Izbor tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima primjenom metode višekriterijskog odlučivanja

Zubec, Marijo

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:119:742630

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marijo Zubec

IZBOR TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA U RURALNIM I SLABO NASELJENIM PODRUČJIMA PRIMJENOM METODE VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 19. travnja 2016.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 3735

Pristupnik: **Marijo Zubec (0135223502)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Izbor tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima primjenom metode višekriterijskog odlučivanja**

Opis zadatka:

Objasniti širokopojasni pristup Internetu i njegove mogućnosti. Prikazati primjenu tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Opisati značajke i moguću primjenu metoda višekriterijskog odlučivanja. U radu se očekuje prijedlog modela višekriterijskog odlučivanja u funkciji izbora tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Za potrebe postavljanja modela potrebno je prepoznati i definirati kriterije, podkriterije i alternative. Temeljem prepoznatih kriterija i podkriterija, koji primjerice mogu biti tehnički (pouzdanost, kompatibilnost, latencija, širina pojasa i sl.), infrastrukturni (raspon pokrivenosti) ili ekonomski (operativni troškovi, povrat investicije i sl.), definiraju se određene alternative koje se mogu ponuditi kao oblik tehnologija pomoću kojih je u ruralnim i slabo naseljenim područjima moguće pružiti širokopojasni pristup Internetu. Neki od tih oblika tehnologija jesu: FTTx tehnologije, širokopojasni pristup putem mobilnih mreža (3G/4G), WiMAX (engl. Worldwide Interoperability for Microwave Access) tehnologija, širokopojasni pristup putem satelitskih sustava, širokopojasni pristup putem vodova elektroenergetske mreže te Wi-Fi sustavi. Primjenom metode višekriterijskog odlučivanja (engl. Analytic Hierarchy Process, kratica AHP) odabrat će se najprihvatljivija alternativa. U diplomskom radu predložit će se model višekriterijskog odlučivanja u funkciji vrednovanja definiranih alternativa.

Zadatak uručen pristupniku: 22. ožujka 2016.

Mentor:

doc. dr. sc. Ivan Grgurević

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

IZBOR TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA U RURALNIM I SLABO NASELJENIM PODRUČJIMA PRIMJENOM METODE VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA

SELECTION OF BROADBAND ACCESS TECHNOLOGY IN RURAL AND SPARSELY POPULATED AREAS USING THE MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Grgurević

Student: Marijo Zubec

JMBAG: 0135223502

Zagreb, rujan 2016.

IZBOR TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA U RURALNIM I SLABO NASELJENIM PODRUČJIMA PRIMJENOM METODE VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA

SAŽETAK

U diplomskom radu istražuje se primjena tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Prema važnosti i karakteristikama širokopojasnih pristupnih tehnologija analiziraju se grupe čimbenika kao potencijalnih kriterija za izbor tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Kao polazna osnova promatraju se trendovi razvoja širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji. Svrha istraživanja je prikazati različite oblike tehnologija širokopojasnog pristupa koje se mogu ponuditi kao alternative korisnicima koji nemaju adekvatan pristup širokopojasnom Internetu. Primjenom metode višekriterijskog odlučivanja odabrat će se najprihvatljivija alternativa.

KLJUČNE RIJEČI: širokopojasni pristup; ruralno područje; slabo naseljeno područje; metoda višekriterijskog odlučivanja

SUMMARY

This master thesis explores uses of technologies of broadband Internet access in rural and sparsely populated areas. According to the importance and characetristics of broadband access technologies groups of factors will be analyzed as potential criteria for selecting the technology of broadband Internet access in rural and sparsely populated areas. Trends of development broadband Internet access in the Republic of Croatia and the European Union are observed as a starting point. The purpose of research is to show different forms of broadband Internet access technologies that can be offered as an alternative to users who do not have adequate access to broadband Internet. By applying the methods of multi-criteria decision-making will be choosed the most appropriate alternative.

KEYWORDS: broadband access; rural area; sparsely populated area; multiple criteria decision making

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. OPĆENITO O ŠIROKOPOJASNOM PRISTUPU 3

2.1. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu bakrenim paricama 6

2.2. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu koaksijalnim kabelima 8

2.3. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu optičkim nitima 9

2.4. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu elektroenergetskim vodovima 11

2.5. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu bežičnim radijskim vezama 12

2.6. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu satelitskim vezama 15

3. PRIMJENA TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA U RURALNIM I SLABO NASELJENIM PODRUČJIMA 17

4. ZNAČAJKE I PRIMJENA METODA VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA 19

4.1. Višekriterijska metoda ELECTRE 20

4.2. Višekriterijska metoda TOPSIS 21

4.3. Višekriterijska metoda PROMETHEE 22

4.4. AHP – analitički hijerarhijski proces 23

4.5. ANP – analitički mrežni proces 27

5. PRIJEDLOG MODELA VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA 30

5.1. Model višekriterijskog odlučivanja 30

5.2. Analiza postavljenih kriterija i alternativa 32

6. VREDNOVANJE I IZBOR TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA .. 35

6.1. Vrednovanje podkriterija 38

6.2. Vrednovanje alternativa 45

6.3. Izbor tehnologije širokopojasnog pristupa 50
7. ZAKLJUČAK..... 56
POPIS LITERATURE 58
POPIS KRATICA 60
POPIS ILUSTRACIJA..... 63

1. UVOD

U današnje vrijeme postoje brojne razlike između urbanih središta, ruralnih i slabo naseljenih područja. Ruralna područja pogođena su brojnim problemima kao što su degradacijski procesi, depopulacija te slabi gospodarski razvoj. Kako bi se ti problemi nastojali ukloniti ili barem smanjiti jedna od metoda je i informatizacija tih područja. Mali broj korisnika, udaljenost od velikih središta te često nepristupačna područja uglavnom ne privlače mrežne operatore kako bi ulagali sredstva u ruralna područja te na taj način pomogli pri gospodarskom razvoju tih područja, a i smanjivanju razlike u odnosu na gradske regije. Pristup širokopojasnom Internetu prvi je korak razvoja ovih područja. Na taj način bi se omogućilo stvaranje novih proizvoda, privlačenje ulaganja kao i otvaranje radnih mjesta. Također, dostupnost širokopojasnog Interneta omogućava rad na daljinu, djelotvorniju i bržu uslugu zdravstvene zaštite, kvalitetnije obrazovanje kao i pristupačnije usluge javne uprave.

Razvojem novih informacijskih i komunikacijskih tehnologija pojavila su se brojna širokopojasna pristupna rješenja koja se mogu ponuditi kao alternative u implementaciji pristupa širokopojasnom Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Upravo tom tematikom bavi se ovaj diplomski rad. Svrha diplomskog rada je prikazati različite oblike tehnologija širokopojasnog pristupa koje se mogu ponuditi kao alternative korisnicima koji nemaju pristup širokopojasnom Internetu. Cilj ovog rada je na temelju prepoznatih kriterija i njihovih podkriterija predložiti određene oblike primjene tehnologija širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Tematika ovog diplomskog rada razložena je kroz sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Općenito o širokopojasnom pristupu
3. Primjena tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima
4. Značajke i primjena metoda višekriterijskog odlučivanja
5. Prijedlog modela višekriterijskog odlučivanja
6. Vrednovanje i izbor tehnologije širokopojasnog pristupa
7. Zaključak

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

U drugom poglavlju dan je prikaz širokopojasnih pristupnih tehnologija, odnosno mogućih alternativnih rješenja te njihovih glavnih karakteristika i značajki koje utječu na izbor kriterija kod višekriterijskog odlučivanja. Kako, na koji način i kada se pojedina pristupna rješenja koriste opisano je u trećem poglavlju.

S obzirom da su ovakvi problemi vrlo složeni, često se za rješavanje istih primjenjuju neke od metoda višekriterijskog odlučivanja. Četvrto poglavlje ovog rada definira i opisuje proces donošenja odluke složenih problema. Također, u ovom poglavlju detaljno su opisane najkorištenije metode višekriterijskog odlučivanja. U ovom radu će se primijeniti AHP metoda višekriterijskog odlučivanja, odnosno analitički hijerarhijski proces.

U sljedećem poglavlju prikazan je prijedlog modela višekriterijskog odlučivanja s obzirom na problem izbora tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Unutar ovog poglavlja izvršena je i detaljna analiza postavljenih kriterija.

Šesto poglavlje rada bavi se vrednovanjem, odnosno međusobnim uspoređivanjem u parovima kriterija, podkriterija i alternativa, a sve kako bi se kao konačno rješenje procesa odlučivanja dobilo optimalno širokopojasno pristupno rješenje za implementaciju u ruralnim i slabo naseljenim područjima.

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

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

2. OPĆENITO O ŠIROKOPOJASNOM PRISTUPU

Ubrzani razvoj informacijsko-komunikacijskih tehnologija u zadnjem desetljeću proizašao je iz želje za pružanjem novih usluga krajnjim korisnicima. Do nedavno prezahtjevne usluge, primjerice video usluge, postale su prihvatljive za efikasan i učinkovit prijenos danas poznatim informacijsko-komunikacijskim tehnologijama. Kako bi se korisnicima osigurao pristup širokom spektru telekomunikacijski interaktivnih i distribucijskih usluga, potrebno ih je povezati sa jezgrenom mrežom. To se postiže implementacijom pristupnih mreža koje se temelje na uspostavljenim kvalitetnim digitalnim vezama.

U današnje vrijeme osnovna karakteristika povezanosti korisnika je globalna prespojenost, odnosno *broadband* - širokopojasnost. Taj pojam se može definirati kao mogućnost da se usluge distribuiraju do svakog korisnika s istom kvalitetom, bez obzira na kojoj se lokaciji korisnik nalazi, [1].

Širokopojasni pristup Internetu omogućuje prijenos podataka velikim brzinama. Prijenos podataka omogućen je u dolaznom smjeru (od Interneta prema korisničkom terminalnom uređaju) i odlaznom smjeru (od korisničkog terminalnog uređaja prema Internetu). Širokopojasni pristup može se okarakterizirati sa sljedećim tehničkim parametrima, [2]: širina frekvencijskog pojasa, asimetričnost[1], kapacitet – dostupna prijenosna brzina, domet te vremensko kašnjenje.

Uporaba širokopojasnog pristupa uvelike je povećala korištenje raznih internetskih usluga visoke kvalitete kao što su internet telefonija, video sadržaji na zahtjev, razni *on-lin*e interaktivni sadržaji kao i usluge koje zahtijevaju prijenos velikih količina podataka u realnom vremenu. Kako bi se svim korisnicima omogućila jednaka količina usluge, definirala se univerzalna usluga širokopojasnog pristupa. Do 1. siječnja 2015. godine univerzalnom uslugom širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj smatrala se brzina prijenosa podataka od najmanje 144 kbit/s. Stupanjem na snagu novog Pravilnika o univerzalnim uslugama u elektroničkim komunikacijama od 1. siječnja 2015. godine operatori univerzalnih usluga obvezni su osigurati da

[1] Asimetričnost se definira kao razlika između raspoloživih širina frekvencijskih pojaseva u dolaznom i odlaznom smjeru.

pretplatnički pristupni vodovi u njihovim elektroničkim komunikacijskim mrežama omogućuju brzinu prijenosa podataka od najmanje 1 Mbit/s, [3].

Tablica 1. *Broj priključaka širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj*

USLUGA ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA INTERNETU	**Q1 2016**
Ukupni broj priključaka širokopojasnog pristupa Internetu	4 153 094
Broj priključaka širokopojasnog pristupa putem nepokretnih mreža	996 418
Broj priključaka putem vlastite bakrene pristupne mreže	467 217
Broj xDSL[2] priključaka putem izdvojenog pristupa lokalnoj petlji	191 146
Broj xDSL priključaka putem dijeljenog pristupa lokalnoj petlji	153
Broj FTTx[3] priključaka	26 895
Broj priključaka putem usluge *bitstream* pristupa	145 148
Broj priključka putem kabelskih mreža	132 213
Broj priključaka putem ostalih tehnologija pristupa	33 646
Broj priključaka putem pokretnih mreža	3 156 676
Privatni korisnici:	2 412 952
Broj priključaka putem podatkovnih kartica	141 725
Broj priključaka putem mobilnih telefona	2 271 201
Broj korisnika koji koriste M2M[4] tarife	26
Poslovni korisnici:	743 724
Broj priključaka putem podatkovnih kartica	127 848
Broj priključaka putem mobilnih telefona	511 954
Broj korisnika koji koriste M2M tarife	103 922

Izvor: [13]

Tablicom 1. prikazani su tromjesečni podaci objavljeni od strane Hrvatske regulatorne agencije za mrežne djelatnosti, HAKOM, iz kojih se može vidjeti ukupan broj priključaka širokopojasnog pristupa kao i broj priključaka po pojedinim pristupnim mrežama. Ukupan broj priključaka širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj u prvom tromjesečju 2016. godine iznosi 4 153 094 priključaka. Od tog broja priključaka, 996 418 priključaka otpada na pristup širokopojasnom Internetu putem

[2] DSL (engl. *Digital Subscriber Line*) – digitalna pretplatnička linija
[3] FTTx (engl. *Fiber to the x*) – optička nit do mjesta priključka
[4] M2M (engl. *Machine to Machine*) – komunikacijska paradigma temeljena na komunikaciji dva uređaja bez posredstva čovjeka

nepokretnih mreža, a 3 156 676 priključaka na pristup putem pokretnih mreža. Krajnjih korisnika, koji koriste pristupne mreže izvedene putem bakrenih parica, ima 467 217, dok broj FTTx priključaka u Republici Hrvatskoj trenutno je na samo 26 895 priključaka. Kako je navedeno, najveći broj priključaka širokopojasnog pristupa Internetu ima u pokretnim mrežama, i to 2 412 952 priključaka privatnih korisnika, dok na poslovne korisnike otpada 743 724 priključaka. Prema podacima HAKOM-a, ukupan broj priključaka širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj u prvom tromjesečju 2016. godine veći je za 4,97% u odnosu na isti period u 2015. godini, dok je manji za 1,01% u odnosu na zadnje tromjesečje 2015. godine, [13].

Kako bi se krajnjem korisniku isporučila univerzalna usluga potrebno je odabrati odgovarajuću mrežnu infrastrukturu koja će se implementirati u pristupnoj mreži. Pa se tako razlikuju žična i bežična pristupna mreža.

Tablica 2. *Vrste širokopojasnih pristupnih tehnologija*

Prijenosni medij	Opis tehnologije prijenosa	Naziv tehnologije
bakrena parica	pristup Internetu putem digitalne pretplatničke linije	xDSL
koaksijalni kabel	pristup Internetu putem kabelske mreže	HFC
optičke niti	pristup Internetu putem optičke mreže	FTTx
elektroenergetski vodovi	pristup Internetu putem elektroenergetske mreže	PLC BPL
radijske veze	pristup Internetu putem WLAN mreža	Wi-Fi
	pristup Internetu u WMAN mrežama	WiMAX
	pristup Internetu putem treće generacije mobilnih mreža	UMTS HSPA
	pristup Internetu putem četvrte generacije mobilnih mreža	LTE
satelitske veze	pristup Internetu putem jednosmjernih ili dvosmjernih satelitskih veza	satelitski pristup

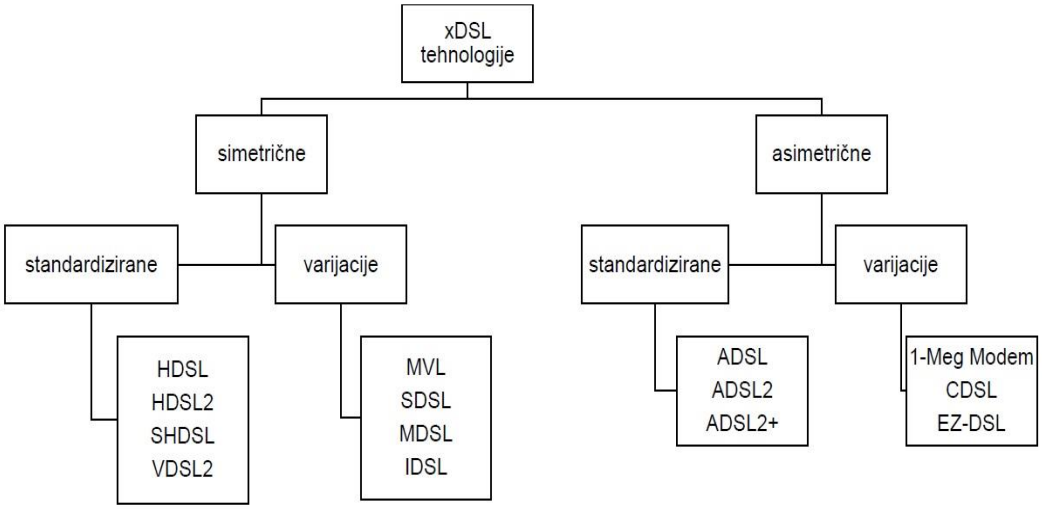
Izvor: [4]

Žična pristupna mreža koristi prijenosne medije poput bakrenih parica, koaksijalnih kabela, optičkih niti ili elektroenergetskih vodova, dok bežične pristupne mreže koriste satelitske veze, zemaljske radijske veze, mikrovalne veze te optičke veze.

2.1. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu bakrenim paricama

DSL, odnosno digitalna pretplatnička linija predstavlja širokopojasnu pristupnu tehnologiju kod koje je povezanost pristupne i jezgrene mreže izvedena pomoću postojećih bakrenih parica fiksne telefonije. Ova pristupna tehnologija omogućava, uz klasičnu telefoniju, prijenos podataka, brzi pristup različitim podatkovnim servisima, istodobno omogućava nesmetanu uporabu analogne ili digitalne telefonije te prijenos podataka. To je omogućeno na način da se na nižem frekvencijskom području (od 300 do 3400 Hz) obavlja prijenos govora, dok se prijenos digitalnih signala obavlja na višem frekvencijskom području, [5].

Kako je prikazano slikom 1., DSL pristupne tehnologije mogu se podijeliti s obzirom na simetričnost, i to na asimetrične DSL pristupne tehnologije i simetrične DSL pristupne tehnologije. Simetričnost se definira s obzirom na prijenosne brzine podataka u dolaznom i odlaznom smjeru. Kod simetričnih DSL tehnologija brzina prijenosa podataka jednaka je i u dolaznom i odlaznom smjeru, dok je kod asimetričnih DSL tehnologija brzina prijenosa podataka u dolaznom smjeru i do nekoliko puta veća u odnosu na odlazni smjer.



Slika 1. *xDSL pristupne tehnologije, [6]*

Od xDSL širokopojasnih pristupnih tehnologija, danas su najzastupljenije ADSL, ADSL2, ADSL2+ te VDSL tehnologije. U daljnjem tekstu ukratko će biti opisane.

ADSL (engl. *Asymmetric Digital Subscriber Line*) širokopojasna pristupna tehnologija temelji se na asimetričnom prijenosu digitalnog signala. Omogućava istovremeni prijenos govora kao i podataka. ADSL je pristupna tehnologija koja podržava trajnu prospojenost krajnjih korisnika, te radi te značajke uspostava poziva nije potrebna, [5]. Maksimalne brzine prijenosa podataka kod ove pristupne tehnologije se kreću do 10 Mbit/s u dolaznom smjeru te do 1 Mbit/s u odlaznom smjeru.

ADSL2 je širokopojasna pristupna tehnologija koja je razvijena kao nadogradnja klasičnog ADSL sustava. Budući da prijenosni kapaciteti opadaju s povećanjem udaljenosti, ograničena je maksimalna udaljenost krajnjih korisnika od telefonske centrale, što za sobom povlači i ograničenja u maksimalnim prijenosnim brzinama podataka. Iz tog razloga je razvijena ova tehnologija sa poboljšanim prijenosnim brzinama te dometom prijenosa. Maksimalna brzina prijenosa podataka kod ADSL2 pristupne tehnologije je otprilike 12 Mbit/s u dolaznom smjeru i 1 Mbit/s u odlaznom smjeru, [5].

ADSL2+ pristupna tehnologija predstavlja širokopojasnu pristupnu tehnologiju kod koje je frekvencijski spektar povećan za dvostruko više, odnosno gornja granična frekvencija je postavljena na 2,2 MHz. Iz tog razloga ovom pristupnom tehnologijom moguće je postići znatno veće prijenosne brzine podataka u dolaznom smjeru na lokalnim petljama kraćim od 1520 metara, [5]. Maksimalna brzina prijenosa podataka u dolaznom smjeru kreće se do 25 Mbit/s.

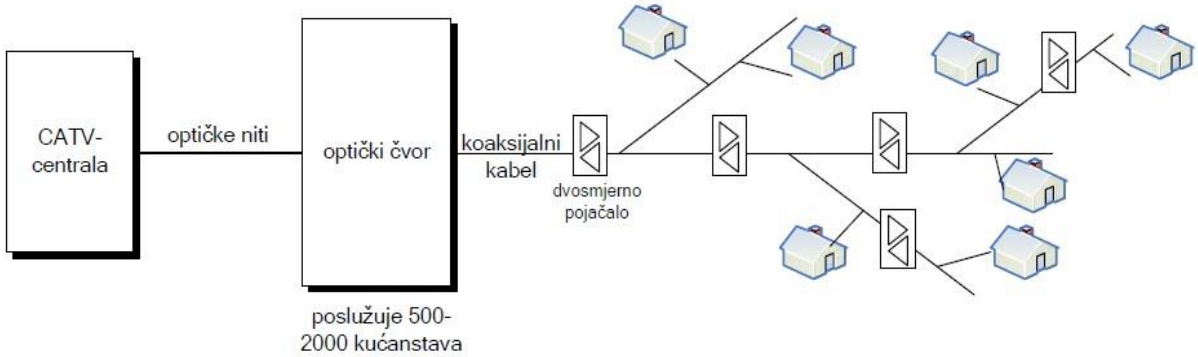
Sljedeća širokopojasna pristupna tehnologija koja se zasniva na prijenosu podataka bakrenim paricama, a omogućava značajno povećanje prijenosnih brzina je VDSL (engl. *Very high data rate Digital Subscriber Line*) tehnologija. Ova tehnologija podržava simetričan i asimetričan način prijenosa podataka. Arhitektura sustava se temelji na kombinaciji optičkih vlakana i upredenih parica, [5]. Maksimalna dolazna brzina prijenosa podataka kod VDSL tehnologije dostiže do 52 Mbit/s. Nadogradnja ove tehnologije je njezina druga inačica, tj. VDSL2. VDSL širokopojasna pristupna tehnologija ima širi frekvencijski pojas, te je zbog toga pomoću nje omogućena podrška primjeni multimedijskih usluga uz održavanje visokih razina kvalitete, [4].

2.2. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu koaksijalnim kabelima

Kako bi se krajnjim korisnicima omogućio širokopojasni pristup Internetu putem koaksijalnih kabela potrebno je imati izgrađenu postojeću kabelsku mrežu ili implementirati novu. Radi pojave potrebe za pronalaskom pristupačnijeg i bržeg pristupa Internetu došlo je do određenih preinaka postojeće infrastrukture mreže kabelske televizije kako bi se ona mogla koristiti za širokopojasni prijenos podataka, [4]. HFC (engl. *Hybrid Fiber-Coaxial*), odnosno hibridna optičko-koaksijalna mreža temelji se na DOCSIS (engl. *Data Over Cable Service Interface Specification*) standardima.

Ovakav način pristupa ostvaruje se pomoću kabelskih modema koji su pomoću koaksijalnih kabela povezani sa završnim sustavom CMTS (engl. *Cable Modem Termination System*) koji je sastavni dio CATV centrale operatora kabelske mreže, [7]. Koristeći ovu tehnologiju širokopojasnog pristupa može se ostvariti značajno velik domet signala, no karakteristika ovog sustava je da svi korisnici koji su povezani sa završnim sustavom putem zajedničkog koaksijalnog kabela dijele ukupnu prijenosnu brzinu podataka, [7].

Danas najčešći oblik ove pristupne tehnologije je hibridno-optička koaksijalna mreža. Kako je vidljivo na slici 2., u takvim mrežama se signali iz centrale optičkim vlaknima prenose do optičkih čvorova od kojih se dalje koaksijalnim kabelima distribuiraju do krajnjih korisnika, [7].



Slika 2. *Topologija HFC mreže, [7]*

Infrastrukturna rješenja ovog tipa uglavnom su implementirana u urbanim središtima.

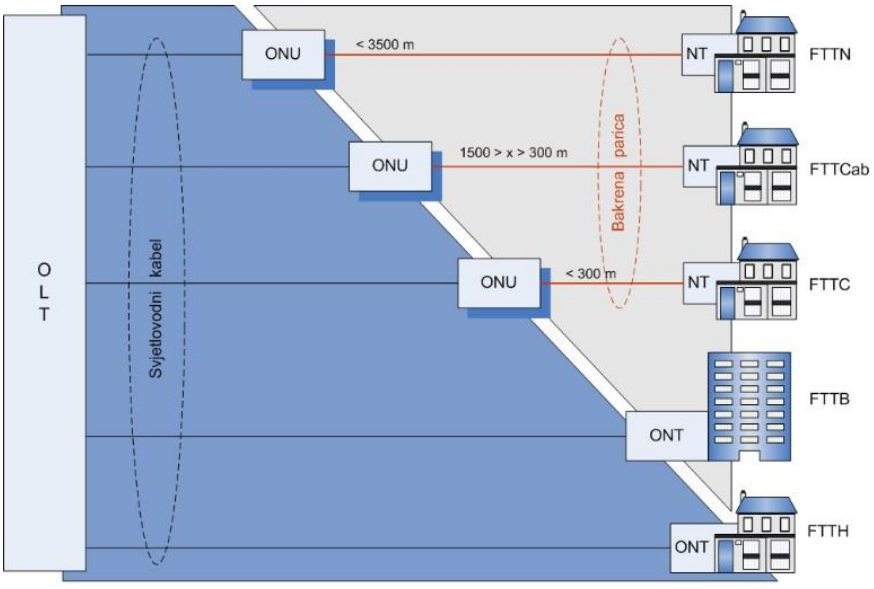
2.3. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu optičkim nitima

Pojavom novih interaktivnih i distribucijskih usluga te aplikativnih rješenja, koja dodatno opterećuju mrežu, došlo je do povećanja prijenosnih kapaciteta jezgrenih mreža. Međutim, nadogradnju centralnog dijela sustava mreža često ne prati i povećanje prijenosnih kapaciteta u pristupnim mrežama. Kao posljedica toga dolazi do smanjivanja propusnosti mreža te do zagušenja.

Rješenje problema nedovoljnih prijenosnih kapaciteta u širokopojasnim pristupnim mrežama postalo je dovođenje optičkih vlakana do krajnjih korisnika. Optička vlakna svojim kapacitetom i karakteristikama osiguravaju prijenos prometa visokog kapaciteta na udaljenosti veće od dvadeset kilometara, s time da su neosjetljiva na vanjske elektromagnetske smetnje, [6], [4].

Optička širokopojasna pristupna mreža određena je lokacijom optičke mrežne jedinice, pa prema tome razlikujemo sljedeće osnovne tipove arhitekture optičke pristupne mreže, kako je prikazano i slikom 3., [6]:

- optička nit do ormarića – FTTCab (engl. *Fiber to the Cabinet*),
- optička nit do pločnika – FTTC (engl. *Fiber to the Curb*),
- optička nit do zgrade – FTTB (engl. *Fiber to the Building*),
- optička nit do kuće – FTTH (engl. *Fiber to the Home*).



Slika 3. *Prikaz FTTx tehnologija širokopojasnog pristupa, [6]*

FTTCab tip optičke pristupne mreže predstavlja arhitekturu kod koje se signali optičkim nitima dovode do skupine korisnika gdje je postavljen ormarić u kojem se provodi optičko-električka pretvorba signala. Nakon pretvorbe signala, isti se distribuiraju do krajnjih korisnika pojedinačno putem bakrenih parica te modema, koji je najčešće VDSL inačice, [6]. Radijus područja koje se obično poslužuje ovom vrstom tehnologije je od 300 do 1500 metara. Broj korisnika koji se putem ove širokopojasne pristupne tehnologije može posluživati u navedenom području iznosi do nekoliko stotina korisnika.

FTTC ili tehnologija optičke niti do pločnika bazira se na dovođenju optičkog vlakna na udaljenosti od nekoliko metara do nekoliko stotina metara od krajnjeg korisnika. Razlika u odnosu na FTTCab tip optičke pristupne mreže, je u tome što se kod FTTC pristupne mreže ormarić postavlja na puno manjoj udaljenosti od korisnika, pa se i time optičko vlakno povlači što bliže korisniku, a to rezultira većim prijenosnim brzinama. Također kao i kod FTTCab, od ormarića do korisnika se koristi najčešće VDSL pristupna tehnologija. Kako je promjer pretplatničke skupine kod ovog tipa pristupne mreže manji, broj pretplatnika u njoj se kreće oko 100, [6].

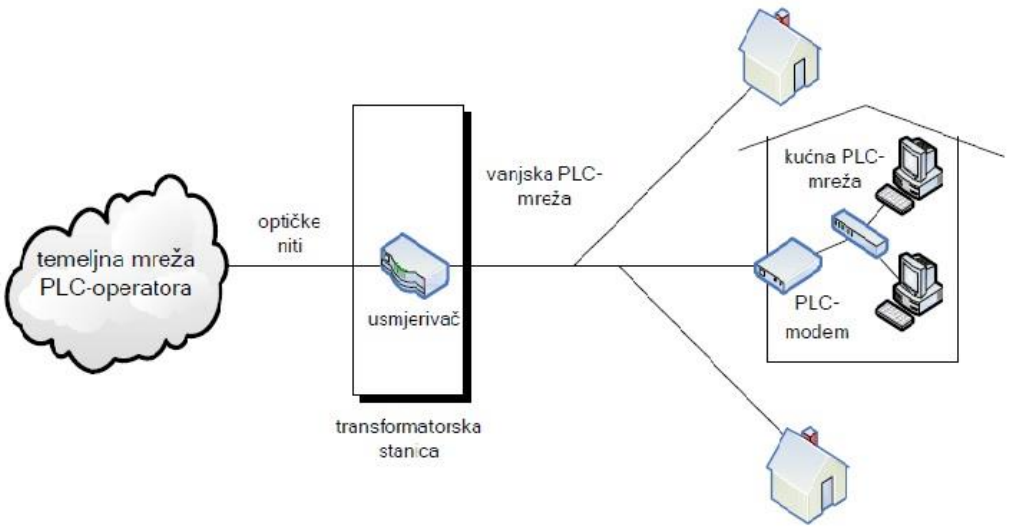
Optička nit do zgrade je vrsta širokopojasnog optičkog pristupa kod kojeg je optička mrežna jedinica smještena u podrumu zgrade. Optička nit se ne povlači do krajnjeg korisnika već do određenog prizemnog mjesta u zgradi, gdje se prijenos informacija tada nastavlja putem bakrenih parica, [6]. Ovim načinom se poslužuje više korisnika. Ovakva pristupna mreža za implementaciju može biti veoma skupa u vidu izgradnje optičke infrastrukture, ali takva rješenja su isplativa ukoliko je udaljenost između centrale i korisnika mala a broj potencijalnih korisnika velik.

FTTH širokopojasna optička pristupna mreža u potpunosti je istisnula potrebu za bakrenom paricom. Optičko vlakno kod ove tehnologije prostire se do krajnjeg korisnika i to preko optičkih razdjelnika koji dijele signal u različitom omjeru, [6]. FTTH topologija se može implementirati u dva oblika, i to P2P (engl. *Point to Point*) te P2MP (engl. *Point to Multi Point*). Kod P2P topologije koristi se po jedna optička nit za svakog pojedinog korisnika. U krajnjem segmentu pristupne P2MP mreže rezervirana je po jedna optička nit za svakog korisnika, do se u segmentu između optičkog OLT (engl. *Optical Line Termination*) čvora i razdjelnika koristi po jedna optička nit za grupu korisnika od 32 ili 64 korisnika, ovisno o korištenom razdjelnom omjeru. P2P pristupne mreže još se nazivaju i aktivne optičke mreže dok P2MP se definiraju kao pasivne

optičke pristupne mreže iz razloga što nemaju električnu opremu pomoću koje usmjeravaju promet od centrale do korisnika, već koriste pasivne optičke razdjelnike, [1].

2.4. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu elektroenergetskim vodovima

BPL (engl. *Broadband Over Powerlines*), odnosno tehnologija širokopojasnog pristupa Internetu putem vodova elektroenergetske mreže pruža širokopojasni pristup svakom korisniku koji koristi komercijalnu naponsku distribucijsku mrežu. Pristup Internetu pruža se preko niskonaponske i srednjenaponske elektroenergetske mreže. Ova tehnologija naziva se još i PLC (engl. *Powerline Communications*). Nastala je sredinom prošlog stoljeća, ali zbog malih prijenosnih brzina, niske funkcionalnosti i visokih troškova razvoja tada nije smatrana ozbiljnom komunikacijskom tehnologijom. Provedbom nove standardizacije unutar IEEE Std 1901-2010, primjenom novih modulacijskih postupaka, naprednih tehnika smanjivanja pogrešaka, efikasnih algoritama digitalne obrade signala, BPL tehnologija nameće se kao pogodno rješenje za pružanje širokopojasnog pristupa Internetu krajnjim korisnicima, [4]. Ova tehnologija, kako je prikazano slikom 4., temelji se na ideji da se širokopojasni podaci prenose optičkim vlaknima iz jezgrene mreže do transformatorskih stanica, od kojih se razvode vodovima elektroenergetske mreže do krajnjih korisnika, [7].



Slika 4. *Arhitektura PLC mreža, [7]*

Postoje dvije skupine BPL tehnologija: pristupni BPL i BPL unutar zgrade. Prijenosne brzine podataka kod pristupnog BPL-a kreću se do 45 Mbit/s u oba smjera. Kako pristupni BPL predstavlja dijeljeni medij potrebno je ograničiti broj korisnika po svakoj transformatorskoj stanici kako bi se prijenosna brzina podataka dijelila s manjim brojem krajnjih korisnika.

2.5. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu bežičnim radijskim vezama

Pojavom potrebe za povećanjem prijenosnih kapaciteta javljaju se sve viši zahtjevi pri izboru adekvatnih širokopojasnih pristupnih mrežnih infrastruktura. Kod prijenosa podataka bakrenim paricama pojavljuje se problem smanjenja prijenosnih brzina podataka s povećanjem udaljenosti, a kod optičkih pristupnih mreža problem je što je njihova implementacija često skupa. Neke od tih nedostataka moguće je izbjeći implementiranjem određenih bežičnih širokopojasnih pristupnih rješenja, [4].

Bežične širokopojasne pristupne tehnologije predstavljaju vrlo zahvalno rješenje za brzi pristup Internetu te prijenosu podataka, govora kao i video usluga. Podjednako su primjenjive kod rezidencijalnih i poslovnih korisnika a njihova prednost u odnosu nad žičnim i optičkim pristupnim mrežama je relativno niska cijena implementacije. Po svojim performansama još uvijek malo kaskaju za žičnim i optičkim pristupnim mrežama, [7].

Kao najznačajnije bežične pristupne tehnologije širokopojasnog pristupa mogu se izdvojiti sljedeće:

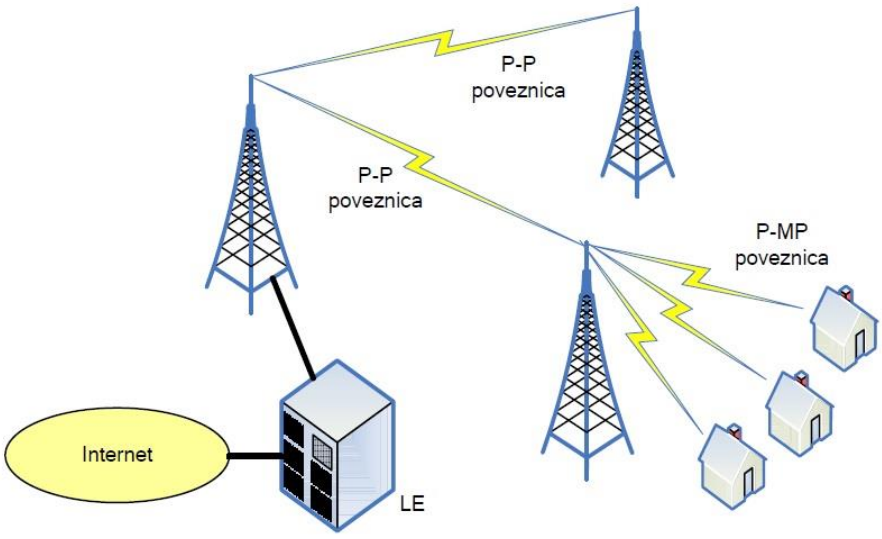
- Wi-Fi,
- WiMAX,
- mobilne tehnologije treće i četvrte generacije.

U području širokopojasnog pristupa Internetu posebno su zanimljive pristupne lokacije s velikom gustoćom korisnika koje korisnicima omogućavaju pristup Internetu putem bežičnog LAN-a (engl. *Wireless Local Area Network*). U takvim lokalnim mrežama primjenjuje se Wi-Fi pristupna tehnologija. Wi-Fi je prva bežična tehnologija koja je počela koristiti širokopojasni prijenos podataka, [4]. Definirana je IEEE 802.11

skupinom standarda. Bazira se na ostvarivanju bežične radio-frekvencijske veze uz primjenu odgovarajućih antena. Prijenos podataka se odvija u frekvencijskom području od 2,4 GHz ili 5 GHz. Prijenosne brzine podataka koje se mogu postići ovom bežičnom širokopojasnom tehnologijom se kreću do 54 Mbit/s, efektivno do 25Mbit/s.

WiMAX (engl. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) je naziv širokopojasne pristupne tehnologije za ostvarivanje gradskih bežičnih mreža. Definirana je IEEE 802.16 skupinom standarda a za prijenos podataka, odnosno kreiranje bežične veze u pristupnoj mreži koriste se bežične pristupne točke. Koristi se frekvencijsko područje od 2 GHz do 11 GHz te ova tehnologije ne zahtijeva optičku vidljivost između predajnika i prijamnika te kao takva namijenjena je radu u gusto naseljenim područjima, [7].

Kako ruralna područja tradicionalno nemaju razvijenu telekomunikacijsku infrastrukturu, WiMAX tehnologija nameće se kao vrlo efikasno rješenje širokopojasnog pristupa Internetu. Implementacija ovakve mreže puno je isplativija za operatore od izgradnje infrastrukture bakrenim paricama ili optičkim vlaknima. Kako je vidljivo na slici 5., arhitektura WiMAX mreže podržava poveznice od točke do točke kao i poveznice od točke prema većem broju točaka, [7].



Slika 5. *Arhitektura WiMAX pristupne mreže, [7]*

Obično se poveznice od točke do točke koriste za povezivanje baznih stanica s temeljnom mrežom, dok se stanice prema krajnjim korisnicima povezuju putem poveznica od točke prema više točaka. Područje pokrivanja svake bazne stanice podijeljeno je u sektore čime se postižu veće prijenosne brzine podataka kao i domet

prijenosa signala. Prijenosne brzine podataka mogu se postići do 70 Mbit/s dok sam domet signala može biti ostvariv do 50 km, uz tipičan promjer ćelije od 13 do 20 kilometara, [7].

Bežične mreže rasprostranjene na širem području koje su neovisne o pristupnim točkama koriste nekoliko generacija sustava mobilnih komunikacija. UMTS (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*) širokopojasna bežična pristupna tehnologija predstavlja treću generaciju mobilnih mreža, odnosno 3G mrežu. Značajna razlika kojom se mobilne mreže treće generacije ističu je upotreba preusmjeravanja paketa za prijenos podataka te prijelaz sa isključivo glasovnih usluga na multimedijske mobilne usluge. Povećanje brzine spajanja i prijenosa podataka koje je pružila 3G tehnologija omogućile su prijenos toka podataka, tj. multimedijalnog sadržaja, kao što su radio i televizija, na mobilne terminalne uređaje, [8].

UMTS tehnologija pruža veću mobilnost komunikacije, a namijenjena je korisnicima u pokretu. Daljnjim razvitkom tehnologije pojavili su se novi sustavi koji su sa sobom donijeli razna poboljšanja kao i još veće povećanje brzine prijenosa podataka. Jedan od takvih sustava je i HSDPA (engl. *High Speed Downlink Packet Access*) protokol koji se još naziva i 3,5G, a koriste ga mreže temeljene na sustavu UMTS. Trenutni HSDPA protokoli pružaju brzine prijenosa od: 1,8 Mbit/s, 3,6 Mbit/s, 7,2 Mbit/s i 14 Mbit/s, dok za veće brzine prijenosa (42 Mbit/s i 84 Mbit/s) koriste se HSPA+ protokoli, [8].

Do 2009. godine postalo je jasno da će 3G pristupne mreže postati preopterećene brojem korisnika i upotrebom aplikacija kojima je potreban širokopojasni kanal za prijenos podataka kao što je prijenos multimedijskog toka podataka. Počeo je razvoj tehnologija koje su optimizirane za prijenos podataka i koje trebaju omogućiti prijenos podataka velikim brzinama i to do deset puta brže nego sustavi treće generacije. Tako su razvijene pristupne mreže četvrte generacije poznate kao 4G. Tehnologija koja je bila razvijena nazvana je LTE (engl. *Long Term Evolution*).

Ciljevi koji su predstavljeni pred LTE tehnologiju su sljedeći, [9]:

- visoke brzine prijenosa – prijenos podataka brzinama većim od 100 Mbit/s u dolaznom smjeru, odnosno 50 Mbit/s u odlaznom smjeru,
- smanjenje vremena čekanja – niska latencija, ispod 10 ms,
- visoka spektralna efikasnost (bps/Hz/site) – dva do tri puta veća u odnosu na HSPA *Release* 6,

- umjerena potrošnja snage u terminalima,
- fleksibilnost upotrebe različitih frekvencijskih područja,
- pojednostavljena arhitektura,
- pojednostavljeno održavanje,
- isplativa migracija sa trenutnih mreža.

Ono što razlikuje 4G tehnologije od 3G je uklanjanje uspostave kruga (ili kanala) između čvorova i terminala prije uspostave komunikacije među korisnicima. Umjesto toga koristi se IP (engl. *Internet Protocol*) mreža. Ovakve bežične širokopojasne pristupne mreže kojima se omogućuje postizanje velikih brzina prijenosa podataka uključuju mrežu temeljenu na OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) pristupu, upotrebu više antenskih rješenja, MIMO (engl. *Multiple Input, Multiple Output*), te fleksibilnost upotrebe frekvencijskog spektra, [8], [9].

Godine 2012. HAKOM[5] je dodijelio frekvencijsko područje od 791 Mhz do 821 MHz i 832 MHz do 862 Mhz telekomunikacijskim operatorima na korištenje do 2024. godine. Upravo taj frekvencijski spektar, koji se oslobodio ukidanjem analognog TV signala, pogodan je za uvođenje širokopojasnih pristupnih mreža četvrte generacije u ruralna i slabo naseljena područja.

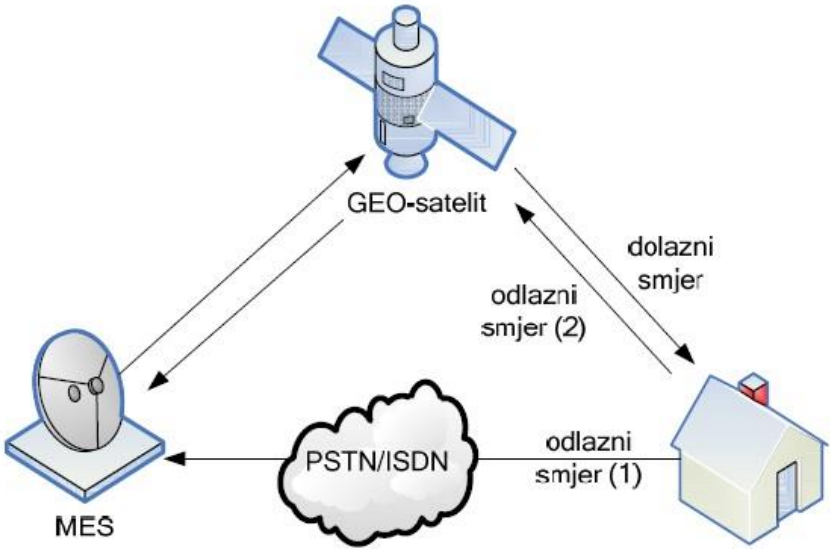
2.6. Širokopojasne pristupne tehnologije temeljene na prijenosu satelitskim vezama

Širokopojasni pristup Internetu putem satelita pripada u vrstu bežičnih pristupa Internetu. Glavne karakteristike bežične prijenosne tehnologije su velik doseg signala, rad u optimalnom frekvencijskom području i velike prijenosne brzine. Prema opsegu pokrivanja, ova širokopojasna pristupna tehnologija spada u vrstu koja ima pokrivanje velikih područja preko satelita – DBS (engl. *Direct Broadcast Satellite*), [10].

Kod širokopojasnog pristupa Internetu putem satelita usluga prijenosa podataka se može obavljati na dva načina kako je prikazano slikom 6.. Prvi način je da se satelitska veza koristi za dolazni promet (od poslužitelja Internet usluge prema krajnjem korisniku), dok se za odlazni promet koristi modemska veza. Drugi način predstavlja

[5] HAKOM – Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti

dvosmjerna satelitska veza za dolazni i odlazni prijenos podataka, [10]. Za korištenje ovakvog načina pristupa Internetu potrebna je optička vidljivost između satelita i prijamne antene, tako da prepreke na putu između njih, kao što su topografski uvjeti i zaobljenost zemlje, predstavljaju prepreku signalu te mogu znatno utjecati na kvalitetu internetske veze i znatno smanjiti brzine prijenosa podataka, [10].



Slika 6. *Prikaz arhitekture širokopojasnog pristupa Internetu putem satelita, [7]*

Unazad nekoliko godina postignut je velik napredak ove tehnologije u odnosu na druga širokopojasna pristupna rješenja. Trenutno se putem ove vrste pristupne tehnologije mogu postići prijenosne brzine podataka do 22 Mbit/s u dolaznom smjeru i 6 Mbit/s u odlaznom smjeru.

3. PRIMJENA TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA U RURALNIM I SLABO NASELJENIM PODRUČJIMA

U današnje vrijeme ruralna i slabo naseljena područja pogođena su brojnim problemima. U isto to vrijeme postoje brojne razlike između istih i urbanih područja velikih gradova. Problemi kojima su pogođena ruralna i slabo naseljena područja su degradacijski procesi, depopulacija te zanemarivanje gospodarskog razvoja u tim područjima, [4]. Gospodarske promjene znatno su utjecale na smanjenje broja radnih mjesta u poljoprivredi i industriji ovih područja kao i brojna iseljavanja mladog, obrazovnog te radno aktivnog stanovništva.

Kako je razvoj svake države povezan s razvojem svih njenih područja, uključujući i ruralna i slabo naseljena područja, od izrazite važnosti je donijeti niz mjera koje potiču razvoj ruralnih područja. Jedna od takvih mjera je i informatizacija ruralnih i slabo naseljenih područja jer svim korisnicima, odnosno stanovnicima potrebno je osigurati pristup informacijama bez obzira na zemljopisne, socijalne, generacijske te druge razlike, [11]. Također, nužna su i ulaganja u informacijsko-komunikacijsku infrastrukturu, odnosno širokopojasnu pristupnu infrastrukturu, koja je trenutno slabije ili nikako razvijena u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Implementacija širokopojasnih pristupnih tehnologija omogućuje stvaranje i primjenu novih usluga, tehnologija i aplikacija kojima se može potaknuti gospodarski rast u ruralnim područjima kroz stvaranje novih proizvoda, privlačenje ulaganja i otvaranje radnih mjesta.

Implementacijom širokopojasnih pristupnih tehnologija u ruralna i slabo naseljena područja pokušava se smanjiti postojeći digitalni jaz, tj. velike razlike u dostupnosti širokopojasnog pristupa Internetu između različitih urbanih i ruralnih područja. Doneseni su brojni programi i strategije koje potiču razvoj ruralnih područja kao i izjednačavanje kvalitete života u urbanim i ruralnim područjima, [11], [12].

Isplativost uvođenja širokopojasnog pristupa Internetu jedan je od glavnih pokazatelja implementacije brzog pristupa Internetu na nekom određenom području. Kako su ruralna i slabo naseljena područja po mnogočemu posebna troškovi za implementaciju širokopojasnog pristupa Internetu po korisniku su u ruralnim područjima viši od troškova pristupa u urbanim područjima, [4].

S obzirom na opisane karakteristike širokopojasnih pristupnih tehnologija u prijašnjim poglavljima te o dostupnoj mrežnoj infrastrukturi, moguće je iz tablice 1. implementirati odgovarajuću širokopojasnu pristupnu tehnologiju za ruralna i slabo naseljena područja. Kako danas većinom ruralna područja imaju implementirane telefonsku te elektroenergetsku mrežu, najdostupnije žične širokopojasne pristupne tehnologije za pristup Internetu su one koje se temelje na prijenosu bakrenim paricama i vodovima elektroenergetske mreže, odnosno xDSL i PLC pristupne tehnologije. Pošto VDSL tehnologija ne omogućuje prijenos podataka velikim brzinama na velike udaljenosti, ADSL, odnosno njegove nadogradnje (ADSL2 i ADSL2+) prikladnija su infrastrukturna rješenja za implementaciju u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Najučinkovitije rješenje bi bila izgradnja optičke mreže, ali njezino implementiranje u cijelosti predstavlja složeno i vrlo skupo rješenje, te se zbog toga često ne smatra prikladnim infrastrukturnim rješenjem ruralnih područja.

Od opisanih bežičnih širokopojasnih pristupnih tehnologija, mobilne pristupne tehnologije treće i četvrte generacije zahtijevaju određenu nadogradnju postojeće mrežne infrastrukture. Za razliku od mobilnih pristupnih tehnologija, WiMAX pristupna tehnologija uvjetuje postavljanje nove pristupne infrastrukture. Za satelitski i Wi-Fi širokopojasni pristup potrebno je krajnje korisnike opremiti sa odgovarajućom mrežnom opremom kako bi bili u mogućnosti primati i koristiti širokopojasni pristup Internetu.

Kako god, tijekom izgradnje širokopojasne pristupne mreže uvijek se nastoji iskoristiti postojeća mrežna infrastruktura, s obzirom da takav pristup omogućuje bržu i isplativiju implementaciju pristupnih mreža, [4]. Kod pristupnih mreža temeljenih na prijenosu podataka putem žičnog medija moguće je iskoristiti postojeću kabelsku kanalizaciju te dostupne prostore za smještaj mrežne opreme, dok kod pristupnih mreža temeljenih na bežičnom prijenosu podataka uvijek je moguće iskoristiti postojeće antenske stupove. Kako većinom ulaganje u pristupnu infrastrukturu ruralnih područja nije isplativo, ovakvi načini redukcije troškova implementacije širokopojasnih pristupnih mreža vrlo su poželjni.

4. ZNAČAJKE I PRIMJENA METODA VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA

Odlučivanje se može definirati kao proces između dvije ili više različitih mogućnosti rješavanja nekog problema. Ono je stalan proces. Donošenje odluka proces je vrednovanja alternativa koje sve zadovoljavaju određeni skup postavljenih kriterija. Problemi se pojavljuju u trenutku kad između ponuđenih alternativa treba odabrati onu koja najviše zadovoljava kompletan skup zadanih kriterija. Ukoliko se radi o poslovnom odlučivanju, tada će se donijete odluke odraziti na veći ili manji broj podsustava poslovnog sustava.

Kada se u procesu odlučivanja pojave problemi koji uključuju više kriterija, koji su često suprotstavljeni, koristi se višekriterijsko odlučivanje. U poslovnom svijetu takvi problemi vrlo često mogu biti izuzetno kompleksni. Problem kompleksnosti nije samo uvjetovan većim brojem zadanih kriterija, već i tome da sve ponuđene alternative uvjetuju zajedničke kriterije koji će dovesti do optimalnog rješenja, odnosno odluke, [14].

Razvoj višekriterijskog odlučivanja usko je povezan s razvojem informacijsko-komunikacijske tehnologije. 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, [14].

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. S obzirom na raznu primjenu, postoje brojne metode višekriterijskog odlučivanja, [14]:

- 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. C*omplex 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*),
- VIKOR (Višekriterijsko Kompromisno Rangiranje) i dr.

Osim navedenih, postoje i druge metode višekriterijskog odlučivanja. Također, postoje i *fuzzy* izvedenice metoda, kao što su *fuzzy* AHP, *fuzzy* TOPSIS i dr. Te metode se koriste kada se u procesu odlučivanja pojavljuje određena nesigurnost u odlučivanju. Nesigurnost se može pojaviti ako donositelj odluke nije 100% siguran pri donošenju odluke, ili ako informacije o nekim kriterijima nisu potpune ili nisu dostupne uopće.

4.1. Višekriterijska metoda ELECTRE

ELECTRE metoda je višekriterijska metoda donošenja odluka koja donositelju odluke omogućava izbor najbolje odluke, s maksimalnom prednosti i minimalnim sukobima u funkciji različitih kriterija. U počecima primjene koristila se za izbor najbolje radnje iz danog skupa radnji, ali se ubrzo počela koristi za tri problema, a to su odabir, rangiranje te sortiranje. ELECTRE metoda temelji se na uvjetima suglasnosti i nesuglasnosti koji se definiraju pomoću željene razine suglasnosti, odnosno nesuglasnosti i stvarnog indeksa suglasnosti, tj. nesuglasnosti. Indeks suglasnosti predstavlja kvantitativni pokazatelj suglasnosti da se određena alternativa može rangirati ispred neke druge alternative s obzirom na sve zadane ciljeve istovremeno. Za razliku od njega, indeks nesuglasnosti predstavlja kvantitativni pokazatelj veličine

stupnja nesuglasnosti, a govori da je jedna alternativa barem jednako dobra kao i druga alternativa.

Postoji nekoliko inačica ove metode:

- ELECTRE I,
- ELECTRE II,
- ELECTRE III,
- ELECTRE IV,
- ELECTRE IS i
- ELECTRE TRI.

Svaka od inačica bazirana je na temeljnim konceptima ali se razlikuju u operativnom smislu te vrsti problema odlučivanja, [14]. Za probleme odabira koristi se ELECTRE I, ELECTRE II,III i IV namijenjene su za probleme rangiranja dok ELECTRE TRI metoda se koristi kod problema dodjeljivanja. Prednosti ELECTRE metode višekriterijskog odlučivanja su teorijski neograničen broj kriterija pomoću kojih se rangiraju alternative, mogućnost kvantitativnog i kvalitativnog iskazivanja kriterija i njihovih intenziteta važnosti, dok su nedostaci nemogućnost primjene na probleme u kojima donositelj odluke nije zadao preferencije.

4.2. Višekriterijska metoda TOPSIS

TOPSIS višekriterijska metoda donošenja odluka predstavlja metodu donošenja odluka koja se bazira na principu izbora alternative koja bi trebala imati najmanju geometrijsku udaljenost od pozitivnog idealnog rješenja i najveću geometrijsku udaljenost od negativnog idealnog rješenja, [14]. Razvijena je 1981. godine a usavršavana kroz dvije nadopune 1987. i 1993. godine.

TOPSIS metodom uspoređuju se alternative određivanjem relativnih važnosti, tj. težina kriterija, normalizacijom rezultata za svaki kriterij te izračunom geometrijske udaljenosti između idealne alternative i svake pojedine, [14]. Da bi se definirala pozitivna i idealna rješenja ovom metodom pretpostavlja se da se zadani kriteriji jednoliko povećavaju ili smanjuju. Kako bi se odredila relativna udaljenost alternativa od idealnog rješenja koristi se euklidska udaljenost. Niz usporedbi ovih relativnih

udaljenosti omogućit će željeni redoslijed alternativa. Ova metoda služi za rangiranje i dobivanje najboljih performansi u višekriterijskom odlučivanju.

Postupak računanja TOPSIS metode započinje formiranjem matrice odlučivanja. TOPSIS metoda se sastoji iz šest koraka, [15]:

- 1. korak – normaliziranje matrice,
- 2. korak – množenje normalizirane matrice težinskim koeficijentima,
- 3. korak – određivanje idealnih rješenja,
- 4. korak – određivanje rastojanja alternativa od idealnih rješenja,
- 5. korak – određivanje relativne blizine alternativa idealnom rješenju,
- 6. korak – rangiranje alternativa.

Alternative se rangiraju po opadajućim vrijednostima. Najbolja alternativa je ona koja poprima najbližu vrijednost broju jedan ili čak zauzima vrijednost jedan. Ostale alternative rangiraju se po opadajućim vrijednostima do najnepoželjnije, [15].

4.3. Višekriterijska metoda PROMETHEE

Metoda PROMETHEE razvijena je 1982. godine te se počela primjenjivati na probleme vezane uz zdravstvo, a kasnijim razvojem PROMETHEE metoda dobiva primjenu u različitim područjima kao što su bankarstvo, kemijska industrija, medicina, turizam, promet i slično. Pripada u grupu metoda višekriterijskog odlučivanja sa skupom alternativa opisanih pomoću više atributa koji se koriste kao kriteriji. Ova metoda omogućuje donositelju odluke kompletno i djelomično rangiranje pojedinih radnji.

Glavna zamisao ove višekriterijske metode je razmotriti preferencije donositelja odluke. Donositelj odluke treba odrediti jednu od šest generaliziranih preferencijalnih funkcija i odgovarajuće granične vrijednosti za svaki kriterij na najnižoj razini hijerarhije. Druga vrsta preferencija su preferencijalne informacije između kriterija koji održavaju relativnu važnost jednog cilja u odnosu na ostale ciljeve, obzirom na težinske faktore. Kako bi se procijenile objektivne težine koriste se različite metode, [14].

PROMETHEE I metoda se temelji na pozitivnim i negativnim tokovima, uključuje preferencije, indiferentnost i neusporedivost, a dovodi do djelomičnog rangiranja. Za

razliku od nje, metoda PROMETHEE II dovodi do kompletnog rangiranja, a temelji se na višekriterijskom toku te uključuje preferencije i indiferentnost, [14].

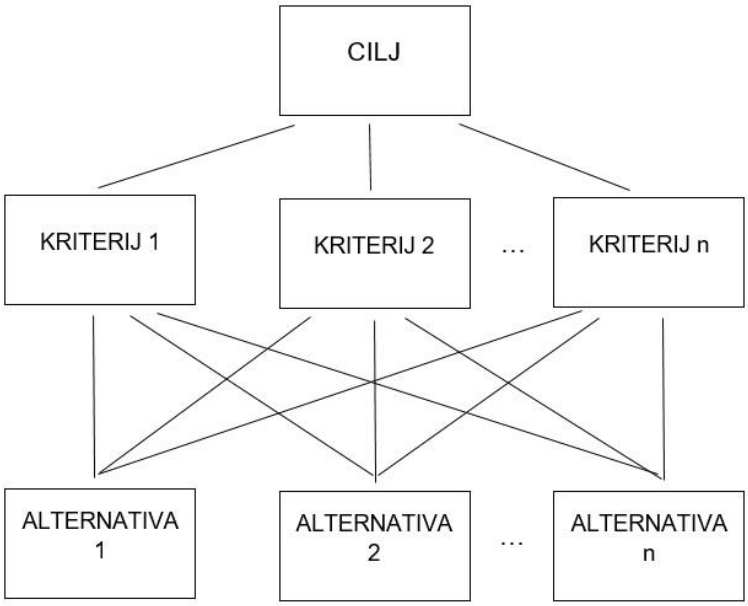
Prilikom rješavanja problema PROMETHEE metodom višekriterijskog odlučivanja javlja se potreba za dodatnom geometrijskom funkcijom o ponašanju alternativa prema pojedinim kriterijima. Takva informacija pridonosi donosiocu odluke potpuniji uvid u odnos alternativa prema kriterijima, olakšava predviđanja situacija i omogućava razumljivu prezentaciju dobivenih rezultata. Kako bi se to omogućilo koristi se metoda GAIA (engl. *Geometrical Analysis for Interactive Aid*).

GAIA metoda daje geometrijsku prezentaciju rezultata PROMETHEE metoda. Ovom metodom se višedimenzionalni problemi višekriterijskog odlučivanja svode na dvodimenzionalne kako bi se omogućila ravninska prezentacija. Korištenjem softverskog paketa GAIA omogućeno je prikazivanje rezultata u obliku numeričkih vrijednosti ili grafova koji pomažu donosiocu odluke da realnije sagleda problem i dobije potpuniji uvid u odnose između kriterija i alternativa.

4.4. AHP – analitički hijerarhijski proces

AHP metoda jedna je od najpoznatijih i najkorištenijih metoda višekriterijskog odlučivanja. Razvio ju je profesor Thomas L. Saaty. Jedan od razloga zašto je jedna od najkorištenijih metoda proizlazi iz činjenice da se temelji na načinu na koji pojedinac rješava složene probleme. Taj način bazira se na rastavljanju problema na jednostavnije komponente, odnosno cilj, kriterije i alternative.

Navedene komponente se povezuju, kako je vidljivo na slici 7., u model u kojemu je na najvišoj razini cilj, ispod njega se nalaze kriteriji sa svojim podkriterijima dok se na najnižoj razini nalaze alternative, odnosno mogućnosti, [16].



Slika 7. *Hijerarhijska struktura AHP višekriterijske metode*

Izvor: [17]

AHP višekriterijska metoda odlučivanja sastoji se od četiri osnovna koraka, [16]:

- **1. korak:** definiranje hijerarhijske strukture problema odlučivanja s ciljem na vrhu modela, kriterijima i podkriterijima na nižim razinama, te alternativama na najnižoj razini modela;
- **2. korak:** međusobno uspoređivanje elemenata u parovima na svakoj razini hijerarhijske strukture uz pomoć Saatyjeve skale;
- **3. korak:** procjenom relativnih važnosti elemenata za odgovarajuću razinu hijerarhijske strukture problema pomoću odgovarajućeg matematičkog modela izračunati lokalne prioritete (težine) kriterija, podkriterija i alternativa;
- **4. korak:** spajanjem lokalnih prioriteta u ukupne prioritete alternativa odrediti konačno rješenje.

Glavna zamisao ove metode je prvo dobro definirati problem kojeg se obrađuje, odnosno postaviti cilj višekriterijskog odlučivanja. Druga zadaća je određivanje kriterija koji trebaju zadovoljiti taj cilj, a znatno doprinose na konačnu odluku donositelja odluke. Kriterije je moguće razvrstati u jednu ili nekoliko razina, te se na taj način dobiva hijerarhijska struktura kriterija. Kriteriji koji su definirani kao kriteriji prve razine su najvažniji i najviše utječu na donošenje odluke, dok kriteriji manjih razina imaju manji utjecaj na konačnu odluku donositelja odluke. Kriteriji se mogu odnositi na bilo kakav aspekt problema odlučivanja, odnosno mogu biti kvalitativne ili kvantitativne prirode.

Kada je definiran model, tj. hijerarhijska struktura ocjenjuju se kriteriji i podkriteriji uspoređujući ih međusobno u parovima, s obzirom na njihov utjecaj na element iznad njih u hijerarhiji. Prioritet kojeg jedan kriterij ima u odnosu na drugi izražava se vrijednostima iz Saatyjeve skale, prikazane tablicom 3.

Kod donošenja vrijednosti prioriteta kriterija donositelj odluke može koristiti konkretne podatke, ali najčešće su to osobne prosudbe o elementima. Zamisao AHP metode je da se temeljem ljudske odluke utječe na procjenu prioriteta.

Tablica 3. *Saatyjeva skala prioriteta*

Intenzitet važnosti	**Definicija**	**Objašnjenje**
1	Jednaka važnost	Dvije aktivnosti jednako pridonose cilju.
3	Umjereno važnije	Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednoj aktivnosti u odnosu na drugu
5	Strogo važnije	Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu.
7	Vrlo stroga, dokazana važnost	Jedna aktivnost se favorizira u odnosu na drugu, a njezina dominacije dokazuje se u praksi.
9	Ekstremna važnost	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću.
2, 4, 6, 8	Međuvrijednosti između dviju susjednih procjena	Kada je potreban kompromis.

Izvor: [17]

Važna karakteristika AHP metode je provjera konzistentnosti procjena donositelja odluke. Za svo vrijeme trajanja procedure i sinteze rezultata, provjerava se konzistentnost procjena donositelja odluke te se utvrđuje ispravnost dobivenih težinskih koeficijenata kriterija i prioriteta alternativa. Kada je omjer konzistentnosti manji od 10%, procjene relativnih važnosti, odnosno težina kriterija smatraju se

prihvatljivima. Ako se dogodi da je omjer konzistentnosti veći potrebno je pronaći razloge zbog kojih je došlo do neprihvatljivo visoke nekonzistentnosti procjena, [18].

S obzirom da je analitički hijerarhijski proces najupotrebljavanija metoda višekriterijskog odlučivanja definirane se njene brojne prednosti kod primjene u donošenju odluka, kao i neka ograničenja. Neke od značajnijih prednosti su, [18]:

- AHP višekriterijska metoda odlučivanja raščlanjuje problem odlučivanja na definiranje cilja, kriterija i alternativa do utvrđivanja prioriteta svih alternativa u odnosu na postavljani cilj. Ova metoda razlaže problem u hijerarhijsku strukturu elemenata;
- AHP metoda sjedinjuje kvalitativne i kvantitativne faktore u odlučivanju;
- Uspješno prepoznaje i ukazuje na nekonzistentnost donositelja odluka praćenjem nekonzistentnosti u procjenama tijekom cijelog postupka, izračunavanjem indeksa i omjera konzistencije;
- Redundantnost uspoređivanja u parovima dovodi do toga da je AHP metoda manje osjetljiva na greške u procjenjivanju;
- Kod korištenja ove metoda u grupnom donošenju odluka, ona znatno poboljšava komunikaciju između članova grupe;
- Odlučivanje AHP metodom povećava znanje o problemu i snažno i brzo motivira donositelje odluke;
- Rezultati odlučivanja AHP metodom ne sadrže samo rang alternativa već i informacije o težinskim koeficijentima kriterija u odnosu na cilj i podkriterija u odnosu na kriterije;
- Omogućuje donositelju odluka analizu osjetljivosti rezultata pomoću koje se provjerava stabilnost dobivenih rezultata ;
- Postojanje kvalitetnih programskih alata koji podržavaju AHP metodu višekriterijskog odlučivanja. Najčešće korišten programski alat je *Expert Choice.* Njegove prednosti su jednostavnost modeliranja, sučelje prilagođeno prosječnom korisniku računala, mogućnost korigiranja procjena od strane korisnika i druge prednosti.

Kao što je navedeno, AHP metoda višekriterijskog odlučivanja sadrži i neka ograničenja s kojima se donositelji odluka susreći koristeći ovu metodu za donošenje odluka složenih problema. Ta ograničenja su, [18]:

- nedovoljno velika skala za uspoređivanje elemenata u parovima vezano uz neke probleme odlučivanja,
- velik broj potrebnih komparacija u parovima kod većine problema,
- postizanje prihvatljivog omjera konzistencije je često vrlo teško,
- nisu dozvoljene neusporedive alternative.

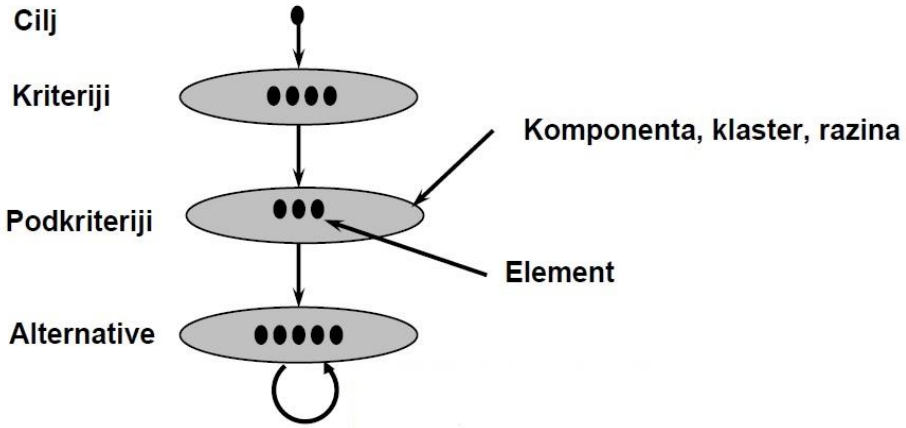
AHP metoda, kao metoda donošenja odluka, primjenjuje se u raznim područjima kao što su menadžment, industrija, inženjerstvo, politika, obrazovanje, sport, promet i sl. U nastavku ovog rada, upravo ova metoda će se koristiti za izbor tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima.

4.5. ANP – analitički mrežni proces

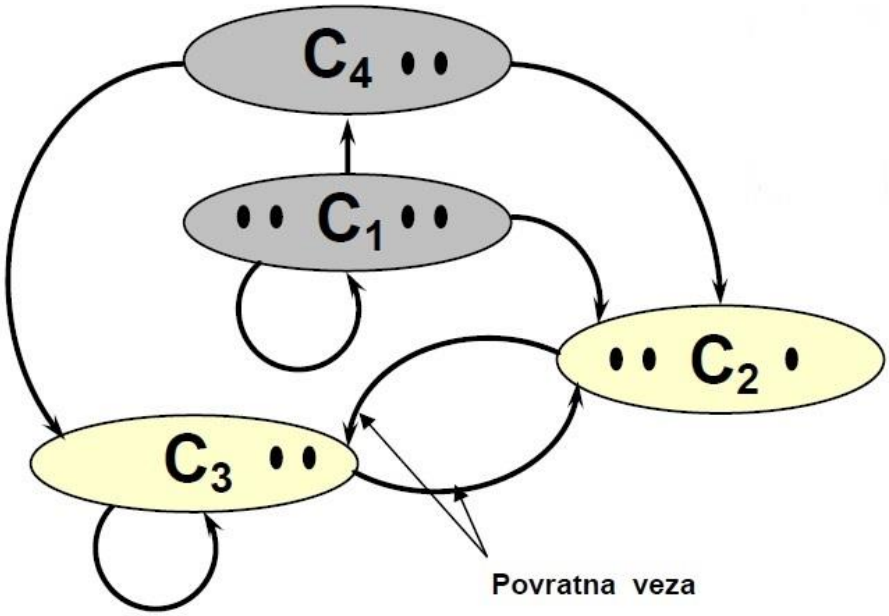
Analitički mrežni proces, odnosno ANP metoda višekriterijskog odlučivanja omogućuje modeliranje funkcionalne interakcije kriterija i alternativa u modelu, čime se postiže veća stabilnost rezultata, [18]. ANP predstavlja svojevrsnu nadogradnju u odnosu na AHP metodu višekriterijskog odlučivanja.

Kao što je Thomas Saaty razvio AHP metodu, ANP metoda je također razvijena od istog profesora 1996. godine. Ova metoda sastoji se od povratnih veza koje omogućuju mrežno definiranje problema, a razlikuje se od AHP metode u tome što ne predstavlja linearnu hijerarhiju već modelira utjecaje između elemenata mreže. Kako je većina problema koji se obrađuju iz realnog svijeta, a k tome su i nelinearni, mrežna zavisnost elemenata pridonosi boljem modeliranju istih. Povratne veze koje se koriste omogućuju preciznije određivanje prioriteta elemenata te donošenje kvalitetnijeg rješenja problema, [18].

Kod ovakve hijerarhijske strukture modela, težine kriterija služe za vrednovanje alternativa i određivanje njihovih prioriteta. Kod mrežne zavisnosti elemenata, svaka komponenta može zavisiti o drugoj komponenti. Slika 8. prikazuje strukturu linearne hijerarhije ANP metode. Hijerarhija je linearna ako joj se na najvišoj razini, odnosno na vrhu nalazi postavljeni cilj modela, kriteriji na prvoj razini, podkriteriji na drugoj razini, alternative na trećoj razini te petlja koja potiče da svaki element ovisi sam o sebi. Elementi nemaju drugih zavisnosti te ne utječu na druge elemente, [18].



Slika 8. *Linearna hijerarhija, [18]*



Slika 9. *Mreža povratnih veza, [18]*

Slikom 9. prikazana je mreža povratnih veza. Ona sadrži komponente i elemente unutar komponenata, odnosno klastere i čvorove unutar klastera te petlje i lukove kojima se komponente međusobno povezuju. Glavni element mreže je klaster koji se sastoji od čvorova koji se međusobno povezuju ovisno o njihovoj zavisnosti. Postoje ishodišni i odredišni čvorovi. Zavisnosti čvorova se označavaju vezom (strelicom) između kojih postoji određeni utjecaj. veza koja povezuje dva elementa unutar mreže označava utjecaj jednog elementa na drugi. Takve veze se nazivaju povratne veze. Također, mreža omogućava da jedan klaster utječe na drugi, a drugi utječe na prvi, ali ne izravno već posredno preko trećeg, tj. prijelaznog klastera, [18].

Postoje dvije vrste zavisnosti unutar mreže. To su unutarnja i vanjska zavisnost komponenata. Ako su čvorovi unutar klastera međusobno povezani radi se o unutarnjoj zavisnosti unutar klastera te se označava petljom, dok se kod povezivanja čvorova koji pripadaju različitim klasterima radi o vanjskoj zavisnosti te se ona označava lukom između klastera, [18]. Nelinearna mreža je prikazana slikom 9. gdje se mogu uočiti klasteri i čvorovi koji su povezani unutarnjim i vanjskim zavisnostima.

Osnovni koraci kod primjene ANP višekriterijske metode odlučivanja su, [18]:

1. korak: detaljno definiranje problema odlučivanja;
2. korak: određivanje kontrole kriterija i podkriterija u četiri kontrolne podmreže te uspoređivanjem u parovima odrediti prioritete kontrolnih kriterija;
3. korak: određivanje mreže klastera i njihovih čvorova u skladu s kontrolnim kriterijima;
4. korak: određivanje zavisnosti između elemenata u modelu;
5. korak: kreiranje supermatrice za svaki kontrolni kriterij, kontrolnu hijerarhiju na temelju usporedbi u parovima za određene elemente koji međusobno zavise u toj kontrolnoj hijerarhiji;
6. korak: usporedba klastera u parovima u skladu s njihovim zavisnostima, a u odnosu na kontrolne kriterije;
7. korak: izračunavanje elemenata granične supermatrice;
8. korak: sinteza prioriteta iz granične supermatrice;
9. korak: uporaba multiplikativne ili aditivne formule za određivanje alternative koja se preferira u odnosu na sve četiri kontrolne podmreže;
10. korak: obrađivanje rezultata i analiza osjetljivosti.

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

5. PRIJEDLOG MODELA VIŠEKRITERIJSKOG ODLUČIVANJA

Iako broj korisnika širokopojasnog pristupa Internetu svakodnevno raste, njihov broj u urbanim sredinama odavno je premašio broj širokopojasnih priključaka u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Danas postoje pojedina ruralna područja, od određenog značaja, koja imaju pristup širokopojasnom Internetu, ali u cjelini ruralna i slabo naseljena područja imaju tendenciju da zaostaju za gradskim i prigradskim područjima u implementaciji širokopojasnog pristupa.

Niska gustoća naseljenosti ruralnih područja jedan je od glavnih razloga zašto se širokopojasni pristup nedovoljno implementira u takva područja u odnosu na gusto naseljena područja. To se posebice odnosi na fiksne širokopojasne tehnologije, kao što su xDSL, FTTx, HFC, s obzirom da što je veća udaljenost krajnjeg korisnika to su veći troškovi za izgradnjom pristupne infrastrukture kao i troškovi posluživanja korisnika. Upravo zbog toga operatori često dobivaju manje poticaja da ulažu u infrastrukturu ruralnih područja u odnosu na urbana, gdje se pojavljuje veća potražnja za uslugama, a manji su troškovi umrežavanja područja tržišta.

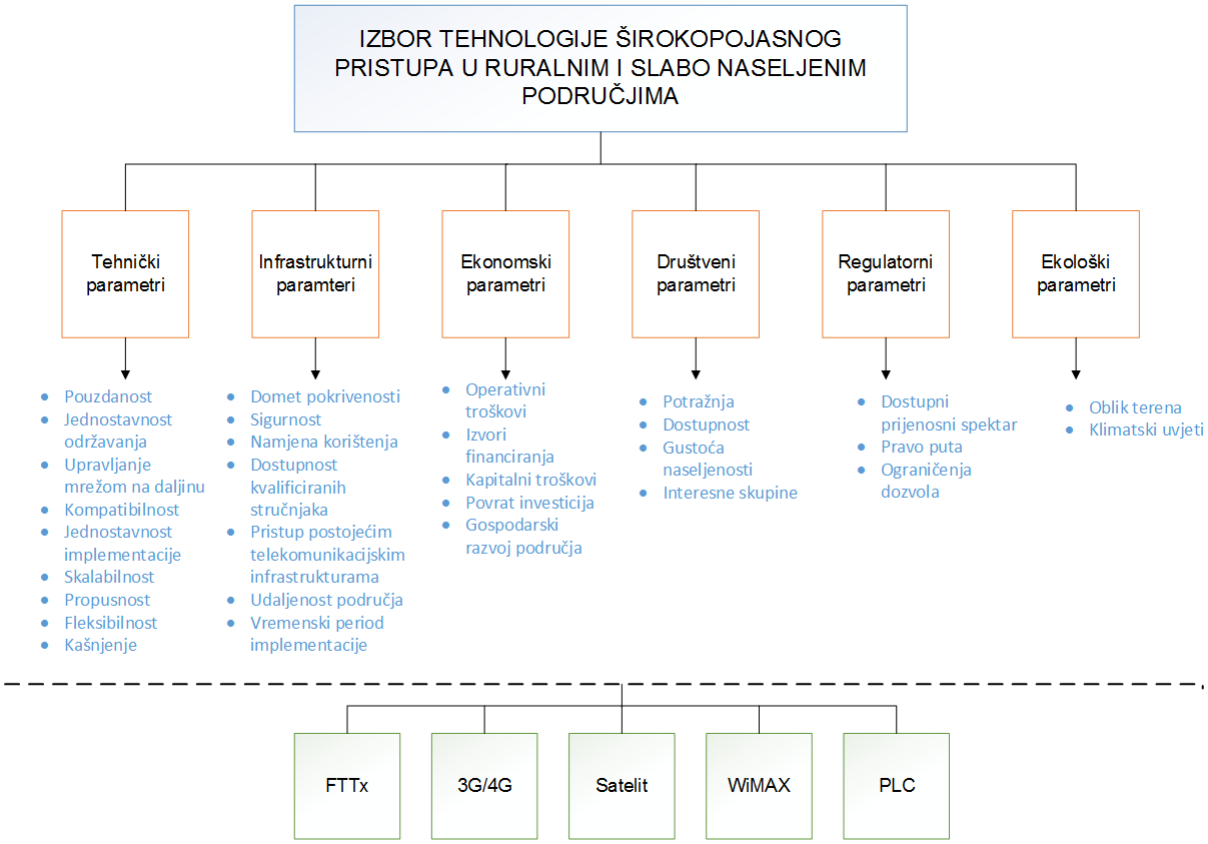
Implementacija i razvoj širokopojasnog pristupa Internetu doprinosi ekonomskom rastu, povećanju stopi zaposlenosti te povećanju kvalitete života korisnika. Zaostajanje velikog broja ruralnih područja, u gustoći broja krajnjih korisnika širokopojasnog pristupa, potrebno je smanjiti mjerama kako bi se dostigli zadani ciljevi postavljeni na europskoj razini, [4], [11].

Zbog svega navedenog pitanje izbora tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima posebno je važan problem, kako za područja Europske unije tako i za Republiku Hrvatsku. Navedenim problemom bavi se i ovaj rad, kojem je za cilj predložiti određene oblike primjene tehnologija širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima.

5.1. Model višekriterijskog odlučivanja

S obzirom na opisane probleme s kojima se susreću ruralna i slabo naseljena područja, a temeljem navedenih i opisanih pristupnih tehnologija u drugom poglavlju ovog rada kao i njihove primjene u ruralnim područjima, potrebno je definirati model

višekriterijskog odlučivanja, koji će služiti kao predložak za izbor tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima.



Slika 10. *Hijerarhijska struktura AHP modela*

Slika 10. prikazuje hijerarhijsku strukturu modela višekriterijskog odlučivanja za izbor tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Za metodu višekriterijskog odlučivanja odabran je analitički hijerarhijski proces – AHP.

Hijerarhijska struktura modela definirana je u četiri razine. U prvoj razini, odnosno na vrhu modela nalazi se cilj koji se želi postići višekriterijskim odlučivanjem. U sljedećoj razini strukturirani su kriteriji koji znatno utječu na odabir optimalne alternative pružanja širokopojasnog pristupa. Svaka grupa podkriterija u trećoj razini pripada točno definiranom kriteriju u razini iznad njih. Alternative, odnosno pristupne tehnologije koje se promatraju kao mogućnosti nalaze se na dnu modela.

Temeljem danih opisa i značajki pristupnih tehnologija, koje omogućavaju širokopojasni pristup, kao i pregledom literature, u prikazanom modelu je definirano pet mogućih alternativa pomoću kojih se može ostvariti širokopojasni pristup u ruralnim i slabo naseljenim područjima. To su sljedeće širokopojasne pristupne tehnologije:

pristupne tehnologije temeljene na prijenosu optičkim nitima (FTTx tehnologije), mobilne pristupne tehnologije treće i četvrte generacije, pristupne tehnologije temeljene na prijenosu satelitskim vezama, pristupne tehnologije temeljene na bežičnim radijskim vezama (WiMAX) te pristupne tehnologije temeljene na prijenosu elektroenergetskim vodovima (PLC).

S obzirom na navedene tehnologije definirani su kriteriji koji obuhvaćaju sve bitne značajke za pružanje širokopojasnog pristupa Internetu na određenom području. Definirani kriteriji su:

- tehnički parametri,
- infrastrukturni parametri,
- ekonomski parametri,
- društveni parametri,
- regulatorni parametri i
- ekološki parametri.

Svaki od navedenih kriterija sadrži svoj skup podkriterija koji ga detaljno proširuje i opisuje.

5.2. Analiza postavljenih kriterija i alternativa

Temeljem velikog broja različitih dionika na telekomunikacijskim tržištima potrebno je definirati ciljne skupine krajnjih korisnika za koje se smatra da je isplativo implementiranje širokopojasnog pristupa Internetu. Bez potrebne širokopojasne pristupne infrastrukture krajnji korisnici nisu u mogućnosti pristupiti širokopojasnim uslugama. Isplativost uvođenja širokopojasnog pristupa Internetu potrebno je promatrati s gledišta mrežnih operatora. Mrežni operatori trebali bi razmatrati veći broj mogućih pristupnih tehnologija kako bi dobili bolji uvid u dostupna rješenja te kako bi se olakšao izbor optimalnih pristupnih rješenja za pružanje širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima.

Obzirom na vrste razmatranih pristupnih tehnologija, koje pružaju širokopojasni pristup, potrebno je prilagoditi modele pristupnih mreža zadanom problemu, odnosno ruralnom području u koji se iste implementiraju. Tijekom planiranja pristupnih mreža

ključno je posvetiti pažnju kod određivanja količine potrebnih mrežnih komponenata kako bi se zadovoljili ukupni zahtjevi za kapacitetom, [4].

Tijekom razmatranja mogućih alternativa, odnosno pristupnih rješenja za pružanje širokopojasnosti, vidi se da sva rješenja ne zahtijevaju jednake postupke tijekom implementacije njihovih infrastruktura. Pristupna rješenja razlikuju se prema potrebnim ulaganjima u pristupnu infrastrukturu, ovisno o tome da li je potrebno izgraditi u potpunosti novu infrastrukturu ili postoji mogućnost za nadogradnjom postojeće infrastrukture. Uvijek kada je to moguće nadograđuje se postojeći dio pristupne infrastrukture mreža, s obzirom da se na taj način smanjuju ulaganja, [4].

Jedan od ključnih ekonomskih parametara koji znatno utječu na implementaciju širokopojasnog pristupa u ruralnim područjima je i izdatak za nabavu te postavljanje potrebne pristupne mrežne infrastrukture. U ruralnim i slabo naseljenim područjima krajnji korisnici nisu gusto koncentrirani na malim područjima, pa su fiksne pristupne linije, povezane s lokalnim centralama, u takvim područjima dulje nego u gusto naseljenim područjima. Također, u takvim područjima manji broj korisnika dijeli trošak implementacije zajedničke opreme te je cijena implementacija fiksnih pristupnih mreža viša u odnosu na gusto naseljena područja. Kod bežičnih pristupnih rješenja ista je situacija. Kako bi se smanjili troškovi izgradnje širokopojasnih pristupnih mreža u ruralnim područjima, država može pružiti financijsku potporu. Moguće je i pružanje pomoći poreznim olakšicama ili pojednostavljenjem postupaka za dobivanje prava pristupa postojećoj mrežnoj infrastrukturi.

Kada je riječ o troškovima izgradnje širokopojasne pristupne mreže, oni se mogu podijeliti na troškove ulaganja u imovinu, takozvani kapitalni troškovi, i na troškove koji su rezultat redovnog poslovanja - operativni troškovi. Kapitalni troškovi su troškovi koji nastaju ulaganjem operatora u nabavu opreme i izgradnju mrežne infrastrukture. Pod opremom se smatraju bazne stanice, radio kontroleri, centrale te sva oprema jezgrene mreže, dok troškove izgradnje infrastrukture mogu činiti kupovina zemljišta te građevinski radovi. Operativni troškovi su troškovi koji nastaju redovnim poslovanjem operatora. Postoje tri vrste operativnih troškova: troškovi vezani uz korisnike, troškovi vezani uz prihode i troškovi vezani uz mrežu, [19].

Zemljopisne značajke terena, odnosno geografski parametri mogu utjecati na razlike u troškovima implementacije širokopojasnog pristupa Internetu. Zbog

nepristupačnijih terena često je skuplje graditi mrežnu infrastrukturu u brdskim i planinskim područjima u odnosu na nizinska područja, [4].

Osim navedenih razloga, i regulatorni parametri utječu na implementaciju širokopojasnog pristupa. U pravilu bi povećanje broja operatora na određenom području trebalo smanjiti cijene uvođenja širokopojasnog pristupa, ali u slabije naseljenim područjima često ne postoji potreba za izgradnjom većeg broja različitih pristupnih mreža, [4].

Na uvođenje širokopojasnog pristupa utječu brojni parametri. Pa tako i razina razvijenosti već postojeće telekomunikacijske infrastrukture, način na koji su na određenom području raspoređene platforme za žični i bežični širokopojasni pristup te postojeća ponuda usluga mobilnog i fiksnog pristupa kao i interes krajnjih korisnika navedenih usluga.

Kada se promatraju tehnički parametri implementacije širokopojasnih pristupnih mreža, tada se mogu izdvojiti određeni parametri koji su izuzetno bitni za odabir optimalne pristupne tehnologije, kako za krajnjeg korisnika tako i za mrežnog operatora koji pruža uslugu širokopojasnosti. To su: pouzdanost mreže, prijenosni kapacitet, odnosno propusnost mreže te kašnjenje. Za odabir prikladnih pristupnih tehnologija bitna je i značajka domet pokrivenosti signalom određenog područja, uzimajući u obzir i prijenosne brzine podataka koje se mogu ostvariti, kao i udaljenost ruralnog područja do prve točke priključka (lokalne centrale, bazne stanice).

Uvođenjem širokopojasnog pristupa Internetu u ruralna i slabo naseljena područja postiže se revitalizacija istih kroz poticanje gospodarskog razvoja tih područja.

6. VREDNOVANJE I IZBOR TEHNOLOGIJE ŠIROKOPOJASNOG PRISTUPA

Za izbor tehnologije širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima 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, na tri različita načina. To su, [20]:

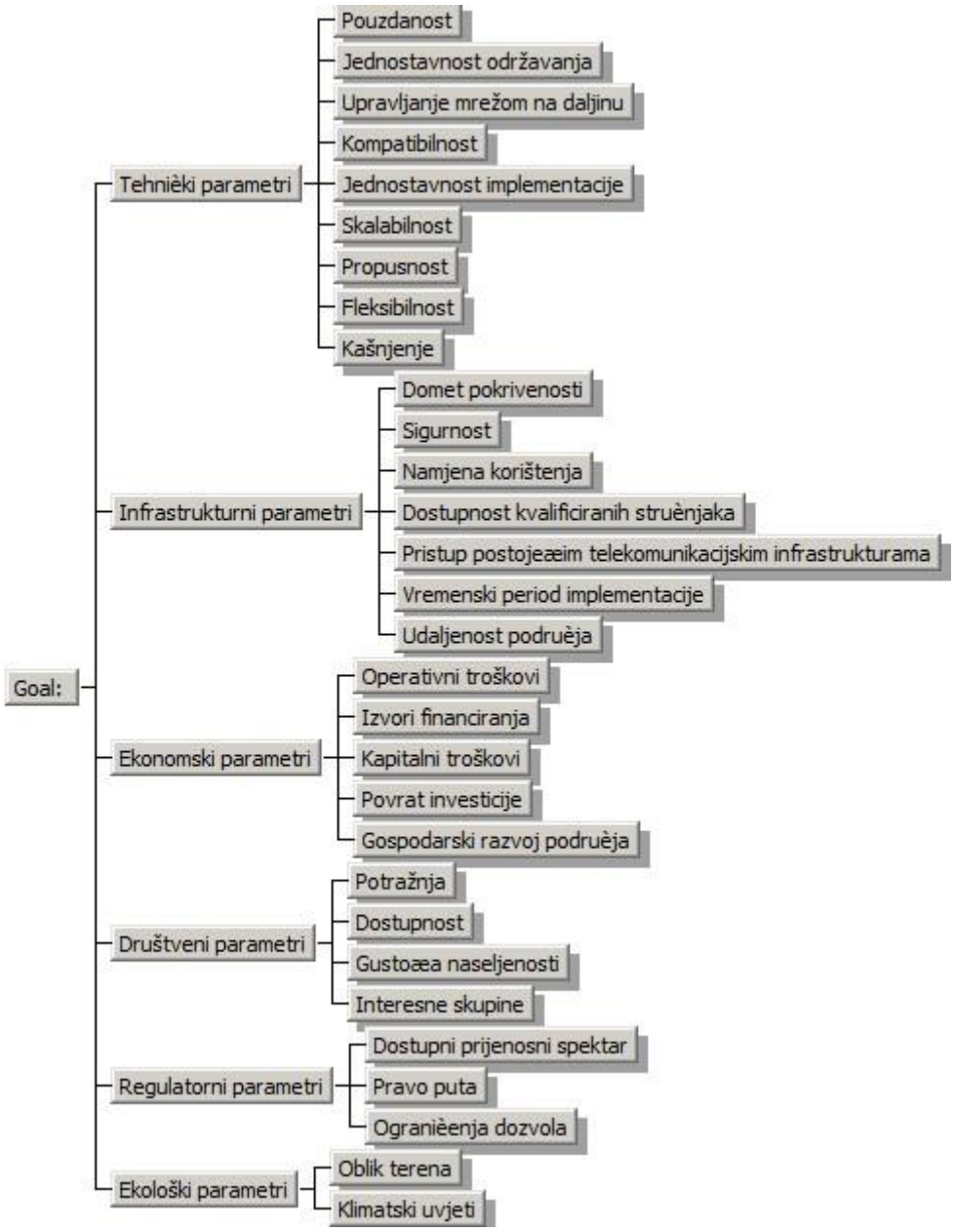
- uspoređivanje u parovima prema Saatyjevoj skali,
- uspoređivanje u parovima prema Saatyjevoj skali s obzirom na važnost i
- uspoređivanje u parovima s obzirom na grafički prikaz.

U ovom radu parametri će se uspoređivati prema Saatyjevoj skali.

Također, alat pruža mogućnost analize osjetljivosti dobivenih rezultata, koja se temelji na jednostavnom načinu izmjene relativnih težina kriterija i alternativa, [20].

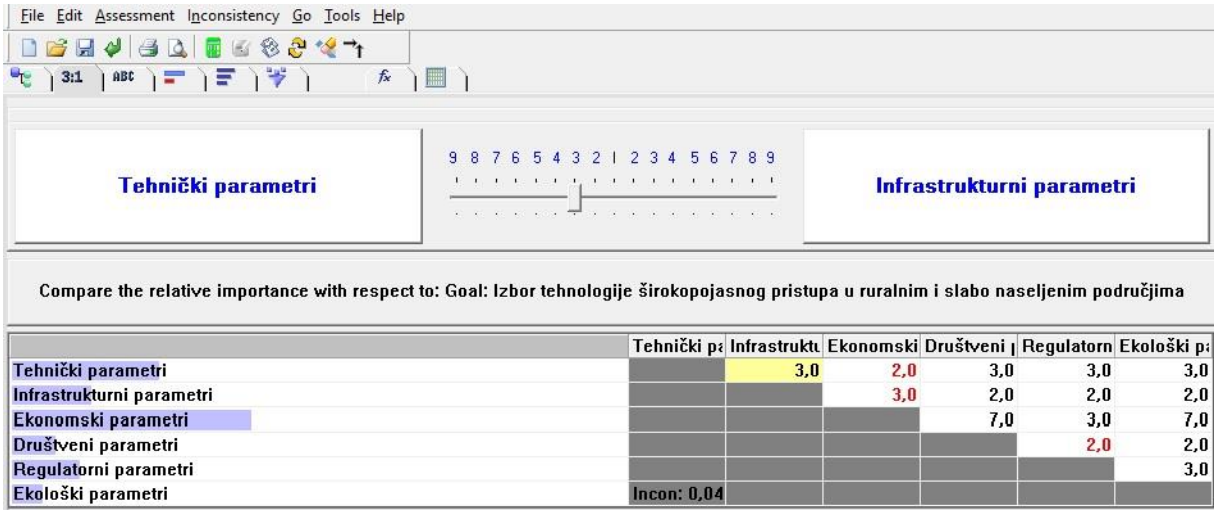
Struktura problema izbora širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima prikazana je slikom 11. Iz same strukture modela vidljivo je kako su odabrani kriteriji i podkriteriji usko povezani sa svim promatranim širokopojasnim pristupnim tehnologijama koje omogućavaju širokopojasni pristup Internetu, odnosno kako su odabrani na temelju ključnih značajki i karakteristika pristupnih tehnologija. Pa tako se mogu uočiti parametri pouzdanosti, propusnosti i kašnjenja kao ključni elementi kriterija „tehnički parametri“. Domet pokrivenosti, fizička sigurnost infrastrukture te pristup postojećim telekomunikacijskim infrastrukturama veoma su bitni kod izgradnje novih širokopojasnih pristupnih mreža. Kada se gledaju ukupni troškovi širokopojasnog pristupa, operativni troškovi te izvori financiranja izgradnje pristupne mreže dva su elementa s najvećim intenzitetom važnosti kriterija „ekonomski parametri“. Potražnja krajnjih korisnika za određenom uslugom kao i dostupnost te usluge na području gdje se oni nalaze također su elementi koji se promatraju s visokim intenzitetom važnosti

tijekom implementacije širokopojasnih pristupnih mreža u ruralnim i slabo naseljenim područjima. S obzirom da pojedine pristupne tehnologije zahtijevaju optičku vidljivost između predajnika i prijemnika, topografski oblik terena nameće se kao jedan od bitnijih elemenata tijekom donošenja odluka.



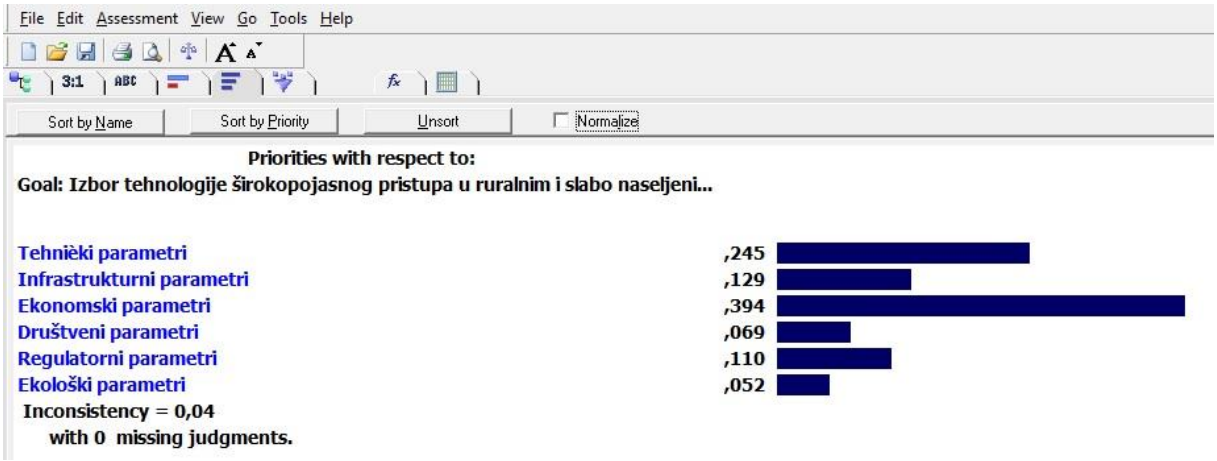
Slika 11. *Struktura AHP modela prikazana programskim alatom Expert Choice*

U nastavku je prikazano vrednovanje kriterija u parovima prema Saatyjevoj skali (slika 12.). Vrednovanje svih elemenata predloženog AHP modela napravljeno je na temelju korištene literature (prethodnog istraživanja), odnosno subjektivnog ocjenjivanja i služi kao primjer u funkciji odabira optimalne alternative



Slika 12. *Vrednovanje kriterija u parovima prema Saatyjevoj skali*

Nakon što se definira struktura problema AHP modela, sljedeći korak u donošenju odluke je usporedba kriterija u parovima 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 vidljivo na slici 12., korištena je usporedba kriterija u parovima prema Saatyjevoj skali. Također, na slici se može uočiti i indeks konzistencije („Incon: 0,04“), koji nakon dodjeljivanja težinskih vrijednosti između kriterija poprima vrijednost 0,04, odnosno 4%. Obzirom da je indeks konzistencije manji od 10%, omjeri važnosti kriterija dobro su strukturirani.



Slika 13. *Relativne težine kriterija*

Na slici 13. prikazane su izračunate težine kriterija. Vidljivo je kako je kriteriju „ekonomski parametri“ dodijeljena najveća težina, odnosno faktor evaluacije (0,394). Drugi kriterij po važnosti je „tehnički parametri“, dok kriterij s najmanjom dodijeljenom težinom je „ekološki parametri“ te se on uzima u obzir s najmanjom vjerojatnošću

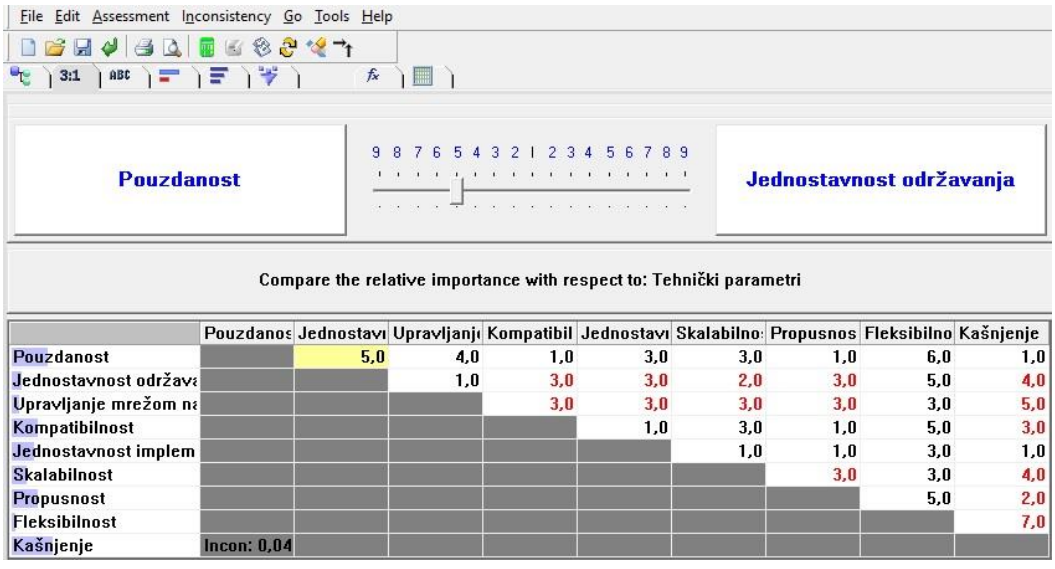
tijekom donošenja odluke o izboru širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima.

6.1. Vrednovanje podkriterija

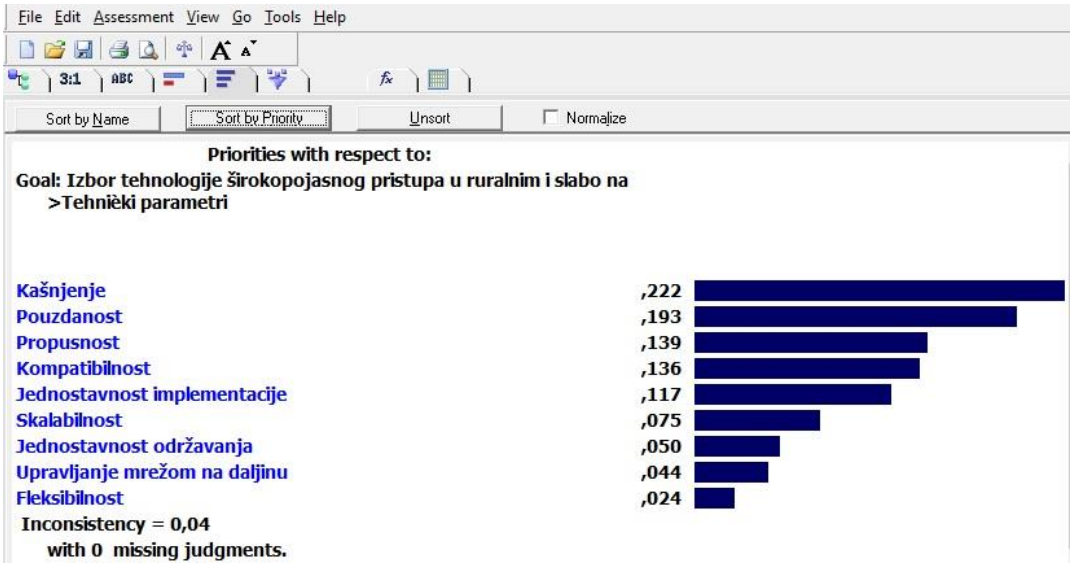
Nakon uspoređivanja kriterija po važnosti, sljedeći korak u procesu odlučivanja AHP metodom višekriterijskog odlučivanja je usporedba podkriterija unutar pojedinih kriterija. Usporedba podkriterija vrši se na isti način kao i usporedba kriterija.

Unutar kriterija „tehnički parametri“ vrši se usporedba devet podkriterija kako je vidljivo na slici 14. Podkriteriji pobliže opisuju širokopojasne pristupne tehnologije s njihove tehničke točke gledišta. To su:

- pouzdanost,
- jednostavnost održavanja,
- upravljanje mrežom na daljinu,
- kompatibilnost,
- jednostavnost implementacije,
- skalabilnost,
- propusnost,
- fleksibilnost i
- kašnjenje.



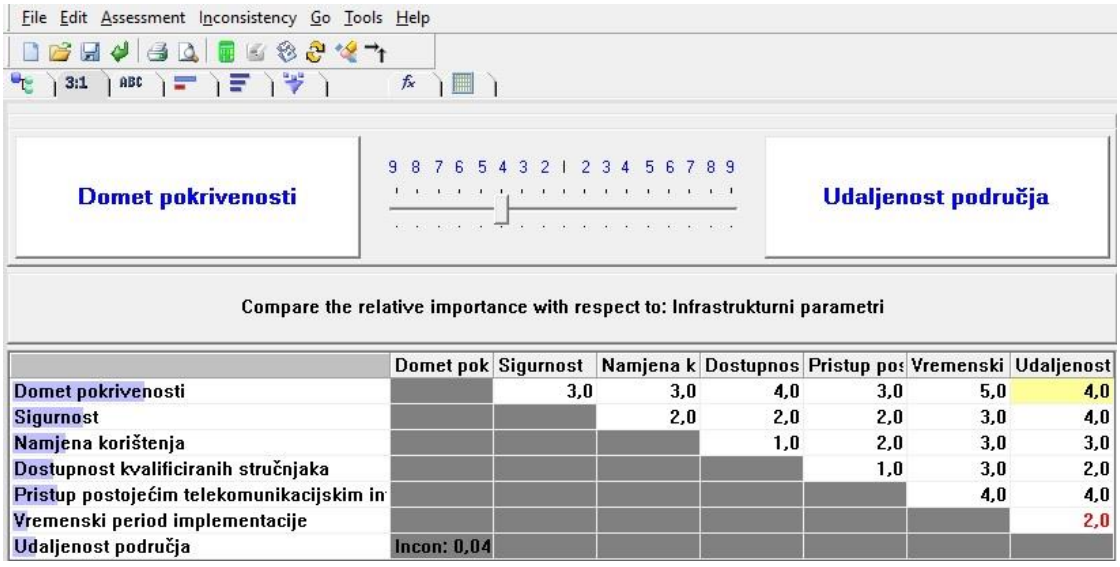
Slika 14. *Uspoređivanje podkriterija unutar kriterija „tehnički parametri“*



Slika 15. *Relativne težine podkriterija unutar kriterija „tehnički parametri“*

S obzirom da problem kašnjenja unutar svake širokopojasne pristupne mreže predstavlja jedan od glavnih problema kako bi se ostvarila funkcionalna i stvarnovremena komunikacija, podkriterij kašnjenje promatra se s najvećom razinom važnosti tijekom donošenja odluke, što je vidljivo iz slike 15. Također, može se uočiti da je veliku relativnu težinu poprimio i podkriterij pouzdanost. Vrijeme za koje će sustav raditi bez kvarova od velike je važnosti za implementaciju širokopojasnih pristupnih mreža. Indeks konzistentnosti iznosi 4% za uspoređene podkriterije.

Sljedeća grupa podkriterija za usporedbu u parovima pripada kriteriju „infrastrukturni parametri“ (Slika 16.).



	Domet pok	Sigurnost	Namjena k	Dostupnos	Pristup pos	Vremenski	Udaljenost
Domet pokrivenosti		3,0	3,0	4,0	3,0	5,0	4,0
Sigurnost			2,0	2,0	2,0	3,0	4,0
Namjena korištenja				1,0	2,0	3,0	3,0
Dostupnost kvalificiranih stručnjaka					1,0	3,0	2,0
Pristup postojećim telekomunikacijskim in						4,0	4,0
Vremenski period implementacije							2,0
Udaljenost područja	Incon: 0,04						

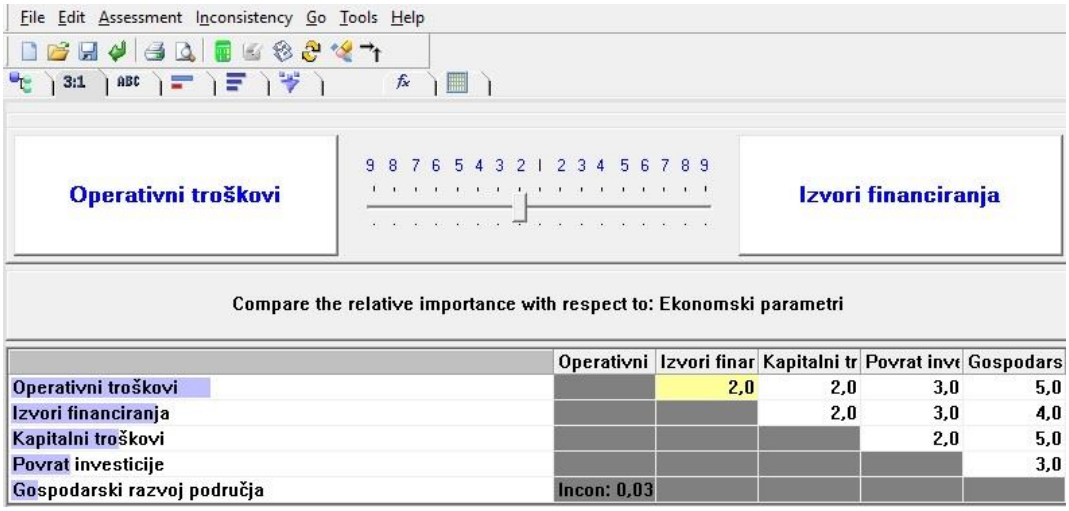
Slika 16. *Vrednovanje podkriterija unutar kriterija „infrastrukturni parametri“*

Kod implementacije širokopojasnih pristupnih mreža od velikog je značaja odabrati odgovarajuću pristupnu tehnologiju koja će povezati krajnje korisnike sa centralnim dijelom sustava. Kako se ne bi dogodilo da se korisnicima, koji se nalaze na rubnim dijelovima područja pokrivenosti, ne može isporučiti kvalitetna usluga pristupa širokopojasnom Internetu, potrebno je tijekom donošenja odluke o odabiru pristupne tehnologije veliku pažnju posvetiti elementu dometa pokrivenosti signalom.

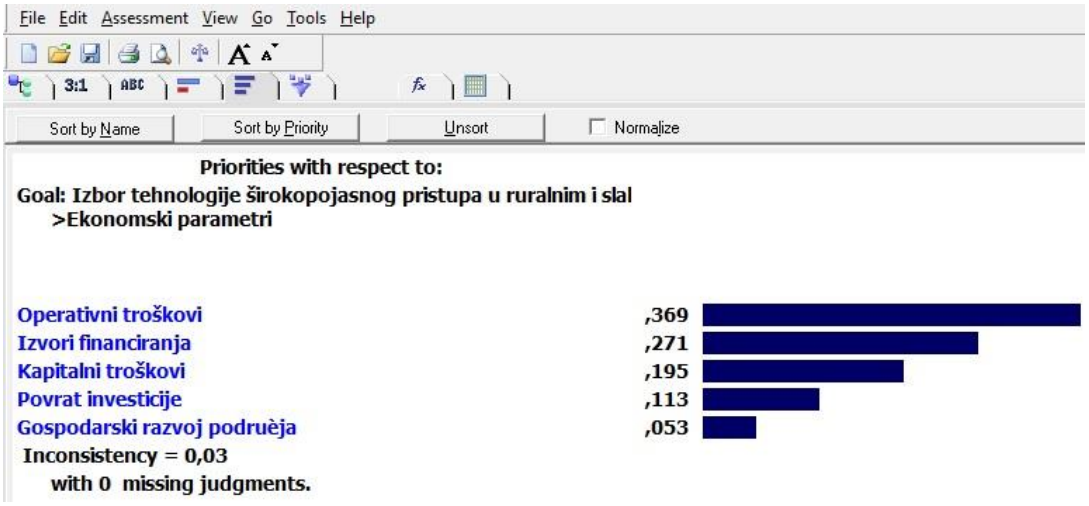


Slika 17. *Rangiranje podkriterija kriterija „infrastrukturni parametri“*

Kako je već navedeno u radu, ekonomski aspekt uzima se kao točka polazišta kod implementacije širokopojasnih pristupnih mreža u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Pa je tako na slici 18. prikazano uspoređivanje podkriterija u parovima unutar kriterija „ekonomski parametri“.



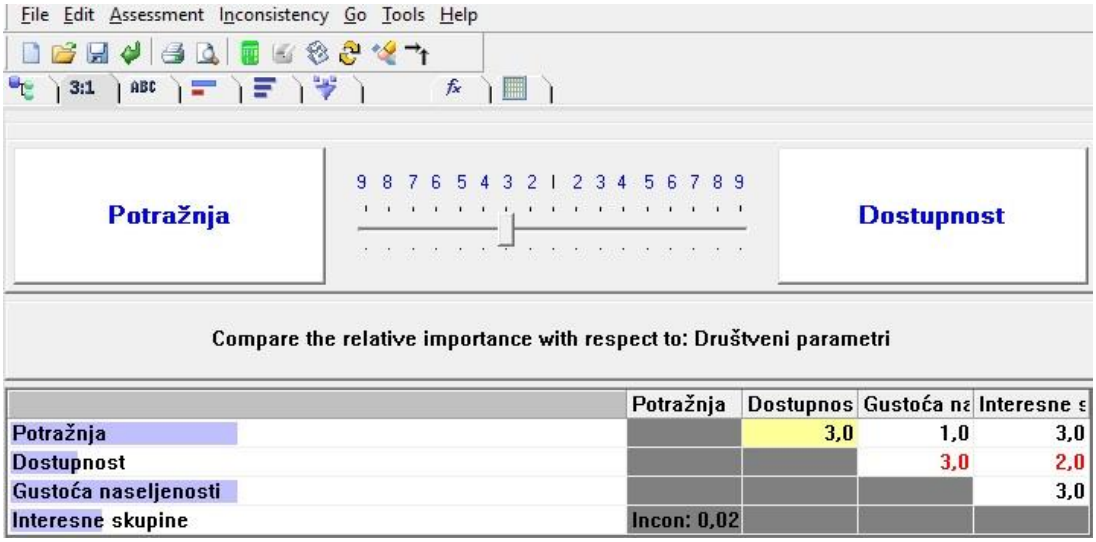
Slika 18. *Uspoređivanje podkriterija s ekonomskog aspekta*



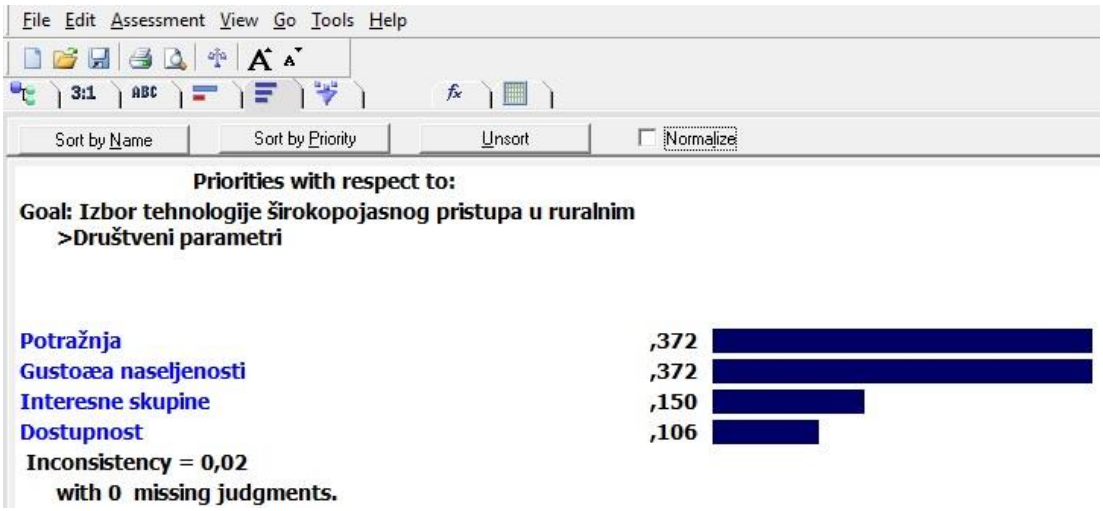
***Slika 19**. Relativne težine podkriterija s ekonomskog aspekta*

S obzirom 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, [19]) smatraju se najbitnijim elementom ekonomskog aspekta implementacije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Također, izvori financiranja izgradnje pristupne mreže vrlo su bitan element ovog kriterija. Vrlo je važno da li će za izgradnju pristupne infrastrukture mrežni operator izdvojiti vlastita sredstva ili će izgradnja biti sufinancirana od strane države, lokalne uprave ili će jedan dio sredstava biti iz određenih fondova. Izgradnja pristupne infrastrukture širokopojasnog pristupa kao i nabavka opreme za ostvarivanje istog - kapitalni troškovi, promatraju se s velikom relativnom težinom jednako kao i prva dva elementa ekonomskog aspekta (slika 19.).

Gledajući ukupne troškove implementacije pristupnih mreža u ruralnim i slabo naseljenim područjima, tada podkriterij povrat investicije ne predstavlja bitni čimbenik u donošenju odluke. Obzirom da se u ovakvim područjima radi o malom broju potencijalnih krajnjih korisnika, mrežni operator ne očekuje veliku dobit sredstava u odnosu na gradska i gusto naseljena područja. Pa se tako često neefikasna ruralna područja, odnosno vođenje, upravljanje i održavanje sustava tih područja podmiruju pomoću sredstava koja se ostvaruju u urbanim i gusto naseljenim područjima. Indeks konzistentnosti kriterija „ekonomski parametri“ iznosi 0,03, što znači da je uspoređivanje podkriterija u parovima dobro strukturirano.



Slika 20. *Uspoređivanje podkriterija s društvenog aspekta*

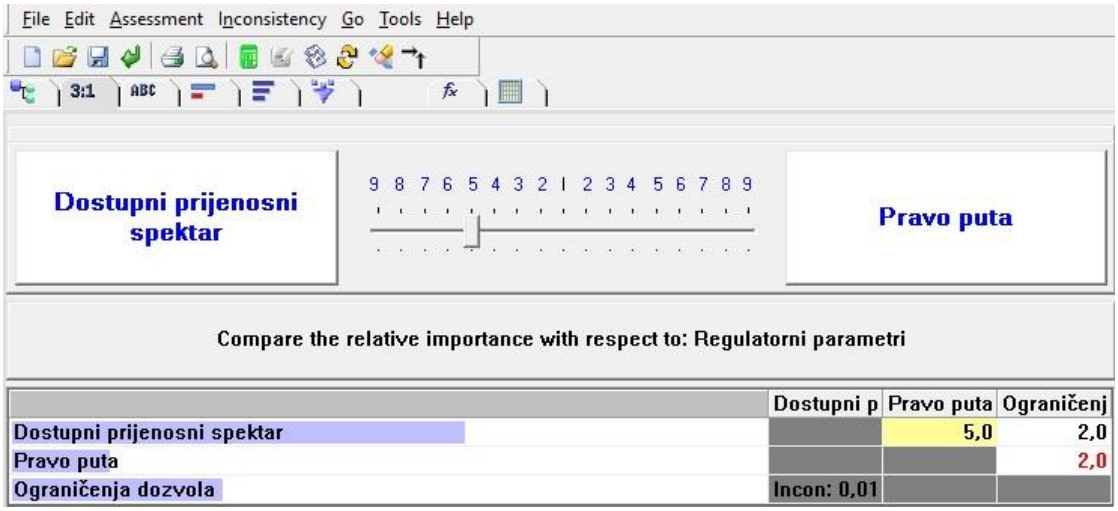


Slika 21. *Rangiranje podkriterija s društvenog aspekta gledišta implementacije širokopojasnog pristupa*

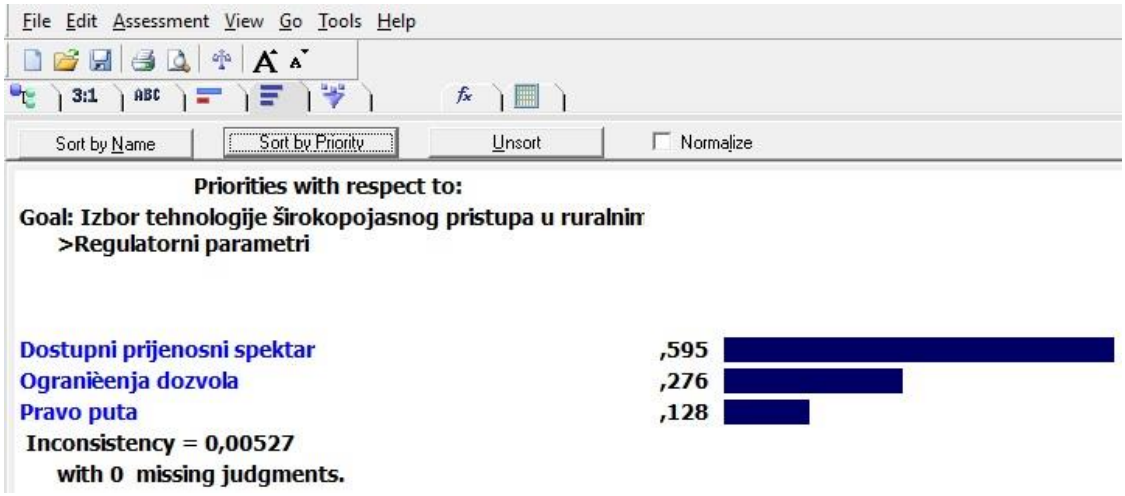
Da bi neka usluga zaživjela ili pristupna mreža bila implementirana, prvotno mora postajati interes za istima. Ukoliko postoji dovoljno velika potražnja potencijalnih krajnjih korisnika za pojedinom uslugom ili za implementacijom širokopojasne pristupne mreže, tek tada će se mrežni operator odlučiti uložiti pojedina sredstva kako bi zadovoljio korisničke prohtjeve.

Adekvatna potražnja za određenom uslugom za sobom povlači i broj korisnika na području gdje se potražuje usluga. To podrazumijeva da mrežni operatori, prije implementacije mrežne infrastrukture ili puštanja u rad usluge, detaljno analiziraju broj korisnika te broj potencijalnih krajnjih korisnika koji bi opravdavali ulaganje sredstava u nove usluge ili pristupne mreže. Dakle, gustoća naseljenosti nekog područja igra

veliku ulogu u donošenju odluka da li će se usluga ili širokopojasna pristupna mreža implementirati. To je vidljivo i na slici 21. gdje su upravo podkriteriji potražnja i gustoća naseljenosti poprimili jednake relativne težine prema Saatyjevoj skali.



Slika 22. *Usporedba podkriterija s područja djelovanja mrežnog regulatora*



Slika 23. *Relativne težine podkriterija kriterija „regulatorni parametri“*

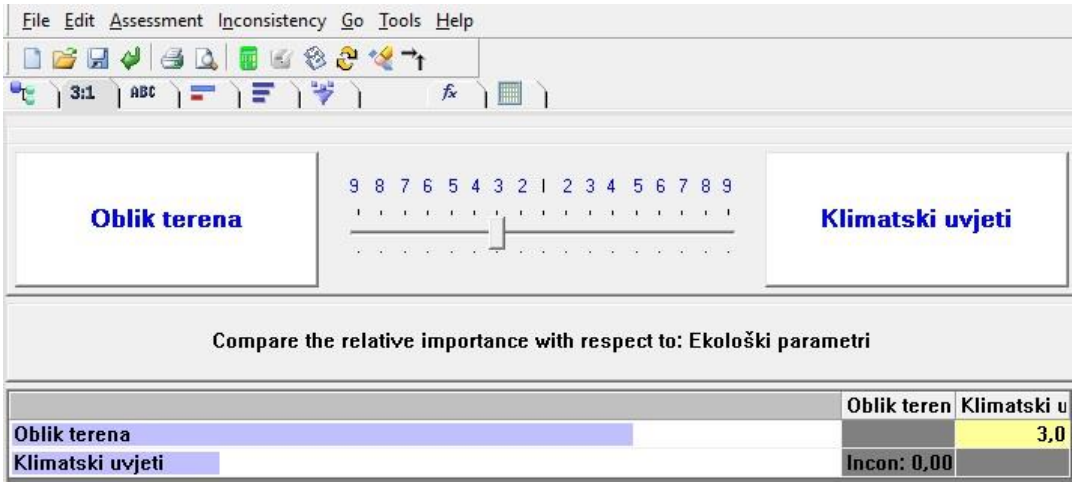
Prije nego li mrežni operator krene sa izgradnjom širokopojasne pristupne mreže, za pristup brzom Internetu na nekom području, prvotno mora zadovoljiti sve potrebne elemente s aspekta regulatornog okvira kao i dobiti sve dozvole za implementaciju i puštanje u rad takve pristupne mreže. S obzirom na vrstu pristupne tehnologije koja će se koristiti za pružanje širokopojasnosti, mrežni operator od nadležnog regulatornog tijela, u Republici Hrvatskoj je to HAKOM, mora dobiti dozvolu za pružanje usluga na određenom prijenosnom spektru, odnosno na određenom frekvencijskom području. Isto tako, regulatorno tijelo može mrežnom operatoru izdati dozvolu za korištenje

frekvencijskog spektra na neko određeno vrijeme, nakon čijeg isteka mrežni operator gubi pravo korištenja tog prijenosnog spektra i pružanja usluga putem istog.

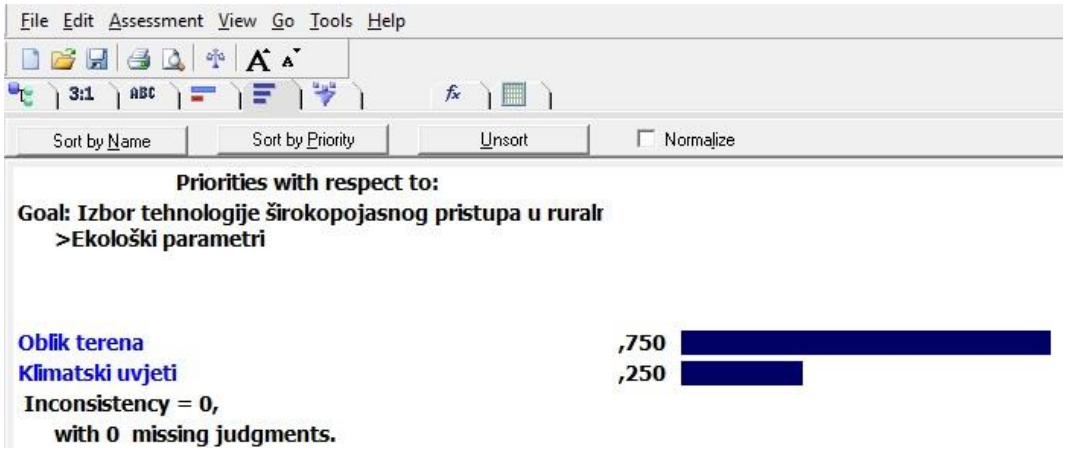
Ako tijekom implementacije infrastrukture širokopojasne pristupne mreže dio te iste infrastrukture prolazi kroz privatni posjed, temeljem zakona o elektroničkim komunikacijama, upravitelj općeg dobra ili vlasnik nekretnine obvezan je trpjeti pravo puta i suzdržati se od bilo kakve radnje kojom bi se na bilo koji način ometalo ostvarivanje tog prava. Infrastrukturni operator plaća upravitelju općeg dobra ili vlasniku nekretnine naknadu za pravo puta, [21].

Iz navedenih razloga, vidljivo je na slikama 22. i 23. kako se unutar kriterija „regulatorni parametri“, podkriterij dostupnost prijenosnog spektra nalazi na prvom mjestu temeljem usporedbe u parovima primjenom Saatyjeve skale. Vidljivo je kako je najveća i glavna zadaća mrežnog operatora, s aspekta regulatornog tijela, dobiti potrebnu dozvolu od nadležne agencije kako bi bio u mogućnosti isporučivati uslugu širokopojasnog pristupa.

Posljednja usporedba podkriterija u parovima je ona koja se tiče topografskih parametara koji utječu na rasprostranjivanje signala kao i klimatoloških čimbenika koji pak utječu na kvalitetu primljenog signala. Pa je tako slikom 24. prikazano međusobno uspoređivanje u parovima dva podkriterija unutar kriterija „ekološki parametri“. To su oblik terena područja na kojem se nastoji pružiti širokopojasni pristup Internetu i klimatski uvjeti koji su mogući na tom području tijekom trajanja komunikacije, odnosno prijenosa podataka.



Slika 24. *Vrednovanje podkriterija kriterija „ekološki parametri“*



Slika 25. *Prikaz relativnih težina podkriterija kriterija „ekološki parametri“*

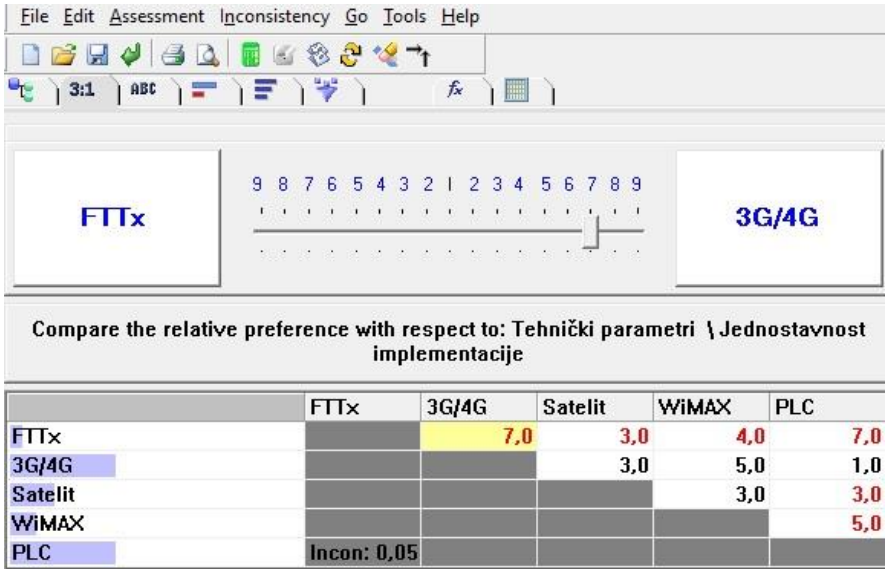
S obzirom da je već u radu navedeno kako pojedine pristupne tehnologije zahtijevaju optičku vidljivost između predajnika i prijemnika, kako bi se omogućila nesmetana komunikacija, parametru oblik terena dodijeljena je veća relativna težina u odnosu na parametar koji je ovisan o klimatskim uvjetima. Isto tako, određene pristupne tehnologije imaju značajnih problema kod pokrivanja signalom planinskih i brdovitih područja, kod kojih se vrlo često dešava ta područja koja se nalaze u dolinama ili kotlinama ostaju nepokrivena signalom te na taj način nisu u mogućnosti iskoristiti širokopojasni pristup koji se pruža na njihovom području.

6.2. Vrednovanje alternativa

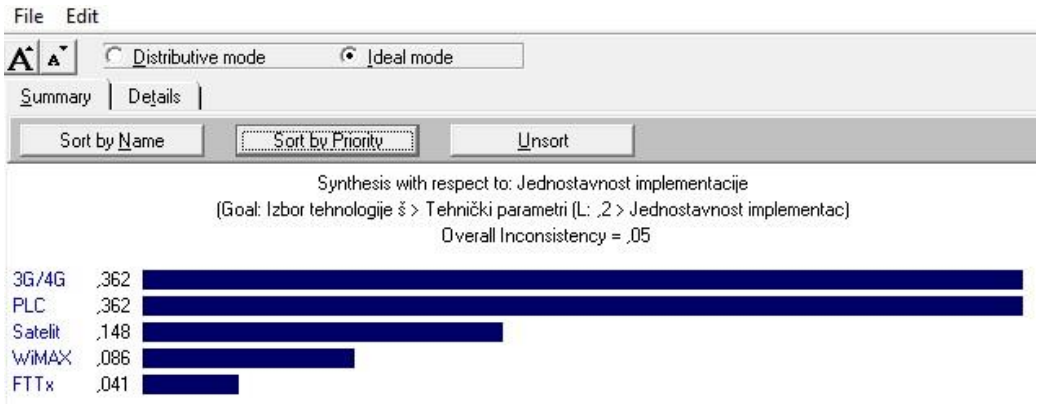
Nakon uspješnog vrednovanja kriterija i podkriterija, sljedeći korak u višekriterijskom odlučivanju je vrednovanje alternativa s obzirom na svaki podkriterij. Relativne težine alternativa, dodjeljivane prema Saatyjevoj skali prioriteta a s obzirom na podkriterije dodjeljivane su na temelju znanja o ciljevima, prednostima i nedostacima definiranih pristupnih tehnologija.

Na slici 26. dan je primjer međusobne usporedbe alternativa s obzirom na podkriterij jednostavnost implementacije širokopojasne pristupne tehnologije. Iz slike 27. vidljivo je kako su najveće prioritete, odnosno relativne težine poprimile dvije pristupne tehnologije, i to mobilne tehnologije treće i četvrte generacije te PLC sustavi, dok je najmanja relativna težina dodijeljena tehnologijama koje se temelje na prijenosu podataka putem optičkih vlakana. Razlog tome je što implementaciji sustava mobilne tehnologije treće i četvrte generacije, kao i PLC sustava, prethodi već izgrađena

mrežna infrastruktura, te se ona za potrebe ovih pristupnih tehnologija treba samo nadograditi, a čime se postižu velike financijske uštede. Za pristup Internetu putem satelita, dio infrastrukture već postoji, odnosno njezin svemirski dio, jer sateliti koji omogućuju pružanje širokopojasnog pristupa Internetu već su lansirani i kreću se u orbiti oko Zemlje. Dio infrastrukture koji je potreban da bi se ostvario širokopojasni pristup je onaj sa korisničke strane. Krajnjeg korisnika potrebno je opremiti sa odgovarajućom prijemnom antenom te modemom. Niski prioriteti WiMAX i FTTx pristupne tehnologije mogu se objasniti njihovom visokom cijenom implementacije, iz razloga što se njihova pristupna infrastruktura mora iz temelja izgraditi, a pošto su još uvijek cijene optičkih vlakana veoma visoke, FTTx pristupna tehnologija poprimila je najmanji prioritet temeljem ovog podkriterija.

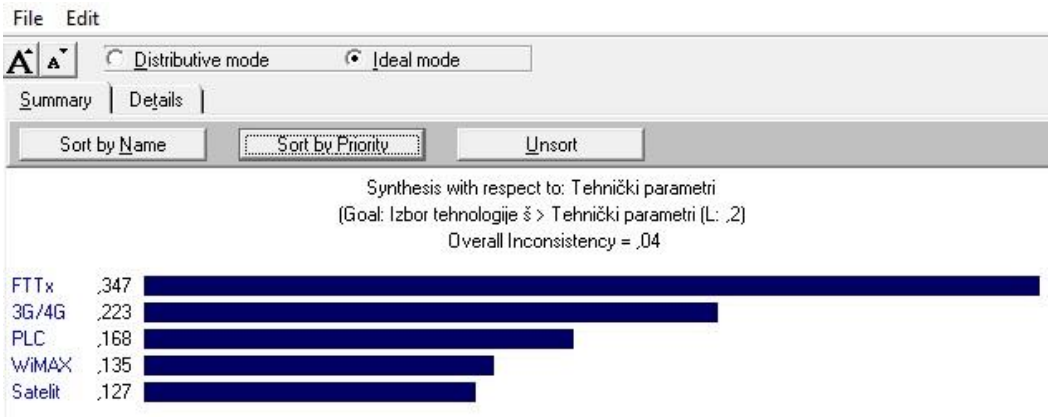


Slika 26. *Postupak uspoređivanja alternativa po podkriteriju jednostavnost implementacije*

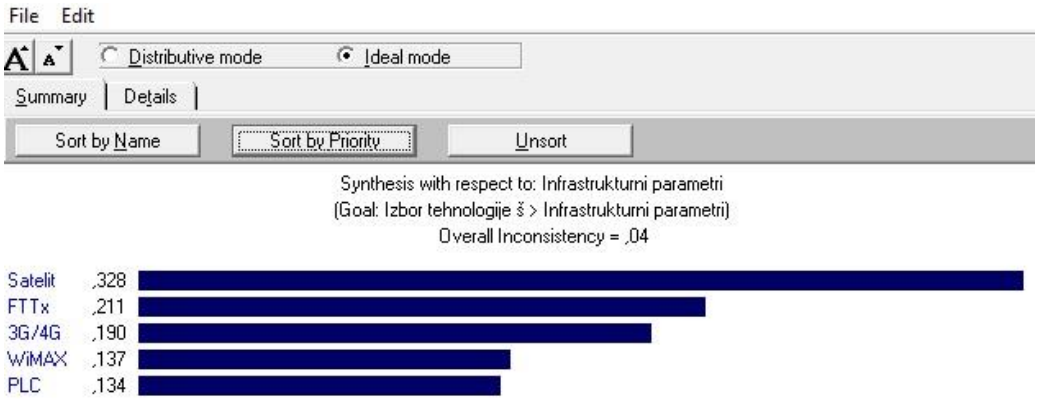


Slika 27. *Prioriteti alternativa po podkriteriju jednostavnost implementacije*

Ovakav način uspoređivanja alternativa s obzirom na podkriterije vrši se za svaki podkriterij pojedinog kriterija unutar definiranog AHP modela. Na taj način dobiju se ukupni prioriteti zadanih alternativa s obzirom na određeni kriterij. Pa tako se na slici 28. može uočiti da s gledišta tehničkih parametara, pristupnim tehnologijama koje se temelje na prijenosu podataka optičkim vlaknima je dodijeljen najveći prioritet, dok prijenosu podataka putem satelita najmanji.



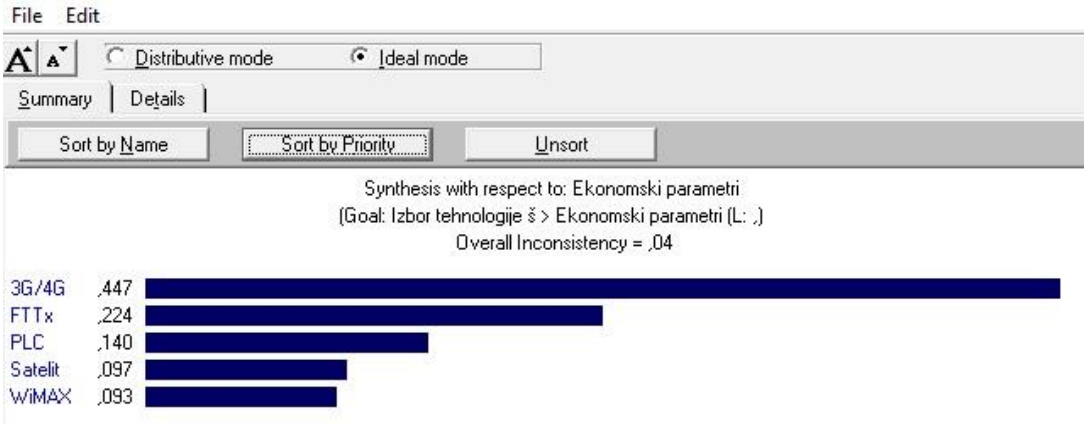
Slika 28. *Prioriteti alternativa po kriteriju „tehnički parametri“*



Slika 29. *Prioriteti alternativa po kriteriju „infrastrukturni parametri“*

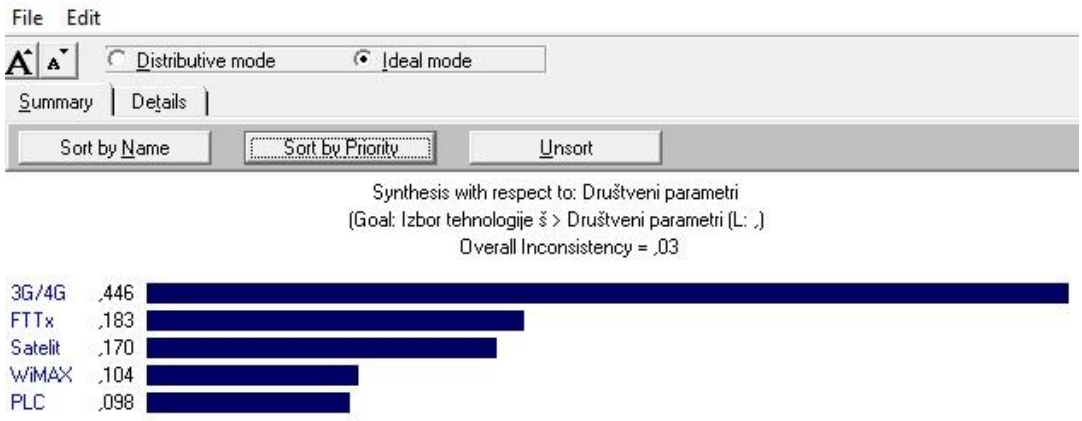
Kada se gledaju ukupni prioriteti alternativa po kriteriju „infrastrukturni parametri“ tada je najveću relativnu težinu poprimila širokopojasna pristupna tehnologija temeljena na prijenosu podataka putem satelitskih veza, dok najmanju PLC pristupna tehnologija, odnosno pristupna tehnologija kod koje se prijenos podataka omogućava putem vodova elektroenergetske mreže. Razlog tome je što u ovoj grupi podkriterija, podkriterij domet pokrivenosti je dominantan podkriterij, a alternativa satelitskog pristupa Internetu ima veliku prednost upravo u elementu pokrivanja velikog prostora signalom. Također, i kod parametra sigurnosti fizičke infrastrukture ovaj oblik pristupne tehnologije prednjači u odnosu na druge oblike tehnologija. Kako je već navedeno u

radu, dio infrastrukture za ovu pristupnu tehnologiju postoji, pa sama implementacija ove usluge je kratkotrajna te se može iskoristiti već postojeći resursi kako bi se omogućio pristup širokopojasnom Internetu u ruralnim i slabo naseljenim područjima.



Slika 30. *Prioriteti alternativa po kriteriju „ekonomski parametri“*

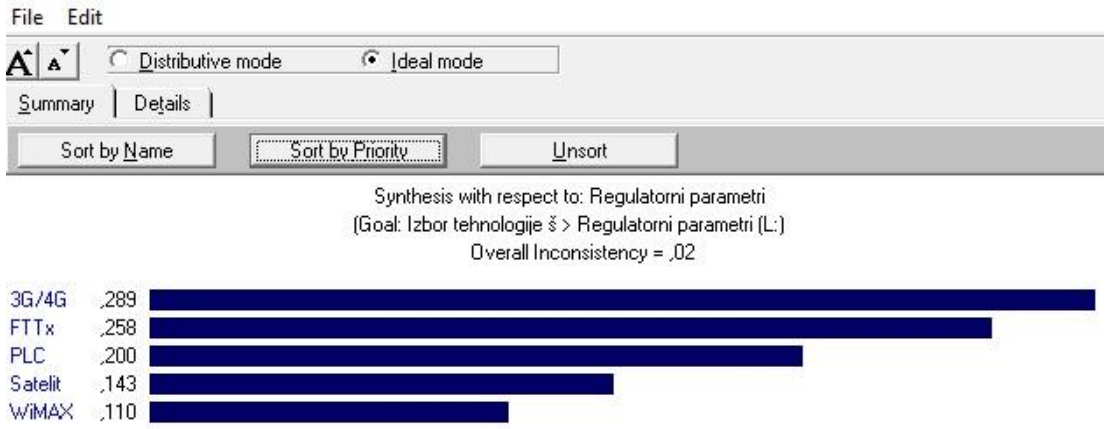
Što se tiče troškova i ekonomskog aspekta uvođenja širokopojasnog pristupa u ruralna i slabo naseljena područja, najveća relativna težina dana je mobilnim pristupnim tehnologijama treće i četvrte generacije, temeljem Saatyjeve skale prioriteta. Gledajući svaki od podkriterija kriterija „ekonomski parametri“ (operativni troškovi, izvori financiranja, kapitalni troškovi, povrat investicije te gospodarski razvoj područja) ova alternativna tehnologija nalazi se na prvom mjestu po dodijeljenim prioritetima.



Slika 31. *Prioriteti alternativa s aspekta društva*

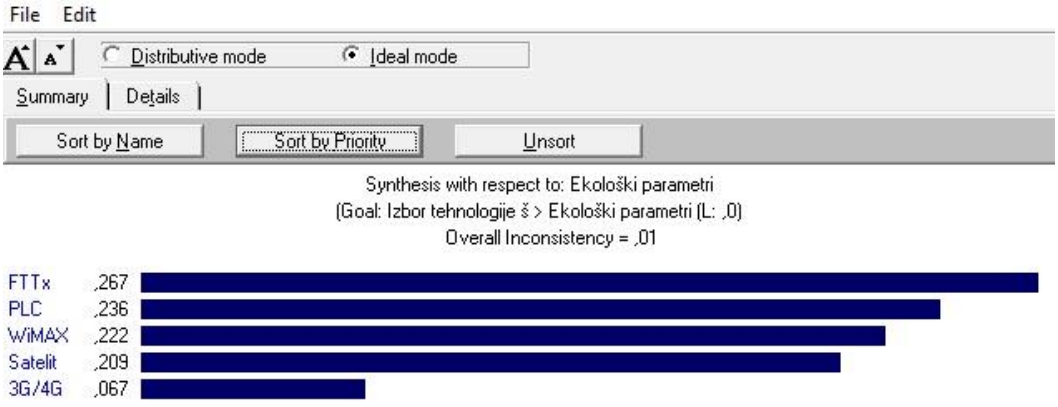
Kada se promatraju alternativne pristupne tehnologije sa aspekta krajnjeg korisnika, vidljivo je da mobilne pristupne tehnologije treće i četvrte generacije ponovno poprimaju najveći stupanj prioriteta. S obzirom da su u današnje vrijeme najzastupljenije, tj. najimplementiranije upravo tehnologije bežičnog prijenosa,

odnosno 3G i 4G, razumljivo je i da je potražnja krajnjih korisnika tim veća upravo za tim pristupnim tehnologijama. Kako su korisnici u ruralnim i slabo naseljenim područjima pretežito osobe starije životne dobi te je njihov broj vrlo malen a njihovi zahtjevi minimalni i jednostavni, mrežnim operatorima se ne isplati ulagati velika sredstva u izgradnju novih pristupnih rješenja, već ponuditi postojeća ili ih nadograditi sa minimalnim ulaganjima.



Slika 32. *Relativne težine alternativa po kriteriju „regulatorni parametri“*

Sljedeća usporedba alternativa je ona sa aspekta regulatornog okvira. Također, i prema ovom kriteriju mobilne pristupne tehnologije treće i četvrte generacije poprimaju najveći stupanj prioriteta, odnosno relativnu važnost. Donijeti standardi kao i definirana frekvencijska područja djelovanja ove pristupne tehnologije omogućuju joj da se ponudi kao najbolje alternativno rješenje s aspekta nadležnog regulatora.



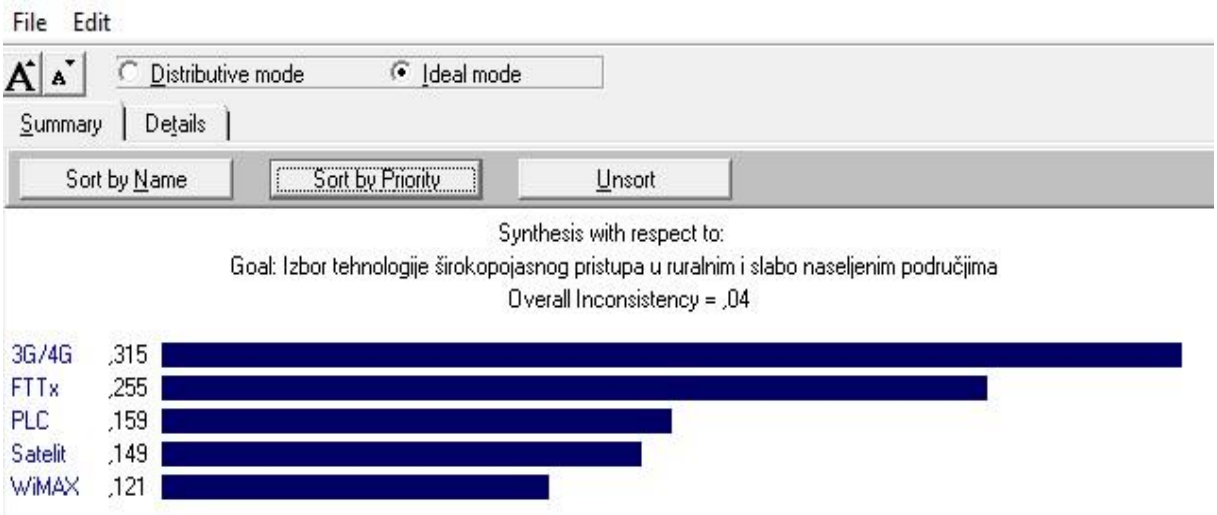
Slika 33. *Rangiranje alternativa prema kriteriju „ekološkog parametra“*

S obzirom na oblik terena, odnosno geografski položaj područja na kojem se uvodi širokopojasni pristup Internetu, iz slike 33. vidljivo je kako pristupne tehnologije koje se

temelje na prijenosu podataka žičnim medijem i tehnologije kod kojih nije bitna optička vidljivost, poprimaju najveće relativne težine, odnosno stupanj prioriteta kada se promatra kriterij „ekološki parametri“.

6.3. Izbor tehnologije širokopojasnog pristupa

Nakon što je završeno vrednovanje svih definiranih alternativa po svakom kriteriju i podkriteriju, može se odrediti optimalna varijanta, odnosno konačni rezultat izbora tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Slika 34. prikazuje ukupne prioritete alternativa nakon provedene sinteze s obzirom na predstavljeni cilj.



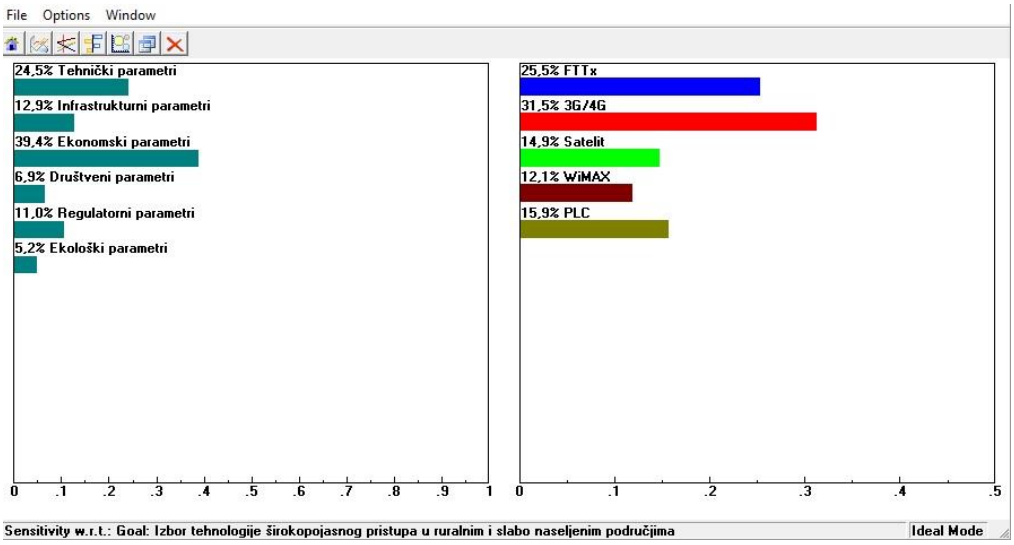
Slika 34. *Ukupni prioriteti alternativa*

Alternative su sortirane prema veličini prioriteta. Najmanji ukupni prioritet iznosi 0,121 i odnosi se na pristupnu tehnologiju WiMAX, dok se može uočiti na slici 34. da je najveći ukupni prioritet 0,315, iz čega proizlazi da je za izbor tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima najoptimalnija mobilna pristupna tehnologija treće i četvrte generacije. Ukupni indeks konzistencije iznosi 4% (0,04). Obzirom da je manji od 10% može se ustvrditi da je cjelokupan AHP model dobro strukturiran.

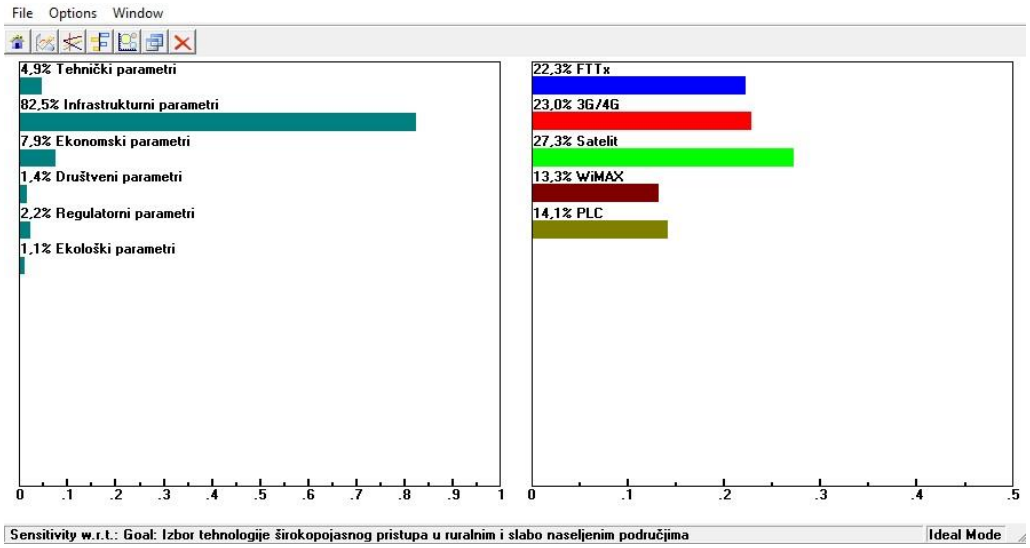
Posljednji korak u procesu donošenja odluke je analiza osjetljivosti koja se temelji na vizualizaciji posljedica promjena ulaznih podataka. Analiza osjetljivosti provodi se sa ciljem da se uoči u kojoj mjeri se promjene ulaznih podataka odražavaju na ukupne

prioritete alternativa. Programski alat *Expert Choice* također podržava primjenu analize osjetljivosti te će se ona uz pomoć istog provesti i prikazati na kvalitetan način. Postoji pet različitih vrsta grafikona pomoću kojih se može prezentirati analiza osjetljivosti. To su: *Dynamic, Gradient, Head to Head, Performance i 2D*.

Dinamički grafički prikaz omogućava uvid u to kako se dinamički mijenjaju prioriteti alternativa ukoliko se mijenjaju težine pojedinih kriterija. Povećanjem ili smanjenjem važnosti određenog kriterija, težine ostalih kriterija proporcionalno se mijenjaju u odnosu na početne kriterije. Kako se ta promjena težine kriterija odražava na prioritete alternativa moguće je vidjeti na slikama 35. i 36.

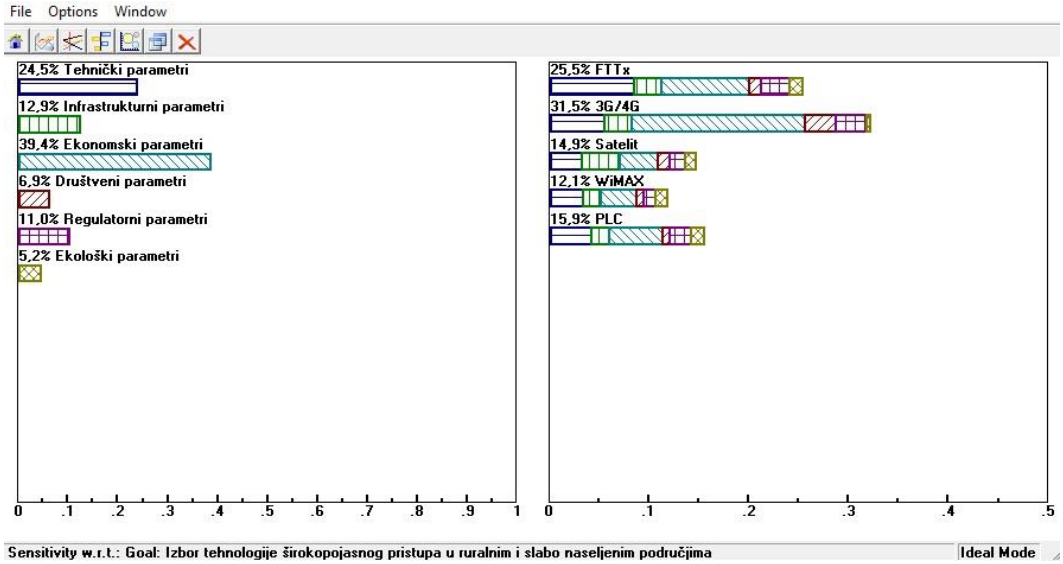


Slika 35. *Dynamic grafički prikaz analize osjetljivosti – početni problem*

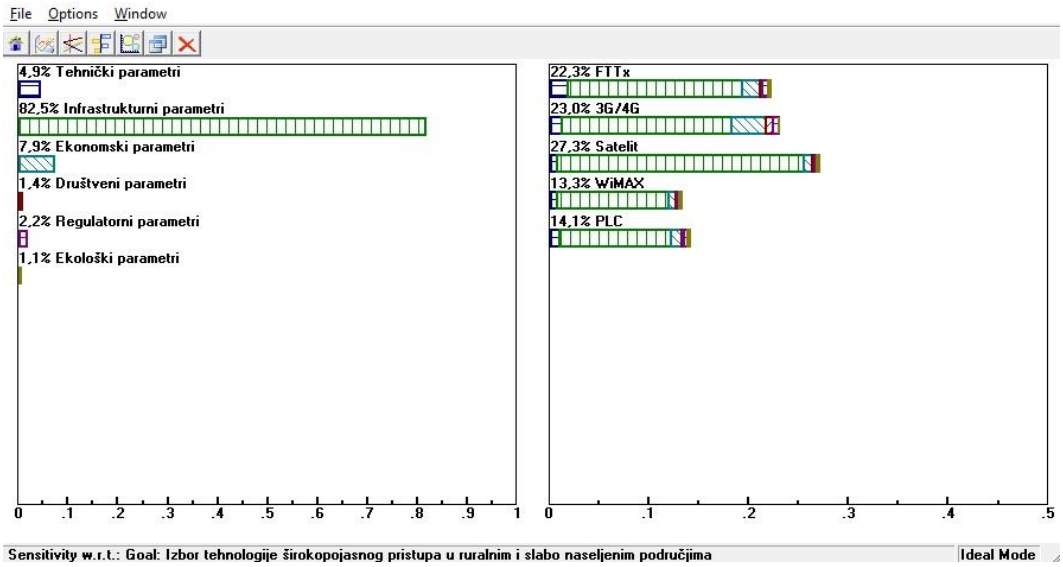


Slika 36. *Dynamic grafički prikaz analize osjetljivosti – izmijenjeni problem*

Na slici 36. vidljivo je da znatno povećanje prioriteta kriterija „infrastrukturni parametri“ rezultira promjenom poretka definiranih alternativa. Širokopojasni pristup Internetu putem satelitskih veza poprima najveću relativnu važnost te se u tom slučaju ta pristupna tehnologija uzima kao optimalna za implementaciju u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Također, ovaj grafički prikaz ima i opciju *Components* u kojoj je moguće vidjeti udjele težina pojedinih kriterija u ukupnom prioritetu alternativa (slika 37. i 38.).



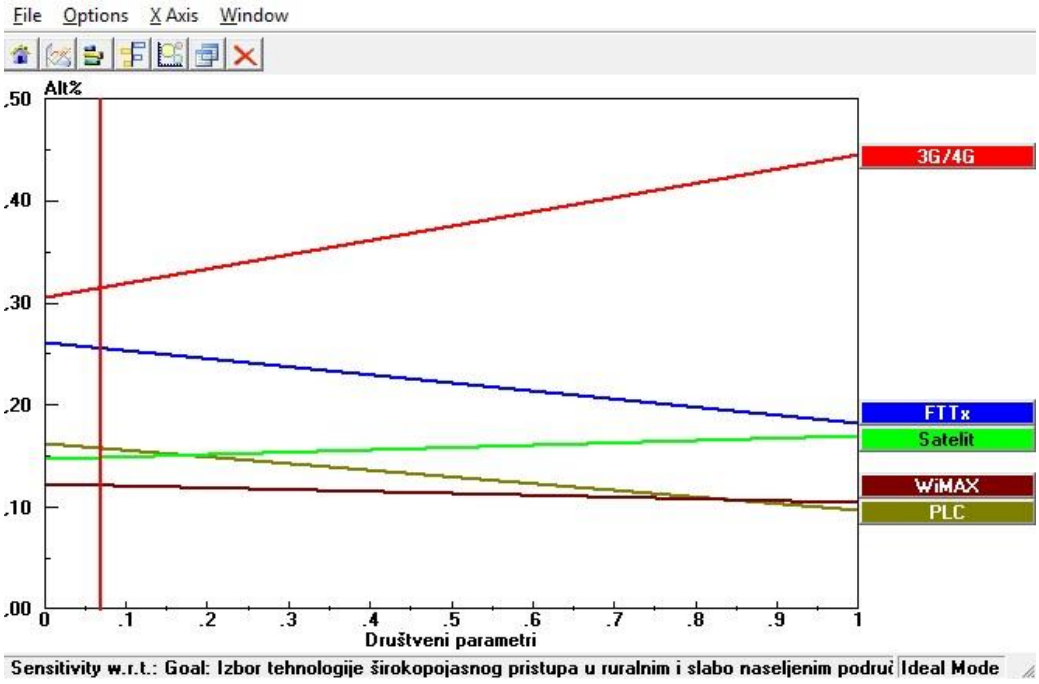
***Slika 37**. Dynamic grafički prikaz analize osjetljivosti pomoću opcije Components – početni problem*



***Slika 38.** Dynamic grafički prikaz analize osjetljivosti pomoću opcije Components – izmijenjeni problem*

Pomoću ove opcije može se dobiti odgovor na određena pitanja. Primjerice: Kolika bi trebala biti težina kriterija „infrastrukturni parametri“ da širokopojasna pristupna tehnologija putem satelitskih veza bude optimalna za izbor tehnologije u ruralnim i slabo naseljenim područjima.

Sljedeći grafički prikaz kojim se opisuje analiza osjetljivosti je *Gradient.* Ova vrsta grafikona predočuje kako promjene težina pojedinih kriterija utječu na prioritete alternativa. Za primjer ovog grafičkog prikaza analize osjetljivosti bit će prikazan jedan grafikon osjetljivosti alternativa na promjene kriterija.

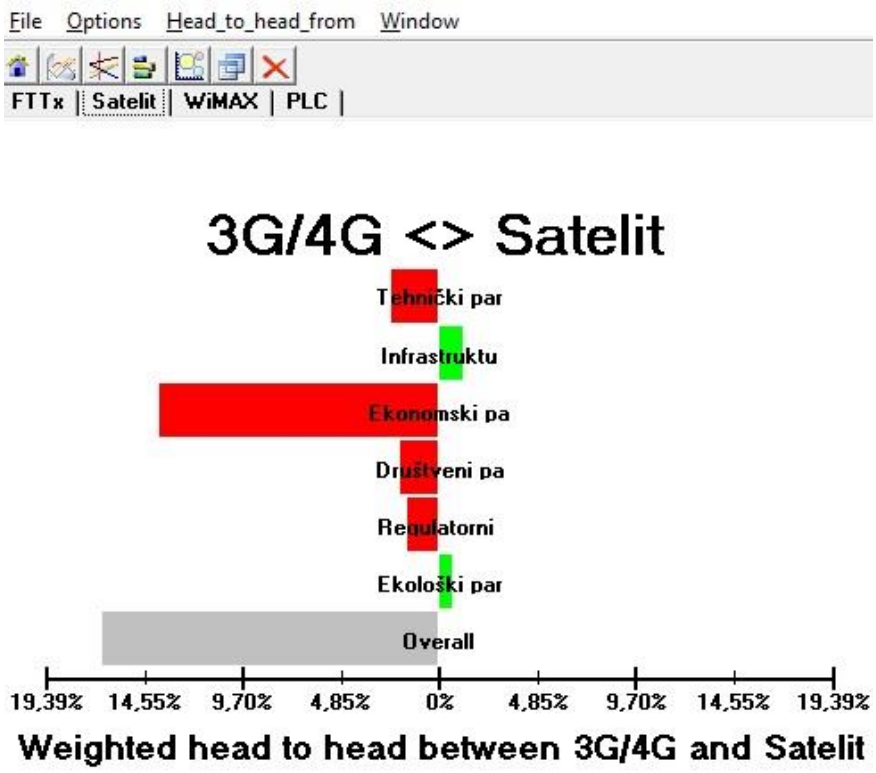


Slika 39. *Gradient grafički prikaz osjetljivosti alternativa na promjene kriterija „društveni parametri“*

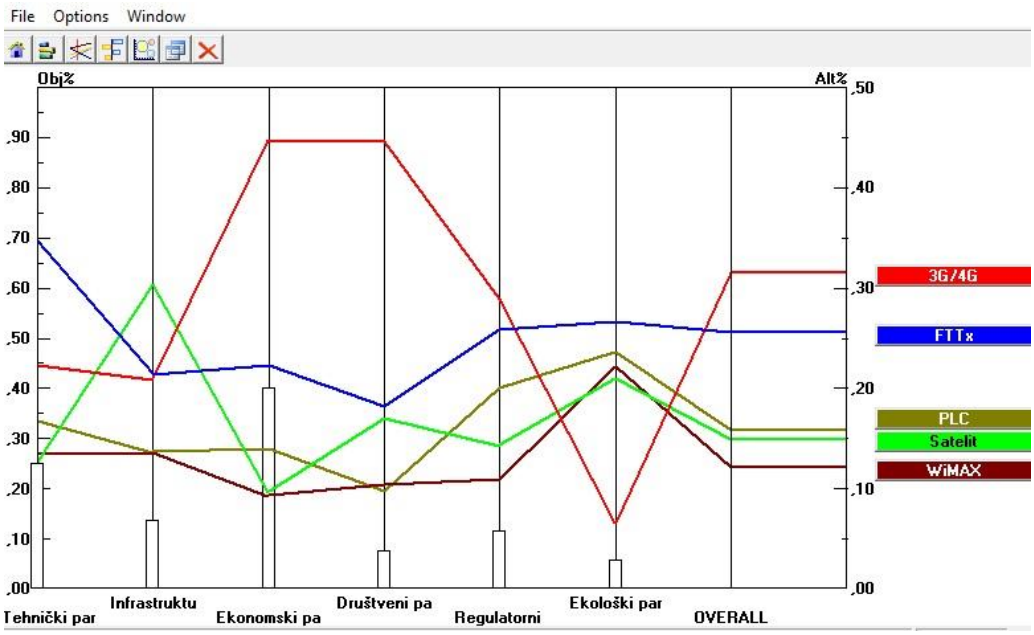
Na slici 39. prikazana je osjetljivost prioriteta alternativa s obzirom na promjene kriterija „društveni parametri“. Može se uočiti da prioriteti mobilne pristupne tehnologije treće i četvrte generacije rastu sa porastom težine promatranog kriterija, prioriteti tehnologija FTTx i PLC opadaju, dok na prioritete pristupne tehnologije putem satelitskih veza i WiMAX pristupne tehnologije relativno malo utječu promjene težine promatranog kriterija.

U *Head to head* opciji analize osjetljivosti moguće je vizualizirati odnose razmatranih alternativa u svim parovima na način da međusobni kvalitativni odnos dvije alternative bude prikazan pravokutnim površinama. Ukupna prednost jedne alternative u odnosu na drugu prikazana je osjenčanom pravokutnom površinom na

najnižoj razini prikaza grafikona. Za primjer ove vrste grafičkog prikazana dana je usporedba mobilne pristupne tehnologije treće i četvrte generacije u odnosu na pristupne tehnologije koje se baziraju na prijenosu podataka putem satelitskih veza (slika 40.).



Slika 40. *Prikaz odnosa dviju alternativa pomoću Head to head grafičkog prikaza*



Slika 41. *Performance grafički prikaz analize osjetljivosti*

Performance grafički prikaz (slika 41.) omogućava prikaz utjecaja pojedinih težina kriterija na poredak alternativa. Razlikuju se trenutni i ukupni poredak alternativa. Trenutni poredak alternativa predstavlja promjenu prioriteta alternative pod utjecajem težine jednog kriterija (na x-osi moguće je vidjeti kriterije i njihov utjecaj na pojedinu alternativu) dok ukupni poredak alternativa predstavlja poredak alternativa pod utjecajem težina svih kriterija.

7. ZAKLJUČAK

Unatoč današnjoj velikoj rasprostranjenosti širokopojasnog pristupa Internetu još uvijek postoje brojna područja koja nisu u mogućnosti pristupiti informacijsko komunikacijskim tehnologijama i uslugama koje proizlaze iz njih. Nedovoljna dostupnost širokopojasnog pristupa Internetu karakteristična je za ruralna i slabo naseljena područja koja se susreću s mnogim problemima opisanim u ovom diplomskom radu. Jedno od rješenja koje bi smanjilo tehnološku razliku ovih područja u odnosu na urbane sredine je upravo implementacija brzog pristupa Internetu.

Kako bi se problemi opisani u radu donekle smanjili uvedena je minimalna razina usluge koja mora biti isporučena svakom krajnjem korisniku, odnosno univerzalna usluga. Da bi se krajnjem korisniku isporučila univerzalna usluga potrebno je odabrati odgovarajuću mrežnu infrastrukturu koja će se implementirati u pristupnoj mreži, a koja može biti žična ili bežična.

Kada se gledaju ruralna i slabo naseljena područja kao pristupna rješenja nameću se njih nekoliko: pristup Internetu putem digitalne pretplatničke linije ili optičkih vlakana, pristup Internetu putem elektroenergetske mreže, pristup Internetu putem bežičnih radijskih veza (3G/4G mobilne tehnologije, WiMAX tehnologija) te pristup Internetu putem jednosmjernih ili dvosmjernih satelitskih veza. Koje pristupno rješenje će se izabrati za implementaciju na određeno područje ruralnog ili slabo naseljenog područja ovisi o mnogo parametara. Zbog toga se moraju promatrati sljedeći kriteriji kod izbora pristupnih tehnologija: tehnički, infrastrukturni, ekonomski, društveni, regulatorni te ekološki. Svaki od definiranih kriterija sadrži grupu podkriterija koji ga detaljno opisuju kroz bitne karakteristike pristupnih tehnologija.

Rješavanje složenih problema kao što je izbor tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima pripada u domenu višekriterijskog odlučivanja. Pa je tako i u ovom diplomskom radu ovaj problem prožet kroz AHP metodu donošenja odluka. Definiran je i predložen model višekriterijskog odlučivanja pomoću kojeg se može izvršiti izbor pristupnog rješenja za bilo koje ruralno ili slabo naseljeno područje. Kriteriji i podkriteriji koji su definirani u sklopu modela detaljno su analizirani a sve u svrhu kako bi se dobilo optimalno pristupno rješenje za pružanje

širokopojasnog pristupa u područjima koja nemaju implementiranu adekvatnu pristupnu mrežnu infrastrukturu.

Vrednovanje svih elemenata predloženog AHP modela napravljeno je na temelju korištene literature (prethodnog istraživanja), odnosno subjektivnog ocjenjivanja i služi kao primjer u funkciji odabira optimalne alternative izbora tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima. Nakon završenog procesa odlučivanja prema modelu višekriterijskog odlučivanja kao optimalno pristupno rješenje za pružanje širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima dobivena je mobilna pristupna tehnologija treće i četvrte generacije. To je bilo i za očekivati gledajući sve potrebne zahtjeve i zahvate za implementaciju iste. Velike brzine prijenosa podataka, niska cijena opreme, brza i jednostavna implementacija, nadogradnja postojeće infrastrukture, relativno mali troškovi u odnosu na druga pristupna rješenja i potražnja samo su neki od parametara koji idu u prilog ovoj vrsti širokopojasnog pristupa Internetu.

Može se zaključiti kako se rezultat ovog procesa odlučivanja može prenijeti na gotovo sva ruralna i slabo naseljena područja, temeljem njihovih karakteristika, s obzirom da će ovakvo pristupno rješenje mrežnom operatoru biti prihvatljivije za implementaciju i održavanje.

POPIS LITERATURE

[1] Dubravić, S.: Tehnološke izvedbe FTTx kabelskih sustava, NETIKS d.o.o., Zagreb, 2006., URL: http://netiks.hr/wp-content/uploads/2014/12/KOM2006-TEHNOLOSKE_IZVEDBE_FTTx_KABELSKIH_SUSTAVA.pdf (pristupljeno: kolovoz 2016.)

[2] URL: http://www.cise.ufl.edu/~nemo/plc/refs/OP2_WP7_D52r2_WP_Comparison_Access_Tech.pdf (pristupljeno: kolovoz 2016.)

[3] Pravilnik o univerzalnim uslugama u elektroničkim komunikacijama, Narodne novine, br. 146/12, 82/14, 41/16

[4] Križanović, V.: Tehno-ekonomski model za uvođenje širokopojasnog pristupa Internetu u ruralnim područjima, Doktorska dizertacija, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2014.

[5] Bažant, A.: Uvod u xDSL i ADSL, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.

[6] Kavran, Z.: Širokopojasne pristupne mreže, Autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.

[7] Bažant, A.: Širokopojasni pristup, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2014.

[8] Nacionalni CERT: Sigurnost mobilnih mreža, 2010., URL: http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-06-303.pdf (pristupljeno: kolovoz 2016.)

[9] URL: http://www.mtel.ba/images/content/pdf/LTE_tehnologija.pdf (pristupljeno: kolovoz 2016)

[10] Čolak, K., Sok, A.: Pristup Internetu putem satelita, Tehnički fakultet u Rijeci, Rijeka, 2016.

[11] URL:https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/fp/2010-com-digital-agenda.pdf (pristupljeno: kolovoz 2016.)

[12] Strategija razvoja širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2016. do 2020., Vlada Republike Hrvatske, 2016., URL: http://www.mppi.hr/UserDocsImages/Strategija-sirokopojasni-pristup2016-2020-usvojeno%20na%20VRH.pdf (pristupljeno: kolovoz 2016.)

[13] HAKOM: Tromjesečni usporedni podaci tržišta elektroničkih komunikacija u Republici Hrvatskoj, 2016., URL: https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2016/e_trziste/Tromjese%C4%8Dni%20usporedni%20podatci%20za%20tr%C5%BEi%C5%A1te%20elektroni%C4%8Dkih%20komunikacija%20RH_Q12016.pdf (pristupljeno: kolovoz 2016.)

[14] Dujmić, D.: Primjena višekriterijskog odlučivanja u odabiru lokacije skladišta, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.

[15] Puška, A.: Rangiranje čimbenika za odabir dobavljača putem TOPSIS metode, Oeconomica Jadertina, 5(2), 3-12, 2015.

[16] Klanac, J., Perkov, J., Krajnović, A.: Primjena AHP i PROMETHEE metode na problem diverzifikacije, Oeconomica Jadertina, 3(2), 3-27, 2013.

[17] Kavran, Z.: Višekriterijsko odlučivanje, Autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2015.

[18] Begičević, N.: Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja, Doktorska dizertacija, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin, 2008.

[19] HAKOM: Metodologija izrade i primjene troškovnih modela za nepokretnu i pokretnu mrežu i univerzalnu uslugu, Zagreb, 2012.

[20] URL: http://expertchoice.com/ (pristupljeno: rujan 2016.)

[21] Zakon o elektroničkim komunikacijama, Narodne novine, br. 73/08, 90/11, 133/12, 80/13, 71/14

POPIS KRATICA

ADSL	(*Asymmetric Digital Subscriber Line*) asimetrična digitalna pretplatnička linija
AHP	(*Analytic Hierarchy Proces*) analitički hijerarhijski proces
AIRM	(*Agregated Indices Randomization Method*) metoda višekriterijskog odlučivanja
ANP	(*Analytic Network Proces*) analitički mrežni proces
BPL	(*Broadcast Over Powerlines*) tehnologija širokopojasnog pristupa putem vodova elektroenergetske mreže
CMTS	(*Cable Modem Termination System*) centralni uređaj kabelske mreže (koncentrator kabelskih modema)
COPRAS-G	(C*omplex PRoportional ASsessment of alternative with Grey relations)* metoda višekriterijskog odlučivanja
DBS	(*Direct Broadcast Satellite*) satelit za emitiranje satelitske televizije
DEA	(*Data Envelopment Analysis*) metoda višekriterijskog odlučivanja
DOCSIS	(*Data Over Cable Service Interface Specification*) standard kabelske infrastrukture
DSL	(*Digital Subscriber Line*) digitalna pretplatnička linija
ELECTRE	(*ELimination Et Choix Traduisant la REalite*) metoda višekriterijskog odlučivanja
FTTB	(*Fiber to the Building*) optička nit do zgrade
FTTC	(*Fiber to the Curb*) optička nit do pločnika
FTTCab	(*Fiber to the Cabinet*) optička nit do ormarića
FTTH	(*Fiber to the Home*) optička nit do kuće
GAIA	(*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) metoda geometrijske prezentacije rezultata PROMETHEE metoda

GRA	(*Grey Relational Analysis*) metoda višekriterijskog odlučivanja
HFC	(*Hybrid Fiber-Coaxial*) hibridno optičko-koaksijalna mreža
HSDPA	(*High Speed Downlink Packet Access*) protokol treće generacije mobilnih mreža koji omogućava brzi prijenos podataka
IP	(*Internet Protocol*) mrežni protokol za prijenos podataka
LTE	(*Long Term Evolution*) bežična telekomunikacijska tehnologije četvrte generacije
MAUT	(*Multi-Attribute Utility Theory*) metoda višekriterijskog odlučivanja
MAVT	(*Multi-Attribute Value Theory*) metoda višekriterijskog odlučivanja
MIMO	(*Multiple Input, Multiple Output*) matematički model sustava s više prijemnih i odašiljačkih antena
OFDM	(*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) frekvencijski multipleks ortogonalnih podnosilaca
OLT	(*Optical Line Termination*) optički čvor
P2MP	(*Point to Multi Point*) topologija mreže od točke do više točaka
P2P	(*Point to Point*) topologija mreže od točke do točke
PLC	(*Powerline Communication*s) pristupna tehnologija čija se komunikacija odvija putem vodova elektroenergetske mreže
PROMETHEE	(*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations*) metoda višekriterijskog odlučivanja
SMART	(*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) metoda višekriterijskog odlučivanja
TOPSIS	(*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) metoda višekriterijskog odlučivanja
UMTS	(*Universal Mobile Telecommunications System*) tehnologije mobilne komunikacije treće generacije

VDSL	(*Very high data rate Digital Subscriber Line*) digitalna pretplatnička linija velikih brzina prijenosa podataka
VIKOR	Višekriterijsko Kompromisno Rangiranje
WiMAX	(*Worldwinde Interoperability for Microwave Access*) širokopojasne pristupne tehnologije za ostvarivanje gradskih bežičnih mreža
WLAN	(*Wireless Local Area Network*) bežična lokalna mreža

POPIS ILUSTRACIJA

Popis slika:

Slika 1. xDSL pristupne tehnologije 6
Slika 2. Topologija HFC mreže 8
Slika 3. Prikaz FTTx tehnologija širokopojasnog pristupa 9
Slika 4. Arhitektura PLC mreža 11
Slika 5. Arhitektura WiMAX pristupne mreže 13
Slika 6. Prikaz arhitekture širokopojasnog pristupa Internetu putem satelita 16
Slika 7. Hijerarhijska struktura AHP višekriterijske metode 24
Slika 8. Linearna hijerarhija 28
Slika 9. Mreža povratnih veza 28
Slika 10. Hijerarhijska struktura AHP modela 31
Slika 11. Struktura AHP modela prikazana programskim alatom Expert Choice 36
Slika 12. Vrednovanje kriterija u parovima prema Saatyjevoj skali 37
Slika 13. Relativne težine kriterija 37
Slika 14. Uspoređivanje podkriterija unutar kriterija „tehnički parametri“ 38
Slika 15. Relativne težine podkriterija unutar kriterija „tehnički parametri“ 39
Slika 16. Vrednovanje podkriterija unutar kriterija „infrastrukturni parametri“ 39
Slika 17. Rangiranje podkriterija kriterija „infrastrukturni parametri“ 40
Slika 18. Uspoređivanje podkriterija s ekonomskog aspekta 40
Slika 19. Relativne težine podkriterija s ekonomskog aspekta 41
Slika 20. Uspoređivanje podkriterija s društvenog aspekta 42
Slika 21. Rangiranje podkriterija s društvenog aspekta gledišta implementacije širokopojasnog pristupa 42
Slika 22. Usporedba podkriterija s područja djelovanja mrežnog regulatora 43
Slika 23. Relativne težine potkriterija kriterija „regulatorni parametri“ 43
Slika 24. Vrednovanje podkriterija kriterija „ekološki parametri“ 44
Slika 25. Prikaz relativnih težina podkriterija kriterija „ekološki parametri“ 45
Slika 26. Postupak uspoređivanja alternativa po podkriteriju jednostavnost implementacije 46
Slika 27. Prioriteti alternativa po podkriteriju jednostavnost implementacije 46
Slika 28. Prioriteti alternativa po kriteriju „tehnički parametri“ 47

Slika 29. Prioriteti alternativa po kriteriju „infrastrukturni parametri“ 47
Slika 30. Prioriteti alternativa po kriteriju „ekonomski parametri“..... 48
Slika 31. Prioriteti alternativa s aspekta društva..... 48
Slika 32. Relativne težine alternativa po kriteriju „regulatorni parametri“ 49
Slika 33. Rangiranje alternativa prema kriteriju „ekološkog parametra“ 49
Slika 34. Ukupni prioriteti alternativa..... 50
Slika 35. Dynamic grafički prikaz analize osjetljivosti – početni problem 51
Slika 36. Dynamic grafički prikaz analize osjetljivosti – izmijenjeni problem 51
Slika 37. Dynamic grafički prikaz analize osjetljivosti pomoću opcije Components – početni problem..... 52
Slika 38. Dynamic grafički prikaz analize osjetljivosti pomoću opcije Components – izmijenjeni problem..... 52
Slika 39. Gradient grafički prikaz osjetljivosti alternativa na promjene kriterija „društveni parametri“ 53
Slika 40. Prikaz odnosa dviju alternativa pomoću Head to head grafičkog prikaza.. 54
Slika 41. Performance grafički prikaz analize osjetljivosti 54

Popis tablica:

Tablica 1. Broj priključaka širokopojasnog pristupa u Republici Hrvatskoj..... 4
Tablica 2. Vrste širokopojasnih pristupnih tehnologija 5
Tablica 3. Saatyjeva skala prioriteta 25

METAPODACI

Naslov rada: Izbor tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima primjenom metode višekriterijskog odlučivanja

Student: Marijo Zubec

Mentor: Doc. dr. sc. Ivan Grgurević

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Selection of Broadband Access Technology in Rural and Sparsely Populated Areas Using the Multiple Criteria Decision Making

Povjerenstvo za obranu:

- Prof. dr. sc. Zvonko Kavran, predsjednik
- Doc. dr. sc. Ivan Grgurević, mentor
- Doc. dr. sc. Marko Periša, član
- Izv. prof. dr. sc. Dragan Peraković, zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Informacijsko-komunikacijski promet

Vrsta studija: diplomski

Studij: Promet

Datum obrane diplomskog rada: 27. rujna 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

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

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Izbor tehnologije širokopojasnog pristupa u ruralnim i slabo naseljenim područjima primjenom metode višekriterijskog odlučivanja** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 9. 9. 2016.

Student/ica:
Marijo Zubec
(potpis)

66