardization*), Europski odbor za elektrotehničku normizaciju

CEPT – (engl. *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*), Europska konferencija poštanskih i telekomunikacijskih uprava

CERT – (engl. *Computer Emergency Response Team*), Organizacija za očuvanje informacijske sigurnosti javnih informacijskih sustava na internetu u Republici Hrvatskoj

CMTS – (engl. *Cable Modem Termination System*), sustavom koji predstavlja sastavni dio centrale operatora

DOCSIS – (engl. *Data Over Cable Service Interface Specification*), Međunarodni telekomunikacijski standard koji omogućuje prijenos podataka visoke frekvencije na postojeći sustav kabela televizije

DSL – (engl. *Digital Subscriber Line*), Digitalna pretplatnička linija

DSLAM – (engl. *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*), Pristupna mreža sa DSL multipleksorom

DVB-RCS – (engl. *Digital Video Broadcast with Return Channel via Satellite*), Tehnologija za realizaciju širokopojasnog pristupa internetu putem satelitskog prijenosa

DVB-RCT – (engl. *Digital Video Broadcast with Return Channel Terrestrial*), Tehnologija za realizaciju širokopojasnog pristupa internetu putem satelitskog prijenosa

EICT – (engl. *European Center of Information and Communication Technologies*), Europski centar za informacijsku i komunikacijsku tehnologiju

ETSI – (engl. *The European Committee for Standardization*), Europski institut za telekomunikacijske norme

FSO – (engl. *Free Space Optics*), Bežični optički pristup

FTTB – (engl. *Fiber to the Building*), Optika do zgrade

FTTH – (engl. *Fiber to the Home*), Optika do kuće

GPON – (engl. *Gigabit Passive Optical Networks*), Pasivna optička mreža sa većim kapacitetom odnosno brzinom prijenosa podataka

HAKOM – *Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti*

HCF – (engl. *Hybrid Fiber/Coax*), Koaksijalni kabel

ISDN – (engl. *Integrated Services Digital Network*), Simetrična DSL tehnologija

IEC – (engl. *International Electrotechnical Commission*), Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo

ISO – (engl. *International Organization for Standardization*), Međunarodna organizacija za normizaciju

ITU – (engl. *International Telecommunication Union*), Međunarodna telekomunikacijska unija

MAO – (engl. *Matrix of Actors & Objectives*), Matrica ciljeva i sudionika

MDF – (engl. *Main Distribution Frame*), Glavni razdjelnik

MES – (engl. *Master Earth Station*), Glavna zemaljska stanica

MIAM – (engl. *Multi-Issue Actor Model*), Model više sudionika

MID – (engl. *Matrix of Direct Influences*), Matrica direktnih utjecaja

MIDI – (engl. *Matrix of Direct and Indirect Influences*), Matrica direktnih i indirektnih utjecaja

NID – (engl. *Network Interface Device*), Mrežno sučelje

NGA – (engl. *Next Generation Access*), Pristupne mreže nove generacije

NGN – (engl. *New Generation Network*), Mreža nove generacije

NPV – (engl. *Net Present Value*), Skup trenutnih vrijednosti mreže

NSP – (engl. *Network Service Provider*), Davatelj mrežne usluge

ONT – (engl. *Optical Network Termination*), Optički mrežni završetak

ONU – (engl. *Optical Network Unit*), Optička mrežna jedinica

OPEX – (engl. *Operational expenditure*), Operativni troškovi

OTL – (engl. *Optical Line Terminal*), Optički linijski terminal

PDF – (engl. *Probability Distribution Functions*), Funkcija vjerojatnosti distribucije

PLC – (engl. *Power Line Communication*), Komunikacijska tehnologija koja omogućuje slanje podataka preko postojećih kabela

PON – (engl. *Passive Optical Network*), Pasivna optička mreža

RO – (engl. *Real Option*), Metodologija pravog izbora

SD – (engl. *System Dynamics*), Dinamika sustava

SRA – (engl. *Seamless Real-time Data Rate Adaptation*), Prijenos informacija u stvarnom vremenu

TCO – (engl. *Total Cost of Ownership*), Ukupni trošak vlasništva

TDM – (engl. *Time Division Multiplexing*), Vremensko multipleksiranje

UAC – (engl. *Universal Access Concentrator*), Univerzalni pristupni koncentrator

UTP – (engl. *Unshielded Twisted Pair*), Upredena parica

VoD – (engl. *Video on Demand*), Video na zahtjev

VSAT – (engl. *Very Small Aperture Terminal*), Tehnologija za realizaciju širokopojsnog pristupa internetu putem satelitskog prijenosa

WiMAX – (engl. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*), Standard za realizaciju gradskih bežičnih mreža

Popis ilustracija

Popis slika

Slika 1. Lokalna petlja kao linija za pristup PSTN-u [1]	3
Slika 2. Arhitektura DSL sustava [3]	4
Slika 3. Arhitektura koaksijalne mreže [5].....	5
Slika 4. Arhitektura širokopolasne mreže preko dalekovoda [6]	6
Slika 5. Arhitektura širokopolasne optičke mreže [1].....	7
Slika 6. Arhitektura WiMAX sustava [10].....	8
Slika 7. Arhitektura pokretne mreže [11].....	9
Slika 8. Arhitektura satelitskog širokopolasnog pristupa [2]	10
Slika 9. Vrednovanje kriterija u paru prema Saatyjevoj skali	37
Slika 10. Uspoređivanje podkriterija unutar kriterija „tehnološki parametri“	38
Slika 11. Uspoređivanje podkriterija unutar kriterija „ekonomski parametri“	39
Slika 12. Primjer modela u programskom alatu Vensim.....	51
Slika 13. Načelni prikaz rezultata u programskom alatu Vensim	52
Slika 14. Načelni prikaz rezultata u programskom alatu Crystal Ball	53
Slika 15. Načelni prikaz rezultata u programskom alatu Gambit.....	54
Slika 16. Karta korištenja širokopolasnog pristupa u RH (brzina većih od 2 Mbit/s) [48].....	61

Popis grafikona

Grafikon 1. Prikaz tehnološko-ekonomskih parametara za planiranje širokopoljasnih pristupnih mreža	33
Grafikon 2. Životni ciklus troškova mreže [39]	36
Grafikon 3. Kategorija troškova koji utječu na ukupan trošak vlasništva [39]	40
Grafikon 4. Koraci u Mactor analizi [40]	41
Grafikon 5. Simulacija pretplate na telekomunikacijsku uslugu [41]	44
Grafikon 6. Primjena neizvjesnosti i stablo odluke za primjenu u FTTH mreži [39]	46
Grafikon 7. Planiranje mreže u ruralnim područjima [30]	47
Grafikon 8. Prikaz osnovnih kriterija i podkriterija u procesu planiranja i razvoja širokopoljasne pristupne mreže	59

Popis tablica

Tablica 1. Osnovna podjela DSL tehnologija [1].....	11
Tablica 2. Različite vrste troškova za komunikacijske mreže [18].....	23
Tablica 3. Podrška aplikacija prema duljini kanala [30].....	29
Tablica 4. Ovlasti Nacionalnog CERT-a nad hrvatskim internetskim prostorom [36].....	31
Tablica 5. Metode tehnološko-ekonomske analize [39].....	42
Tablica 6. Natjecanje operatera u razvijanju FTTH [39]	48
Tablica 7. Metode i alati za tehnološko-ekonomsku analizu [39].....	49
Tablica 8. Usporedba alata za tehnološko-ekonomsku analizu [39].....	55