



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Justas Tamošiūnas**

**PRIEIGOS TELEKOMUNIKACIJŲ TINKLAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Alfonsas Jarutis

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS  
TELEKOMUNIKACIJŲ KATEDRA**

**PRIEIGOS TELEKOMUNIKACIJŲ TINKLAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Telekomunikacijų sistemos (kodas 621H64002)**

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Alfonsas Jarutis  
(data)

**Recenzentas**

(parašas)  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Justas Tamošiūnas  
(data)

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Justas Tamošiūnas

(Studento vardas, pavardė)

Telekomunikacijų sistemos, 621H64002

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Prieigos telekomunikacijų tinklas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Justo Tamošiūno**, baigiamasis projektas tema „Prieigos telekomunikacijų tinklas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Tamošiūnas Justas. Prieigos telekomunikacijų tinklas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. A. Jarutis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Telekomunikacijų katedra.

Kaunas, 2016. 48 psl.

## SANTRAUKA

Šio baigiamojo darbo tikslas - suprojektuoti telekomunikacijų prieigos tinklą Išlaužo gyvenvietėje įvertinant teikiamų paslaugų įvairovę. Darbe yra projektuojamas plačiajuostės prieigos tinklas pasirinktoje Išlaužo gyvenvietėje. Atsižvelgiant į vietovės reljefą, gyventojų išsidėstymą bei gyvenvietės infrastruktūrą, telekomunikacijų tinklo pagrindu pasirinktas LTE tinklas, naudojant vieną bazinę stotį ir taškas-daug taškų tinklo topologiją.

Darbo objektas, plačiajuostis tinklas 215 potencialių ryšio klientų turinčioje Išlaužo gyvenvietėje, pasirinktas atsižvelgiant į sparčiai augantį spartos bei paslaugų įvairovės poreikį ne tik šioje, bet ir kitose, gretimose kaimiškosiame vietovėse.

Analitinėje dalyje nagrinėjamos tinklu teikiamų paslaugų rūšys, plačiajuosčio tinklo poreikis konkrečioje pasirinktoje gyvenamojoje vietovėje atsižvelgiant į teikiamų paslaugų rūšį. Atliekama IMS struktūros analizė.

Projektinėje dalyje yra parinkta ir pagrįsta konkreti tinklo topologija, parinkta tinklo struktūra. Pagal tinklo sandarą paskaičiuoti tinklo resursai ir vartotojų sugeneruojami duomenų srautai. Įvertinta, parinkta ir pagrįsta tinkle naudojama įranga.

Ekonominėje dalyje apskaičiuojama įrangos ir jos diegimo kaštai, įvertinami darbuotojų sandymo kaštai, apskaičiuojamas pelnas ir randamas projekto atsipirkimo laikas.

*Reikšminiai žodžiai:*

*LTE*

*IPTV*

*Tinklas*

*Prieiga*

*Projektas*

*Bevielis*

Tamošiūnas Justas. Telecommunication Access Network. Final project of Master's degree / supervisor prof. dr. A. Jarutis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Telecommunications

Kaunas, 2016. 48 p.

## SUMMARY

The goal of this work is to design a telecommunication access network in Išlaužas area. The network structure is placed in Išlaužas rural area and the signal covers the main part of the region. Due to relief of the area, consumers' location, infrastructure of the region, the chosen telecommunication technology is LTE. It suits the need of bandwidth, reliability, data rates and is easily mounted because of the water tower standing in the highest place of the area.

The object is a broadband network for the Išlaužas area which has about 215 potential internet users. It is chosen because of the fast growing number of users and pure current network availabilities.

Analysis part of this work deals with topical technologies, description of network services and the application of used technologies, IMS analysis.

The project part consists of the access network topology and architecture selection, network usage calculations, selection of the appropriate equipment and calculations of signal suppression suffered while reaching the consumer.

The last project part is to calculate the expenses for designing the network, the profit and how long is it going to take to get a payback from the network.

*Keywords:*

*LTE*

*IPTV*

*Network*

*Access*

*Project*

*Wireless*

# TURINYS

Santrumpų ir ženklų aiškinimo žodynas.....	7
Įvadas.....	9
1. Užduoties analizė .....	10
1.1 Projekto aktualumas.....	10
1.2 Objekto charakterizavimas.....	10
1.3 Projektuojamu tinklu planuojamos teikti paslaugos ir jų parametrai.....	12
1.4 Darbų, susijusių su nagrinėjama tematika, analizė .....	14
2. Telekomunikacijų technologijų ir paslaugų analizė.....	15
2.1 IMS architektūros analizė .....	15
2.2 LTE technologijos analizė .....	20
2.3 Signalizacijos protokolai.....	21
2.4 Tinklu teikiamų paslaugų analizė .....	21
2.4.1 IPTV .....	21
2.4.2 Balso perdavimas internetu (VoIP) .....	22
3. Tinklo topologija ir struktūra .....	23
3.1 Balso paslaugos sukurtų srautų pasiskirstymas .....	25
3.2 Projektuojamo tinklo apkrovų skaičiavimas.....	26
4. Prieigos tinklo įrangos parinkimas.....	31
4.1 Perduodamo signalo slopinimo skaičiavimai .....	36
5. Ekonominis pagrindimas.....	38
5.1 Projekto užsakovas bei projektavimo tikslai .....	38
5.2 Projekto valdymo struktūra, darbuotojų skaičiaus planavimas .....	38
5.3 Pagrindinio turto poreikis .....	40
5.4 Projekto technikos sąnaudos .....	41
5.5 Numatomos pajamos.....	42
5.6 Numatomas pelnas .....	43
5.7 Atsipirkimo laikas.....	44
Išvados.....	46
Literatūros sąrašas .....	47

## Santrumpų ir ženklų aiškinimo žodynas

AS	Taikymų serveriai (angl. <i>Application Servers</i> )
BGCF	Sujungimo su išorės tinklais sąsajos valdymo funkcija (angl. <i>Breakout Gateway Control Function</i> )
CSCF	Ryšio seansų valdymo funkcija (angl. <i>Call Session Control Function</i> )
FTP	Failų perdavimo protokolas (angl. <i>File Transfer Protocol</i> )
GGSN	GPRS tinklų sietuvo mazgas (angl. <i>Gateway GPRS Support Node</i> )
HSS	Vartotojų duomenų bazių serveris (angl. <i>Home Subscriber Server</i> )
I-BGF	Tarptinklinis ribinis tinklų sietuvas (angl. <i>Interconnect Border Gateway Function</i> )
I-CSCF	Užklausianti ryšio seansų valdymo funkcija (angl. <i>Interrogating Call Session Control Function</i> )
IMS	IP daugialypės terpės ryšio posistemė (angl. <i>IP Multimedia Subsystem</i> )
IMS-MGW	IMS transportinis tinklų sietuvas (angl. <i>IP Multimedia Subsystem-Media Gateway</i> )
IP	Interneto protokolas (angl. <i>Internet Protocol</i> )
IPSec	Internetinio tinklo saugumo protokolas (angl. <i>IP security</i> )
IPTV	Televizijos paslauga IP pagrindu (angl. <i>Internet Protocol Television</i> )
IPv6	Šeštoji IP protokolo versija (angl. <i>Internet Protocol Version 6</i> )
IPv4	Ketvirtoji IP protokolo versija (angl. <i>Internet Protocol Version 4</i> )
ISDN	Visuminių paslaugų skaitmeninis tinklas (angl. <i>Integrated Services Digital Network</i> )
ITU-T	Tarptautinės telekomunikacijų sąjungos telekomunikacijų standartizavimo sektorius (angl. <i>International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector</i> )
MGCF	Tinklų sietuvų valdymo funkcinis blokas (angl. <i>Media Gateway Control Function</i> )
MRF	Media resursų funkcija (angl. <i>Media Resource Function</i> )
MRFC	Media resursų valdiklio funkcija (angl. <i>Media Resource Function Controller</i> )
MRFP	Media resursų procesoriaus funkcija (angl. <i>Media Resource Function Processor</i> )
NASS	Tinklo prijungimo posistemis (angl. <i>Network Attachment Subsystem</i> )
NGN	Naujos kartos tinklai (angl. <i>Next Generation Networks</i> )
P-CSCF	Tarpininko ryšio seansų valdymo funkcija (angl. <i>Proxy Call Session Control Function</i> )
PDF	Sprendimų priėmimo funkcija žinomos politikos pagrindu (angl. <i>Policy Decision Function</i> )
PDG	Pakietinis tinklų sietuvas (angl. <i>Packet Data Gateway</i> )

PEF	Politikos pareikalavimo funkcija (angl. <i>Policy Enforcement Function</i> )
PLMN	Bendrasis antžeminis mobiliojo ryšio tinklas (angl. <i>Public Land Mobile Network</i> )
PSTN	Bendrasis komutuojamas telefono tinklas (angl. <i>Public Switched Telephone Network</i> )
QoS	Paslaugų (aptarnavimo) kokybė (angl. <i>Quality of Service</i> )
RACS	Prieigos išteklių priėmimo valdymo funkcija (angl. <i>Resource and Admission Control Subsystem</i> )
RAN	Radijo prieigos įranga (angl. <i>Radio Access Network</i> )
RTP	Realaus laiko perdavimo protokolas (angl. <i>Real-time Transport Protocol</i> )
S-CSCF	Aptarnaujanti ryšio seansų valdymo funkcija (angl. <i>Serving Call Session Control Function</i> )
SGSN	GPRS aptarnaujantis modulis (angl. <i>Serving GPRS Support Node</i> )
SGW	Signalizacijos tinklų sietuvas (angl. <i>Signaling Gateway</i> )
SIP	Sesijų iniciavimo protokolas (angl. <i>Session Initiation Protocol</i> )
SLF	Abonentų vietos funkcija (angl. <i>Subscriber Location Function</i> )
VoIP	Balso paslauga per interneto protokolą (angl. <i>Voice Over Internet Protocol</i> )
WAG	Bevielės prieigos tinklų sietuvas (angl. <i>Wireless Access Gateway</i> )
WLAN	Bevielis vietinis tinklas (angl. <i>Wireless Local Area Network</i> )



## Įvadas

Internetas ir virtuali komunikacija įgyja vis daugiau populiarumo ir svarbos, ypač tarp jaunesnio amžiaus (16–24 metų) žmonių. Lietuvos statistikos departamento duomenimis, per paskutiniuosius 5 metus, namų ūkių Lietuvoje, turinčių interneto prieigą (įskaitant per mobilųjį telefoną) skaičius išaugo net 15 % (2008 m. – 49,5 %, 2013 m. – 64,7 %.). Kaime interneto prieigą 2013 m. turėjo 50 procentų namų ūkių. [1] Šiais rodikliais remiantis, galima daryti prielaidą, jog interneto prieigos namų ūkiuose poreikis auga gan sparčiai, tuo pačiu auga ir kokybės bei spartos poreikis, todėl senstant seniesiems ryšio perdavimo technologijoms, jos nebegali patenkinti dabartinių ir tuo labiau būsimų aprėpties ir spartos poreikių. Todėl nuolat reikalingi nauji sprendimai, projektai, kurie užtikrintų kokybišką ir lengvai prieinamą ryšį. Būtina paminėti ir besiplečiančias kaimų bendruomenes ir ten kol kas gan žemą procentą internetą naudojančių namų ūkių (2013 m. – 58 %). Žmonės vis dažniau pasirenka ramesnį ir atokesnį gyvenimą gyvenamojoje vietovėje šalia miesto ar netgi kaime, todėl turi būti sprendžiama atskirties tarp miesto ir kaimo gyvenamosios vietovės problema ryšio atžvilgiu.

Pasirinkta Išlaužo gyvenvietė yra sparčiai besiplečianti kaimiška vietovė, kurioje nuolat auga gyventojų skaičius, o tuo pačiu ir ryšio poreikis. Šiai dienai vien duomenų perdavimo tinklo nepakanka, yra poreikis naudotis tokiais paslaugomis kaip IPTV, o tuo pačiu ir vis labiau atsiribojama nuo laidinių sistemų, plintant bevielėms.

Darbo tikslas - suprojektuoti telekomunikacijų prieigos tinklą Išlaužo gyvenvietėje įvertinant teikiamų paslaugų įvairovę. Šio tinklo būsimasis savininkas – įmonė, tiekianti ryšio paslaugas Išlaužo gyvenvietei.

Uždaviniai:

- Charakterizuoti objektą.
- Atlikti prieigos tinklo technologijų ir juo teikiamų paslaugų analizę.
- Parinkti ir pagrįsti tinklo topologiją ir struktūrą.
- Atlikti srautų tinkle skaičiavimus ir tinklo resursų įvertinimą.
- Parinkti ir pagrįsti komplektuojamą įrangą reikalingą telekomunikacijų prieigos tinklui
- Atlikti tinklo ekonominį įvertinimą.

## 1. Užduoties analizė

### 1.1 Projekto aktualumas

Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis [1], Lietuvoje 2013 m. 99 procentai namų ūkių, turinčių interneto prieigą (iš viso interneto prieiga turėjo ~50 % namų ūkių, esančių kaimo vietovėse), naudojami plačiajuosčiu ryšiu, įskaitant ir mobilųjį. Todėl projektuojant naujus prieigos tinklus kaimiškose vietovėse būtina sąlyga – užtikrinti plačiajuostį ryšį, kuris reikalingas norint viena ryšio linija teikti kelias paslaugas vienu metu (vaizdo, balso ir duomenų) bei garantuoti didelį pralaidumą, kuris tampa vis svarbesnis kasdien naudojantis internetu ir yra būtinas naudojant tokius paslaugų paketus kaip IPTV.

Telekomunikacijų tinklo projektavimas apima kelis etapus. Siekiant tinkamai sudaryti tinklą, pirmajame etape būtina nuodugniai išanalizuoti tiriamąjį objektą. Kadangi tinklas kuriamas tam tikriems vartotojų poreikiams patenkinti, būtina įvertinti bendrą vartotojų skaičių, suskirstyti juos į atitinkamas grupes bei numatyti jiems reikalingas paslaugas. Tam, kad paslaugos galėtų būti teikiamos, tinklas turi atitikti joms keliamus reikalavimus. Todėl atitinkamuose projektavimo etapuose turi būti įvertinami tinkle sukuriama srautai, jų pasiskirstymas bei nustatomi reikalingi resursai. Paskutiniajame etape parenkama reikalinga tinklo įranga, sudaroma tinklo funkcinė schema.

Kadangi rinkos sąlygas šiuo metu nustato vartotojas, todėl jo poreikiai yra svarbiausias faktorius formuojant bet kurį telekomunikacijų sprendimą. Todėl planuojant teikti paslaugas, nustatome kas yra vartotojai (ar tai privatūs, verslo kategorijos ar valstybiniai vartotojai) ir koks jų poreikis atitinkamoms paslaugoms.

### 1.2 Objekto charakterizavimas

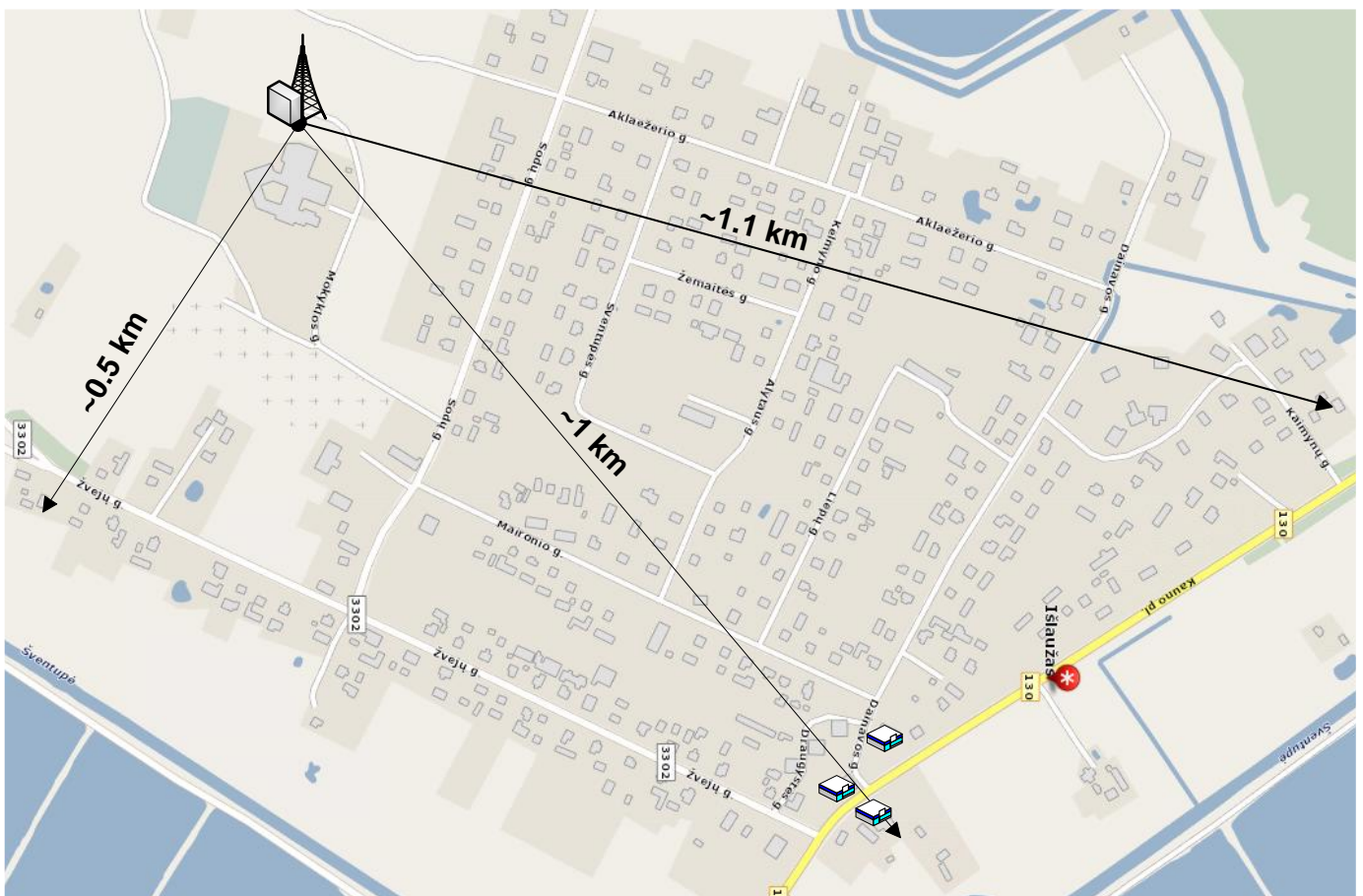
**Darbo objektas** – telekomunikacijų tinklas Išlaužo gyvenvietėje.

Gyvenamoji vietovė šiuo atveju pasirinkta esanti Lietuvoje, Prienų rajone. Tai pakankamai gerai žinomas ir gan nemažas miestelis – Išlaužas bei jo apylinkės. Pats Išlaužas įsikūręs šalia 130 krašto kelio Kaunas – Prienai – Alytus. Pačioje Išlaužo gyvenvietėje paskutiniaisiais duomenimis gyvena apie 840 gyventojų, o Išlaužo seniūnijai priklausančiuose 22 kaimuose dar apie 1000 gyventojų. Seniūnijos plotas apie 58 km<sup>2</sup>. Aplink gyvenvietę yra daug eksploatuojamų tvenkinių, čia aktyviai veikia kelios įmonės, tarp kurių ir „Išlaužo žuvis“. Išlauže taip pat yra: bažnyčia, ambulatorija, pagrindinė mokykla, 4 parduotuvės, 2 kavinės, vaistinė, girininkija. Pats seniūnijos centras, Išlaužo gyvenvietė yra įsikūrusi vienoje vietoje, toliausiai nuo gyvenvietės

centro atitolę namų ūkiai yra ne toliau kaip už 1 km. Aplink Išlaužą taip pat yra ir nemažai šiai seniūnijai priklausančių gyvenviečių, tokių kaip Čiudiškiai, Dambrava, Gražučiai, Rutkiškės ir kiti. Jose taip pat yra parduotuvių, bibliotekų bei vidutinio dydžio verslo kompleksų. [5]

Dalyje vietovės šiuo metu veikia „TEO LT“ DSL plačiajuostis tinklas, kuris užtikrina telefoninį bei internetinį ryšį. Tačiau ryšio linijos įvestos jau seniai ir jos nepajėgios užtikrinti reikiamos spartos duomenų perdavimui ir tuo labiau tokioms paslaugoms kaip IPTV. „TEO LT“ teigimu, esamomis ryšio linijomis galima maksimaliai pasiekti 10 Mbit/s spartą. Taip pat čia veikia 3G mobilusis ryšys, kurį teikia pagrindiniai Lietuvos mobiliojo ryšio operatoriai Tele2, Bitė ir Omnitel. Tačiau remiantis ryšių tarnybos pateikiamais 2015 m. kovo mėnesį sudarytais ryšio aprėpties žemėlapiais, Išlaužo vietovėje bei aplinkiniuose kaimuose Tele2 ir Bitė teikiamas UMTS ryšys yra ganėtinai silpnas arba išvis nepasiekiamas.

Remiantis šiais kriterijais galima spręsti, kad nuolat augančiai Išlaužo gyvenvietei reikalingas naujas sprendimas, užtikrinantis patikimą, spartų ir modernų plačiajuostį ryšį.



1.1 pav. Teritorija, kurioje diegiamas tinklas

### 1.3 Projektuojamu tinklu planuojamos teikti paslaugos ir jų parametrai

Projektuojamas tinklas skirtingoms vartotojų grupėms, siūlant įvairias prieigos prie tinklo galimybes esamiems bei naujiems fiksuotojo ryšio vartotojams. Projektavimas apima vartotojus, kurių žymią dalį sudaro privatūs (96,4 %) ir mažą dalį (3,6 %) – verslo kategorijos vartotojai. Privačių vartotojų grupėje daugiausiai vidutinio amžiaus asmenys bei jaunimas.

Esami tinklo vartotojai naudojami plačiajuosčio DSL ryšio paslaugomis, tačiau esamos spartos nepakanka. Jei vienu metu yra naudojamas internetas ir IPTV ryšio kokybė krenta, IPTV transliuojamas su ryšio nutrūkimais bei trukdžiais, o duomenų perdavimo sparta nepakankama, kad užtikrintų nevaržomą naudojimąsi interneto paslaugomis.

Pagal Lietuvos Vyriausybės 2003 metais priimtą nutarimą „Radijo dažnių skyrimo radijo ir televizijos programoms transliuoti ir siųsti strategijos“, nuo 2012 metų buvo nustota transliuoti analoginė televizija [10]. Tai sudaro puikias sąlygas IP televizijos poreikio augimui. Tačiau esamo tinklo pralaidumas yra neužtenkamas šiai paslaugai diegti.

Būsimiems vartotojams planuojamos teikti trijų tipų paslaugos:

- **Internetas**

Visiems bevielės prieigos vartotojams bus užtikrinamas asimetrinis ryšys su skirtingos spartos aukštynkrypčio perdavimo sparta ir žemynkrypčio perdavimo sparta.

- **Interneto protokolo televizija - IPTV**

IPTV reikalauja realaus laiko duomenų perdavimo, todėl tam reikalingas spartus ir kokybiškas ryšys. IPTV jautri vėlinimui, paketų praradimui, dėl to prasta ryšio kokybė gali sukelti vaizdo trūkinėjimą ir iškraipymą.

IPTV programos bus transliuojamos dviem tipais – SDTV (768 x 576 arba 1024 x 576 taškų raiška) ir aukštos raiškos HDTV (1280 × 720 arba 1920 × 1080 taškų raiška). Informacija koduojama naudojant MPEG-4 standartą.

- **Balso perdavimo IP protokolu paslauga – VoIP**

Balso perdavimui tinkle naudojama VoIP technologija. Naudojamas balso sudarymo ir valdymo protokolas H.323, kuris yra atviras ir sukurtas tarptautinės telekomunikacijų sąjungos (ITU) bei SIP. IP telefonijoje galimi trys komunikavimo variantai – kompiuteris su kompiuteriu, IP telefonas su kompiuteriu arba IP telefonai kartu tarpusavyje. Balso informacija bus koduojama G.711 kodeko pagalba ir kiekvienam vartotojui bus užtikrinama bent 64 kbit/s sparta pokalbiams sudaryti.

Žinant vartotojų skaičių bei jiems reikalingas ryšio paslaugas, vartotojai suskirstomi į grupes pagal paslaugas. Kaip ir minėta anksčiau, dalis vartotojų naudojami tik VoIP paslauga, kita dalis – VoIP bei duomenų perdavimo paslaugomis, o trečioji grupė – visomis paslaugomis iškart: balso, duomenų ir vaizdo teikimu naudojant vieną priegą. Atitinkamai pasirinkta, kad pirmosios grupės vartotojai priklauso I grupei, antrosios grupės - II, o trečiosios - III. Vartotojų pasiskirstymas grupėse pagal jų naudojamą paslaugas pateiktas 1.1 lentelėje.

**1.1 lentelė.** Paslaugų grupės ir vartotojų skaičius

Paslaugų vartotojų grupė	Vartotojų skaičius grupėje	Bendras vartotojų skaičius
I (VoIP)	15	215
II (HTTP)	150	
III (IPTV)	50	

Norint teikti kokybiškas paslaugas, tinklas turi atitikti jam keliamus reikalavimus. Ketinama teikti realaus laiko paslaugas, todėl šio projektuojamo tinklo pralaidumas turi tenkinti poreikius. Balso ar vaizdo paslaugose bet kokie duomenų perdavimo trukdžiai yra nesunkiai pastebimi galutinio vartotojo, dėl to kiekvienam atskiram ryšio seansui būtina užtikrinti reikalingą paslaugų kokybę. Būtent QoS (angl. Quality of Service) palaikymas ir leidžia užtikrinti minėtus kokybės reikalavimus plačiajuosčiam tinklui su IMS. Ryšio seanso metu, vartotojo įranga informuoja IMS (angl. IP Multimedia Subsystem) apie reikalavimus norint suteikti vartotojui kokybišką paslaugą. SIP (angl. *Session Initiation Protocol*) protokolas suteikia galimybę įvertinti tokius parametrus kaip: paketų dydis, bitų sparta, perdavimo tipas ir kryptis, RTP (angl. *Real-time Transport Protocol*) naudojimas, reikalingas pralaidumas. [3] Projektuojamame tinkle taip pat turi būti numatomas ir šioks toks galimas vartotojų skaičiaus didėjimas. Jam augant paslaugų teikimo kokybė negali prastėti, o išlaidos turi būti minimalios. Apibendrinant galima išvardinti šiam tinklui išskeltus reikalavimus:

- Plečiamumo galimybė
- QoS palaikymas
- Priegą prie pasirinktų paslaugų
- Įvairi galutinio vartotojo įranga
- Ryšio plačiajuostiškumas
- Pakankamas pralaidumas

Įvertinant visa tai, kas buvo aptarta, šiame telekomunikacijų tinklo projekte turi būti sprendžiamai toliau pateikiami uždaviniai:

- Charakterizuoti objektą.
- Atlikti prieigos tinklo technologijų ir juo teikiamų paslaugų analizę.
- Parinkti ir pagrįsti tinklo topologiją ir struktūrą.
- Parinkti ir pagrįsti komplektuojamą įrangą reikalingą telekomunikacijų prieigos tinklui.
- Atlikti srautų tinkle skaičiavimus ir tinklo resursų įvertinimą.
- Atlikti tinklo ekonominį įvertinimą.

#### **1.4 Darbų, susijusių su nagrinėjama tematika, analizė**

Prieš projektuojant prieigos tinklą, būtina surinkti informaciją, panagrinėti jau atliktus darbus panašia tema. Tai reikalinga tam, kad pamatyti koku būdu tai yra atliekama, į kuriuos dalykus reikia atkreipti dėmesį, kokių klaidų nedaryti. Analizuojant jau atliktus projektus bei parašytus darbus ar straipsnius panašia tematika, galima teigti, jog kaimiškujų vietovių aprūpinimo kokybišku ir visiems prieinamu interneto ryšiu problema yra aktuali tiek Lietuvoje, tiek ir kitose pasaulio šalyse.

„Journal of Computer Networks“ žurnale publikuojamame projekte [2] yra sprendžiamos šiam projektui labai artimos problemos. Nors projekte naudojamos WiMAX ir Wi-Fi technologijos, tačiau jų išpildymas ir tinklo struktūra yra labai artima LTE tinklui. Projekto tikslas yra sukurti plačiąjuostį belaidį prieigos tinklą kaimo gyvenamojoje gyvenvietėje, kurioje gan plačiai išsidėstę gyvena apie 3000 žmonių ir kuri yra pakankamai nutolusi nuo artimiausio miesto, kuriame yra interneto prieiga. Iškeliamas komunikavimo ir informacijos dalinimosi poreikis ten augančioje visuomenėje nepamirštant ir to fakto, kad namų ūkiai paplitę gan plačiai, kas tik dar labiau padidina komunikavimo naudojant internetą poreikį bei tuo pačiu iškelia ryšio linijų diegimo kaštų problemą. Todėl įvertinus visus šiuos faktorius priimamas sprendimas, jog bus diegiamas bevielis tinklas, remiantis WiMAX bei Wi-Fi technologijomis. Toks sprendimas pasirenkamas, nes WiMAX technologija geba užtikrinti visus projektui reikalingus kriterijus: bevielė prieiga, plačiąjuostis ryšys, didelė sparta, saugumas, mažesni diegimo kaštai bei aprėptis.

Minėtame projekte apžvelgiamas IEEE 802.11 ryšio standartas, pabrėžiant jo naudą kaimiškoms vietovėms, nes ryšiui užtikrinti nėra būtinas tiesioginis taško matomumas (LOS). Apžvelgiama WiMAX bei Wi-Fi technologijos bei jų veikimo viename tinkle galimybės. Įvertinus ekonominį klausimą, geografinį vietovės reljefą, pageidaujamą ryšio spartą, bei galimas įdiegti

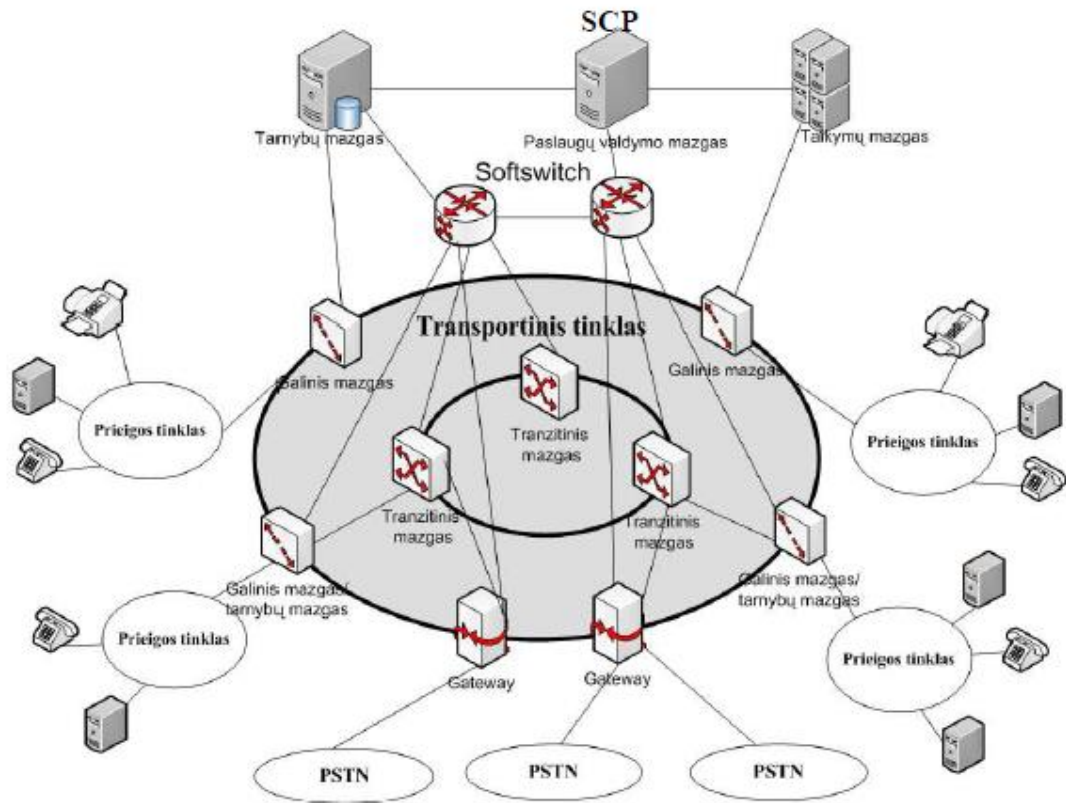
architektūras, sudaroma ryšio struktūros schema bei suprojektuojamas tinklas. Galiausiai paskaičiuojami ryšio srautai. Atlikus projekto išvadas pabrėžiamas puikus WiMAX technologijos pritaikymas kitoms bevielio ryšio technologijoms dirbti kartu, viename tinkle.

## **2. Telekomunikacijų technologijų ir paslaugų analizė**

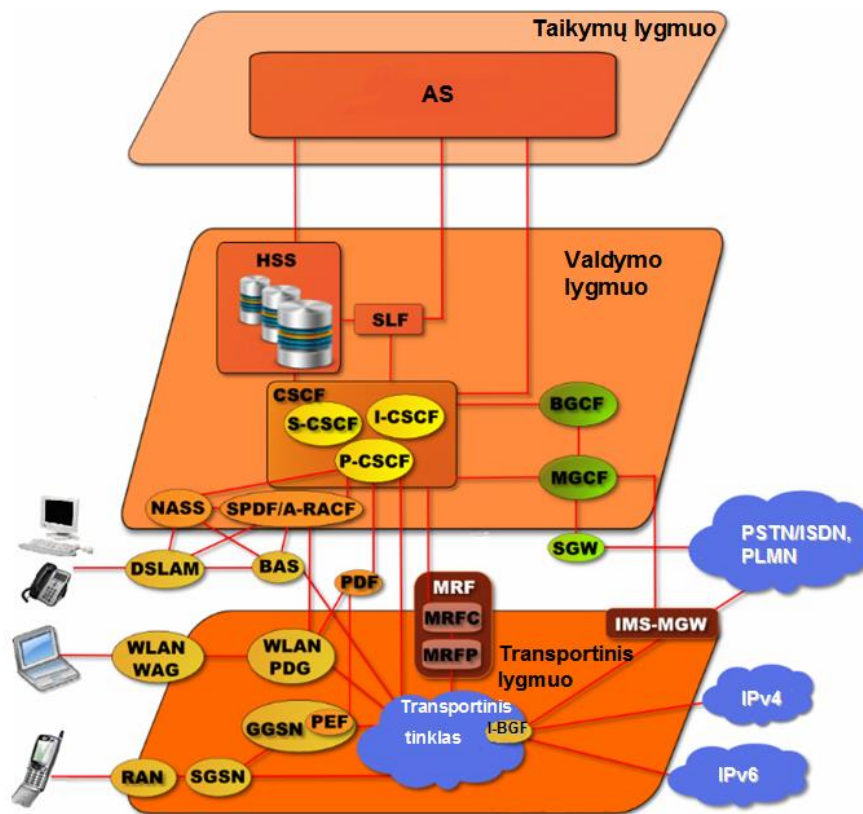
### **2.1 IMS architektūros analizė**

3GPP (angl. *3rd Generation Partnership Project*), atsakinga už 3G judriojo ryšio tinklams skirtų standartų kūrimą, 2002 metais pasiūlė IMS koncepciją judriajam ryšiui, prie kurios prisijungė jau egzistuojantis paketinis duomenų perdavimas ir kanalų komutacija. Vėliau, dėka šio projekto, sekė TISPAN (angl. *Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking*) projektas, kuris praplėtė IMS architektūrą į fiksuoto ryšio tinklus, suteikdamas galimybę susijungti fiksuotam ir judriajam ryšiams (angl. *Fixed-Mobile Convergence*). [6]

IMS sukurta pasitelkiant kelių lygių architektūrą, atskiriant vartotojo ir signalizacijos informacijos perdavimus. Kuriant IMS judriojo ryšio tinklams buvo panaudoti NGN (angl. *Next Generation Network*) principai, keičiant tinklų sietuvų valdymo prietaisą MGC (angl. *Media Gateway Controller*) į IP multimedijos posistemę. IMS taip pat kaip ir NGN yra išskiriama vartotojo informacijos perdavimo lygmuo (angl. *User Plane*), valdymo lygmuo (angl. *Control Plane*) bei taikymų lygmuo(angl. *Application Plane*). [6]



2.1 pav. NGN architektūra [3]



2.2 pav. IMS funkcinė architektūra [4]



2.2 pav. pateikiami sutrumpinimai: PDF (angl. *Policy Decision Function*) – sprendimų priėmimo funkcija žinomos politikos pagrindu; I-BGF (angl. *Interconnect Border Gateway Function*) – tarptinklinis ribinis tinklų sietuvas; IPv6 (angl. *Internet Protocol Version 6*) – šeštoji IP protokolo versija; RAN (angl. *Radio Access Network*) – radijo prieigos įranga; SGSN (angl. *Serving GPRS Support Node*) – GPRS aptarnaujantis modulis; SGW (angl. *Signaling Gateway*) – signalizacijos tinklų sietuvas; MGCF (angl. *Media Gateway Control Function*) – tinklų sietuvų valdymo funkcinis blokas; GGSN (angl. *Gateway GPRS Support Node*) – GPRS tinklų sietuvo mazgas; WAG (angl. *Wireless Access Gateway*) – bevielės prieigos tinklų sietuvas; PDG (angl. *Packet Data Gateway*) – paketinis tinklų sietuvas; DSLAM (angl. *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) – skaitmeninės prieigos įranga; PEF (angl. *Policy Enforcement Function*) – politikos pareikalavimo funkcija; IPv4 (angl. *Internet Protocol version 4*) – ketvirtoji IP protokolo versija; IMS-MGW (angl. *IP Multimedia Subsystem-Media Gateway*) – IMS transportinis tinklų sietuvas; MRF (angl. *Media Resource Function*) – media resursų funkcija; MRFC (angl. *Media Resource Function Controller*) – media resursų valdiklio funkcija; MRFP (angl. *Media Resource Function Processor*) – media resursų procesoriaus funkcija; BAS (angl. *Broadband Access Switch*) – plačiajuostės vartotojų įrangos prieigos blokas; S-CSCF (angl. *Serving Call Session Control Function*) – aptarnaujanti ryšio seansų valdymo funkcija; BGCF (angl. *Breakout Gateway Control Function*) – sujungimo su išorės tinklais sąsajos valdymo funkcija; I-CSCF (angl. *Interrogating Call Session Control Function*) – užklausianti ryšio seansų valdymo funkcija; HSS (angl. *Home Subscriber Server*) – vartotojų duomenų bazių serveriai; SLF (angl. *Subscriber Location Function*) – abonentų vietos funkcija; PLMN (angl. *Public Land Mobile Network*) - bendrasis antžeminis mobiliojo ryšio tinklas; AS (angl. *Application Servers*) – taikymų serveriai. PSTN (angl. *Public Switched Telephone Network*) – bendrasis komutuojamas telefono tinklas; ISDN (angl. *Integrated Services Digital Network*) - visuminių paslaugų skaitmeninis tinklas;

### **HSS ir SLF duomenų bazės**

Dažniausiai IMS tinklas turi vieną ar kelis vartotojų duomenų bazių HSS (angl. *Home Subscriber Server*) serverius. Juose laikoma informacija apie abonentus ir jų naudojamas paslaugas yra GSM (angl. *Global System for Mobile Communication*) tinklo HLR (angl. *Home Location Register*) registro evoliucijos vystymosi rezultatas. Keli HSS serveriai naudojami tada, kai vieno jų resursų neužtenka, kad palaikytų didelį abonentų skaičių. Tokiame tinkle be kelių HSS sistemoje reikalinga ir SLF funkcija (angl. *Subscriber Location Function*), kuri sudaro duomenų bazę, saugančią informaciją apie HSS informacijos ir vartotojų adresų atitikimą. Įrenginys, perdavęs užklausą su vartotojo adresu į SLF, iš jos gauna duomenis apie tą HSS, kuriame saugoma šio vartotojo informacija.

### **SIP serverio funkcijos**

Sesijų valdymo funkcija CSCF (angl. *Call Session Control Function*) yra SIP serveris, atsakingas už IMS SIP signalizaciją. Egzistuoja trys CSCF funkcijos: Proxy-CSCF (P-CSCF), Interrogating-CSCF (I-CSCF) ir Serving-CSCF (S-CSCF).

**P-CSCF** funkcija pirmoji sąveikauja su IMS terminalu (signalizacijos lygmenyje). SIP požiūriu tai yra įėjimo/išėjimo proxy serveris kuriuo perduodamos užklausos, veikiant kartu su IMS terminalu. P-CSCF realizuoja vartotojo agento UA (angl. *User Agent*) funkciją, kuri reikalinga seanso nutraukimui nestandartinėse situacijose bei nepriklausomose SIP transakcijose, kurios susijusios su registracijos procesu.

**I-CSCF** yra dar vienas SIP-Proxy serveris, esantis operatoriaus administraciniame domene. Kai SIP serveris užfiksuoja informacijos perdavimą SIP-pranešimui, jis iš DNS gauna atitinkamo domeno I-CSCF adresą. SIP-Proxy funkcijos I-CSCF Diameter protokolu sąveikauja su HSS ir SLF, gaudamas iš jų informaciją apie vartotojo buvimo vietą ir apie jį aptarnaujančią S-CSCF funkciją.

**S-CSCF** – centrinė funkcija signalizacijos lygmenyje - tai SIP-serverio, valdančio ryšio seansą, funkcija. Beje S-CSCF atlieka SIP tinklo, registruojančio serverio (SIP-register) funkciją padėdama pririšti vartotojo buvimo vietą (pavyzdžiui, terminalo, kuriame vartotojas gauna priėjimą prie tinklo, IP adresą) prie SIP-adreso PUI (angl. *Public User Identity*).

S-CSCF funkcija protokolu Diameter sąveikauja su HSS, gaudama vartotojo, besijungiančio prie tinklo, autentifikavimo ir profilio (t.y. jam teikiamų paslaugų sąrašą) duomenis. HSS informuojama apie tai, kad šis vartotojas pririštas prie jo.

### **PDF funkcijos**

Sprendimų priėmimo funkcija, kuri naudoja PDF (angl. *Policy Decision Function*), kartais vartojama su P-CSCF, tačiau gali būti sutinkama ir atskirai. Ši funkcija yra tam, kad sukurtų politiką, naudojant informaciją gautą iš P-CSCF apie seanso būseną ir apie perduodamą srautą (transportiniai adresai, pralaidumo juosta ir kt.). Šios informacijos pagrindu PDF priima sprendimą apie užklausų iš GPRS palaikymo mazgo GGSN autorizavimą ir dar pakartotinai atlieka autorizaciją, pagal pakitusius seanso parametrus. Taip pat gali uždrausti tam tikro srauto perdavimą ar tam tikrų seansų sudarymą.

### **Taikymų serveriai**

Svarbu pabrėžti, jog taikymų serveriai AS (angl. *Application Server*) dirba virš IMS, suteikdami tinklams, sudarytiems IMS architektūroje, galimybę siūlyti vartotojams įvairias

paslaugas. Taikymų serveriai sąveikauja su S-CSCF funkcija SIP protokolu, o pagrindinės taikymo serverių funkcijos yra SIP seansų sudarymas ir modifikavimas, SIP užklausų generavimas ir apskaitos įrenginiams tarifinės informacijos siuntimas apskaitai.

AS gali būti patalpintas ir išoriniame tinkle, o jo siūlomos paslaugos nebūtinai veikia tik SIP pagrindu. Operatorius gali siūlyti paslaugas, veikiančias per CAMEL (angl. *Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic*), OSA API (angl. *Open Service Architecture*) ir kitas sąsajas.

### **MRF funkcijos**

Medijos resursų funkcija MRF (angl. *Media Resource Function*) yra medijos informacijos šaltinis „namų“ tinkle. Ji atkuria įvairius pranešimus, paskirsto medijos srautus, koduoja kodekų bitų srautus, išduoda statistikos duomenis bei analizuoja medijos informaciją.

MRF funkcija skirstoma į du tipus: medijos resursų kontrolierio funkcija MRFC (angl. *Media Resource Function Controller*); medijos resursų procesoriaus funkcija MRFP (angl. *Media Resource Function Processor*).

MRFC dirba signaliniame lygmenyje ir dirba su S-CSCF, naudodama SIP protokolą. MRFC pagal gautą informaciją MEGACO/H.248 protokolu valdo MRFP procesorių, dirbantį duomenų perdavimo lygmenyje. Pastarasis atlieka visus procesus su medijos informacija. MRF visada yra „namų“ tinkle.

### **BGCF funkcijos**

BGCF (angl. *Breakout Gateway Control Function*) tai SIP serveris, atliekantis kvietimų maršrutizavimą pagal telefono numerius. BGCF naudojamas kai kvietimas inicijuojamas naudojant IMS terminalą, kviečiamasis abonentas yra kanalų komutacijos tinklo abonentas. Pagrindinė BGCF užduotis yra IMS tinklo parinkimas veikimui su kanalų komutacijos tinklu arba tinkamo tinklų sietuvo išrinkimas, jeigu sąveika atliekama tinkle, kur yra ir BGCF serveris. Pirmu atveju BGCF ryšio seansą perduoda parinkto tinklo BGCF, antruoju – išrinktam tinklų sietuvui.

### **PSTN/CS tinklų sietuvas**

PSTN/IMS tinklų sietuvas palaiko PSTN ir IMS tinklo tarpusavio veikimą, sudarydamas sujungimus tarp šių tinklų vartotojų. PSTN/IMS tinklų sietuvas sudarytas iš: signalizacijos tinklų sietuvo SGW (angl. *Signaling Gateway*), tinklų sietuvų valdymo funkcijos MGCF (angl. *Media Gateway Control Function*), transportinio tinklų sietuvao MGW (angl. *Media Gateway*).

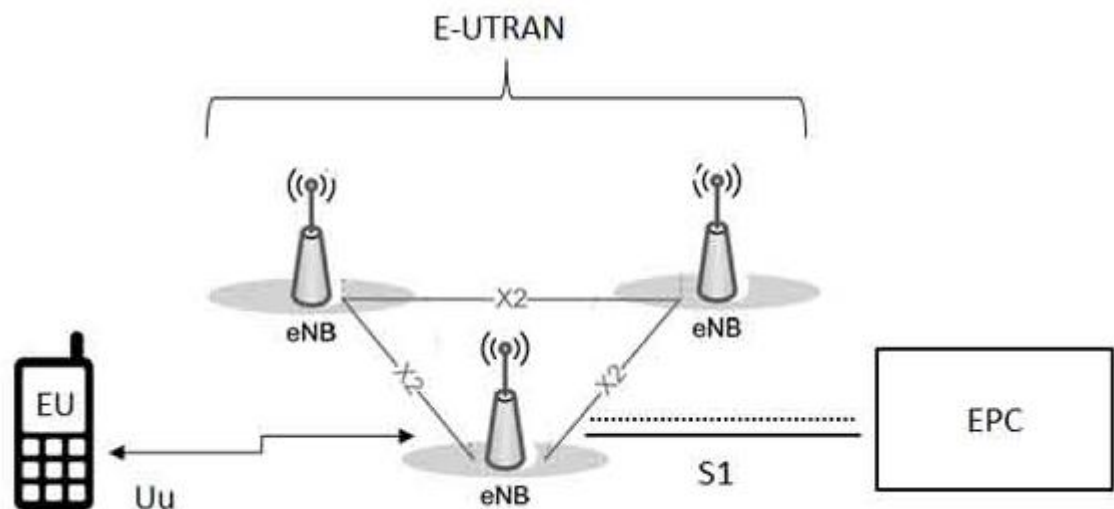
## 2.2 LTE technologijos analizė

LTE (angl. *Long Term Evolution*) yra UMTS 3G technologijos pasekėja. LTE neskirta pakeisti UMTS, taip kaip UMTS buvo skirta pakeisti GSM. Ši technologija papildo UMTS technologiją, kas leidžia pasiekti ženkliai didesnius duomenų perdavimo greičius tiek žemynkrypčiu tiek ir aukštynkrypčiu ryšiu.

LTE naudoja OFDMA - daugkartinę ortogonalų dažnių sutankinimo priegą (angl. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), beveliai priegai. OFDMA pagalba galima perduoti aukštos kokybės signalus „multipath“ būdu. Keičiant nešlių skaičių, ką ir leidžia daryti OFDMA technologija, galima pritaikyti daugybę skirtingo pločio kanalų ir būti lankstiems pasirenkant ryšio kanalo plotį.

Dėl paprastos architektūros ir visiškos IP tinklo prigimties 4G technologijose - žymiai mažesnis nei HSPA+ vėlinimo laikas. Šis 4G privalumas svarbus realaus laiko paslaugų taikymuose tokiuose, kaip žaidimai prisijungus internetu, daugialypės (multimedija) terpės turinio vartojimas.

4G technologijose operatoriai savo tinklus gali statyti panaudodami platesnius nei 5 MHz dažnių kanalus, kurie naudojami HSPA+. Dėl šios priežasties 4G tinklo talpa ir greitaveika gali kelis kartus pranokti HSPA+. [11]



2.3 Pav. LTE tinklo architektūra [12]

## 2.3 Signalizacijos protokolai

IMS architektūroje pagrindinis protokolas skirtas signalizacijai naudojamas SIP. Be to numatytas NGN ir TDM signalizacijos protokolų palaikymas. Taip pat informacijos apsikeitimui su HSS duomenų baze IMS architektūroje naudojamas Diameter protokolas.

RADIUS protokolo evoliucijos dėka atsiradęs Diameter protokolas naudojamas kaip naujos kartos autentifikavimo, autorizavimo ir AAA (angl. *Authentication, Authorization, Accounting*) apskaitos protokolas. Kadangi IMS sukurta vėliau nei NGN, joje iškart numatytas IPv4 bei IPv6 palaikymas. [3]

## 2.4 Tinklu teikiamų paslaugų analizė

### 2.4.1 IPTV

IPTV tai ne tik televizijos transliavimas naudojant interneto protokolą. IPTV (Internet protocol television) yra apibrėžiamas kaip multimedijos paslaugos (televizija, vaizdas, garsas, tekstas, grafika, duomenys) pernešamos IP tinklais, kurie geba užtikrinti reikiamą kokybę, saugumo ir patikimumo lygį. Skirtingai nei parsisiunčiama medija, IPTV suteikia galimybę transliuoti signalą mažesnėmis dalimis, tiesiai iš šaltinio. Tai leidžia, pavyzdžiui, pradėti žiūrėti filmą, nors jis dar ir nėra pilnai atsiųstas [7]. IPTV paslaugos gali būti klasifikuojamos į tris pagrindines grupes:

- Vaizdo įrašas pagal reikalavimą (VOD): paslauga, kuri leidžia vartotojams pasirinkti ir žiūrėti vaizdo įrašus kai yra poreikis.
- Tiesioginė transliacija.
- Televizija su laiko korekcija: pakartojimas programos, kuri yra rodoma tuo metu arba buvo rodyta kelios valandos ar netgi dienos prieš.

ATIS (angl. *Alliance for Telecommunications Industry Solutions*) IPTV apraše duotas dar tikslesnis apibrėžimas, kuris teigia, jog minėtos paslaugos yra teikiamos paketinio perdavimo tinklų dėka, kurie naudoja IP protokolą vaizdo, garso bei valdymo signalų perdavimui. Skirtingai nei vaizdo transliacijos viešame internete, diegiant IPTV sistemas atkreipiamas papildomas ir sugriežtintas dėmesys į tinklo saugą ir pajėgumą, tam kad užtikrinti aukštos kokybės transliacijas, o tai tik atveria galimybes vystytis konkurencijai ir pasiūlai tarp skirtingų IPTV paslaugos turinio tiekėjų [8].

IPTV veikia taip vadinamo „priedėlio“ STB (angl. *set-top box*) pagalba, kuris prijungiamas prie namų tinklo ir tada jis tinklu gautus paketus paverčia vaizdo signalu ir atkoduoja jo turinį. Kompiuteris taip pat galėtų atlikti šį darbą, tačiau daugelis žmonių neturi galimybės šalia

televizoriaus laikyti nuolat įjungtą kompiuterį, todėl STB čia pranašesnis. Dauguma vaizdo signalų iš palydovų iki vartotojų patenka per nacionalinės telekomunikacijų kompanijos tinklą, ten jis jeigu reikia yra užkoduojamas (dažniausiai MPEG-4 formatu arba H.264), išskaidomas į IP paketus ir paleidžiamas į magistralinį tinklą, kuris yra kaip milžiniškas IP tinklas, kuris apdoroja įvairiausios kilmės signalus (duomenys, balsas) įskaitant ir vaizdo signalą. Jei visą tinklą, nuo pat pradinio signalo priėmimo taško, iki vietinės prieigos, kur signalas nukreipiamas vartotojui, valdo ta pati kompanija, tai įgauna didelį privalumą, nes paslaugų kokybės (QoS) gerinimo įranga prioretizuoja vaizdo srautą tam, kad panaikinti vėlavimą ir trukdžius. Nekontroliuojant viso tinklo vienu metu tai gali būti kur kas sunkiau, nes QoS užklauskos ne visada atpažįstamos tarp skirtingų paslaugos tiekimo operatorių. Telekomunikacijų kompanijos, galinčios valdyti šį tinklą nuo pradžios iki galo gali garantuoti pakankamą pralaidumą bet kuriuo metu, o tai yra pagrindinis reikalavimas, kurio tikisi vis reiklesnis vartotojas.

Vaizdo signalą priima vietinė kompanija, kurios darbas nukreipti jį galutiniam vartotojui. Ši kompanija yra ne tik ta vieta, kurioje parenkamas toliau transliuojamas signalo turinys, bet ir ta, kurioje veikia IPTV programinė įranga. Ši įranga reguliuoja vartotojų atpažinimą, priima kanalų perjungimo užklauskas, atsako už paslaugos apmokėjimą bei kitas paslaugas.

Visi kanalai yra transliuojami vienu metu (multicast) nuo pat signalo priėmimo ir išsiuntimo taško iki vietinių paslaugos tiekėjų, bet tada yra pasiekiamos tinklo pralaidumo ribos. Vietinio tinklo pralaidumas nei iš tolo nesiekia reikiamo, tam kad transliuoti visus kanalus vienu metu. Kabelinės sistemos gali tai atlikti, nes jų pralaidumas siekia 4,5 Gb/s, bet net pačių naujausių technologijų pralaidumo nepakaktų transliuoti galutiniam vartotojui visų televizijos kanalų vienu metu. Taigi norint suteikti vartotojui galimybę bet kuriuo metu turėti priėjimą prie šimtų televizijos kanalų tiesiog pakanka siųsti kelis kanalus vienu metu. Kai vartotojas nori pakeisti kanalą, STB neperjungia kanalo kaip kabelinėje televizijoje, o tiesiog siunčia užklauską į vietinį operatorių naudodamas IGMP (angl. *IP Group Membership Protocol*) v2 protokolą prašydamas gauti leidimą prisijungti prie naujos multicast grupės, kuri transliuoja norimą kanalą. Operatorius gavęs šią užklauską patikrina ar vartotojas turi leidimą žiūrėti norimą kanalą, duoda leidimą maršrutizatoriui prijungti prašantį vartotoją prie grupės, kuriai rodomas būtent tas televizijos kanalas. Tokiu būdu vartotojui yra siunčiamas tik tas televizijos kanalo signalas, kuris tuo metu yra naudojamas.

Toks būdas suteikia operatoriui galimybę rinkti statistiką apie žiūrimus ir paklausiausius kanalus, o vartotojas gauna galimybę mokėti už IPTV paslaugą tik tiek, kiek ją naudoja [7].

#### **2.4.2 Balso perdavimas internetu (VoIP)**

Vykstant balso perdavimui paprastu telefoniniu ryšiu, jis komutavimo stotyje konvertuojamas į skaitmeninį ir sudaromas maršrutas jo perdavimui tarp dviejų komutavimo

stočių. Šiose stotyse balsas paverčiamas atgal į analoginį ir variniais laidais perduodamas abonentams. Naudojant VoIP taip pat būtina konvertuoti analoginį signalą į skaitmeninį, tačiau taikomi kitokie balso perdavimo būdai.

Vykstant pokalbiui naudojant VoIP, analoginis signalas paverčiamas skaitmeniniu abonto įrenginyje, pavyzdžiui, jo kompiuteryje, tada balsas, naudojant tam tikrus protokolus, yra suspaudžiamas ir paketų perdavimo būdu, realaus laiko protokolo pagalba perduodami internetiniu ryšiu. Pokalbio sudarymui ir jo kontroliavimui naudojamas H.323 protokolas ir duomenų paketai nukreipiami pas pokalbį sudariusius abonentus.

Analoginiam tinklui pereinant į skaitmeninį, abonentinė prieiga išliko ta pati – abonto telefono aparatas. Šio aspekto trūksta dabartiniame migravime iš skaitmeninės telefonijos į internetinį tinklą, nes abonentas priverstas keisti savo galinį įrenginį. Taigi tam, kad vyktų sklandus balso paslaugų migravimas, reikalinga užtikrinti galimybę prie tų pačių prievadų prijungti tiek interneto paslaugą tiek ir paprastą telefono aparatą. [9]

### **3. Tinklo topologija ir struktūra**

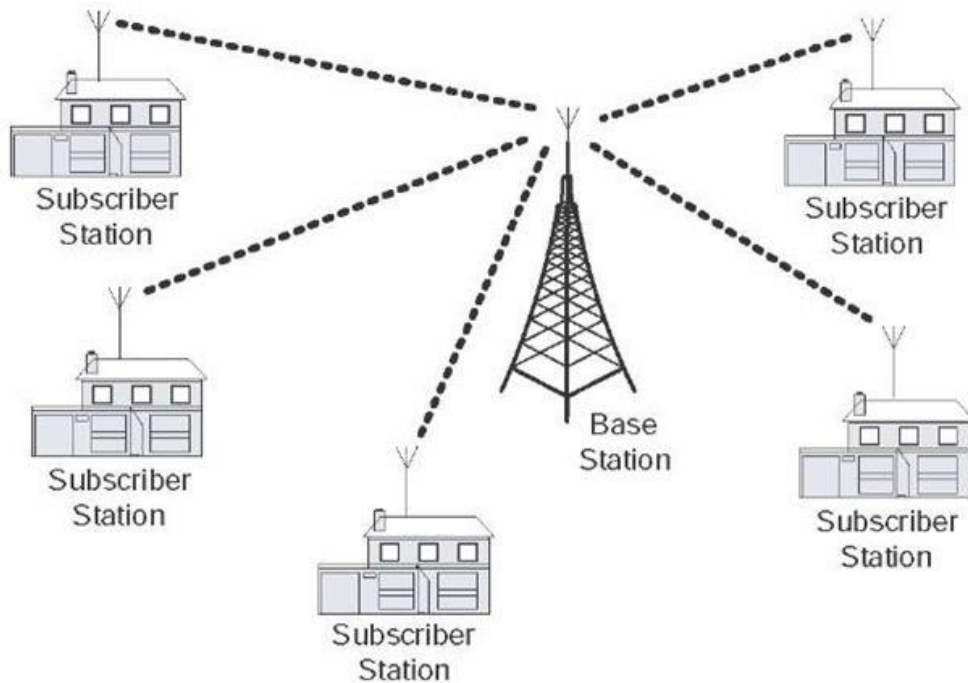
Atsižvelgiant į netinkamas sąlygas tiesti laidinius tinklus, pasirinkta naudoti bevielę tinklo prieigos technologiją. Teritorijoje nėra praversti šviesolaidžiai, todėl tektų kasinėti visą gyvenvietę, taip pat dalis gyventojų yra atsiskyrę nuo pačio gyvenvietės centro, todėl jiems taip pat sunkiau būtų nutiesti laidines linijas. Dėl to praktiškiau ir pigiau naudoti bevielę tinklo technologiją.

Labiausiai paplitusios bevielės tinklo technologijos yra Wi-Fi, LTE ir WiMAX. Wi-Fi technologija šiuo konkrečiu atveju netinkama dėl per didelio atstumo tarp bazinės stoties ir tolimesnių vartotojų.

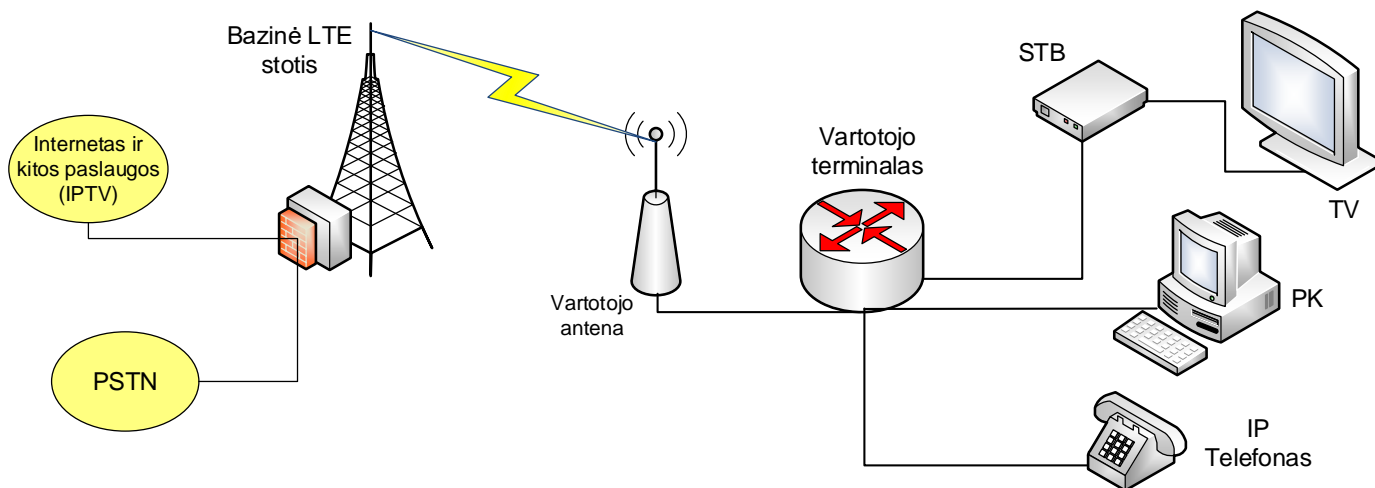
Dėl platesnio ir populiarešnio LTE vartojimo šiomis dienomis, pasirinkta būtent ši prieigos technologija tinklo projektavimui. Ji leis užtikrinti tinklo ilgaamžiškumą, o kartu su IMS sudaro sąlygas prijungti ir kitokias prieigos technologijas.

Prieigos tinklą sudarys 1 aprėpties zona, į kurią įeina bazinė stotis ir klientų LTE imtuvai. Bazinėje stotyje bus naudojamos 30° aprėpties antenos, kurios aprėps tik tą dalį teritorijos, kurioje bus naudojamos teikiamomis paslaugomis. Tinklui parinkta taškas-daug taškų topologija, nes gyvenvietės reljefas ir vartotojų išsidėstymas yra patogus šiai topologijai vystyti. Bazinė stotis stovės pačiame aukščiausiam gyvenamosios zonos taške ir praktiškai visi vartotojai bus pasiekiami neužstojant nei kalnams, nei medžiams. Kadangi reikia aprėpti apie 100° gyvenamosios zonos ploto žiūrint horizontaliai ir tuo pačiu siekiant didesnės tinklo spartos bus

naudojama MIMO technologija, todėl bus naudojamos 6 antenos, kurios aprėps  $\sim 100^\circ$  teritorijos ir jų pakaks norint išpildyti MIMO 2x2 reikalavimus. Vartotojui bus leidžiama rinktis kiek jis norės naudoti imtuvo antenų, kadangi nuo to priklausys jam suteikiama duomenų sparta.



3.1 pav. Bendrinis taškas-daug taškų topologijos pavyzdys [13]



3.2 pav. Projektuojamo tinklo supaprastinta fizinė struktūra

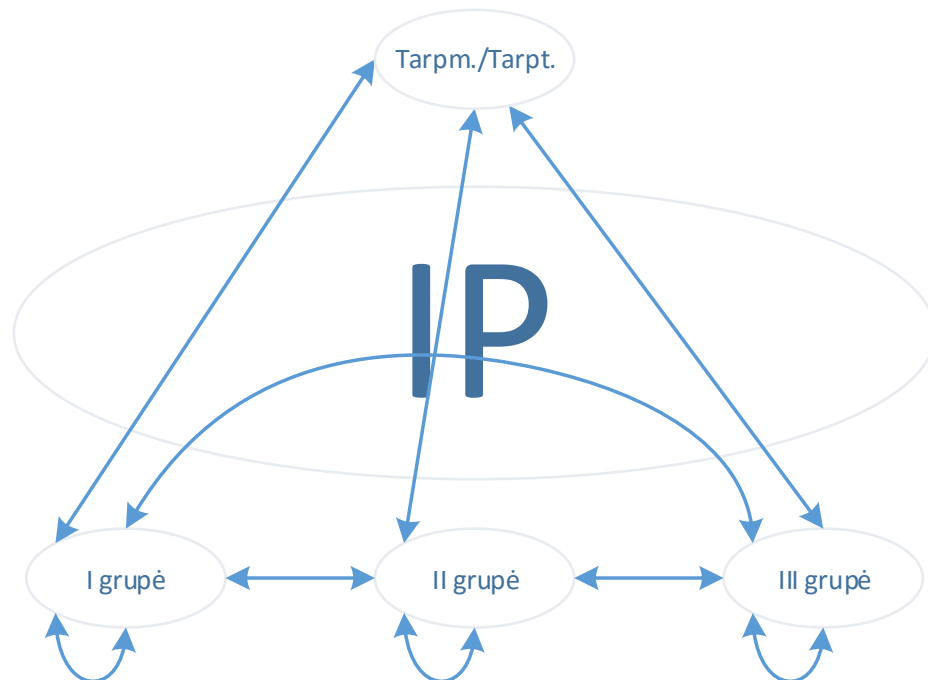


### 3.1 Balso paslaugos sukuriamų srautų pasiskirstymas

Prieš atliekant informacinių srautų skaičiavimus buvo būtina ištirti kaip tarp vartotojų pasiskirsto sukuriami srautai naudojant balso paslaugą.

Vartotojai suskirstyti į grupes, pagal naudojamas paslaugas. Taip pat priimta, kad namų sektoriuje:

- I. balso paslauga naudojasi I grupės vartotojai;
- II. balso, duomenų paslaugomis – II vartotojai;
- III. balso, duomenų bei vaizdo paslaugomis – III vartotojai.



3.3 pav. Balso paslaugos vartotojų sukuriamų srautų pasiskirstymas

Balso paslaugos sukuriami srautai:

- I vartotojų grupėje:  
I grupės vidaus apkrova –  $Y_{I-I}$ , išeinančios apkrovos –  $Y_{I-II}$ ,  $Y_{I-III}$ ,  $Y_{I-tarpm}$  ;
- II vartotojų grupėje:  
II grupės vidaus apkrova -  $Y_{II-II}$ , išeinančios apkrovos  $Y_{II-I}$ ,  $Y_{II-III}$ ,  $Y_{II-tarpm}$  ;
- III vartotojų grupėje:  
III grupės vidaus apkrova -  $Y_{III-III}$ , išeinančios apkrovos -  $Y_{III-I}$ ,  $Y_{III-II}$ ,  $Y_{III-tarpm}$

Nustačius kokie egzistuoja sukuriami galimi srautai, atliekamas apkrovų skaičiavimas.

### 3.2 Projektuojamo tinklo apkrovų skaičiavimas

Pagal pradinis duomenis sudarytas vartotojų, naudojančių balso paslaugą, pasiskirstymas sektoriuose (3.1 lentelė):

**3.1 lentelė.** Vartotojų pasiskirstymas grupėse

Paslaugų vartotojų grupė	Balso paslaugų vartotojų skaičius grupėje	Bendras vartotojų skaičius
I	15	215
II	150	
III	50	

Siekiant suskaičiuoti atskirose paslaugų vartotojų grupėse sukuriamus vietinės apkrovos intensyvumus, pirmiausiai suskaičiuojamas vieno abonento sukuriamas apkrovos intensyvumas.

Vieno abonento sukuriamas apkrovos intensyvumas:

$$y_k = c_k \cdot t_k; \quad (1)$$

čia  $k$  – kategorijos numeris,  $c_k$  –  $k$ -tosios kategorijos vieno abonento sukuriamas kvietimų skaičius per didžiausią apkrovos valandą (DAV),  $t_k$  – vidutinė prietaisų užėmimo trukmė, aptarnaujant  $k$ -tosios kategorijos abonento vieną kvietimą; [6]

Vidutinis prietaisų užėmimo laikas  $t_k$  suskaičiuojamas remiantis (2) formule:

$$t_k = \frac{1}{3600} \cdot K_p \cdot \alpha \cdot (12,5 + t_z \cdot n_z + T_k), \quad (2)$$

Čia:  $K_p$  – dalis kvietimų, pasibaigusių pokalbiu;  $\alpha$  – koeficientas, įvertinantis apkrovos padidėjimą dėl aptarnavimo kvietimų, į kuriuos nebuvo atsakyta;  $t_z$  – numerio ženklo rinkimo trukmė;  $n_z$  – ženklų skaičius abonento numeryje;  $T_k$  – abonentų vidutinė pokalbio trukmė.

Įvertinant tai, kad bendras vartotojų skaičius lygus 215 ir kuriame 100 % sudaro privatūs vartotojai,  $K_p$ ,  $\alpha$ ,  $T_k$ ,  $c_k$  reikšmės parenkamos, remiantis [6] šaltiniu.  $t_z$ ,  $n_z$  reikšmės neįvertintos, atsižvelgiant į tai, kad vartotojo numeris surenkamas dar prieš perduodant į IP tinklą. Tada atitinkamai:

$$c_k = 0,9; T_k = 140, \alpha = 1,08; K_p = 0,65;$$

$$t_k = \frac{1}{3600} \cdot 0,65 \cdot 1,08 \cdot (12,5 + 140) = 0,03 \text{ val.}$$

Tada pagal (1) formulę:

Vieno abonto sukuriamas apkrovos intensyvumas lygus:

$$y_k = 0,9 \cdot 0,03 = 0,027 \text{ Erl};$$

Žinant vieno abonto sukuriamą apkrovos intensyvumą, galima suskaičiuoti kiekvienai abonentų grupei sukuriamą vietinės apkrovos intensyvumą remiantis (3) formule:

$$Y_{ki} = N_{ki} \cdot y_k; \quad (3)$$

čia  $Y_{ki}$  – abonentų sukuriamas apkrovos intensyvumas grupėje,  $N_{ki}$  – vartotojų skaičius grupėje,  $y_k$  - vieno abonto sukuriamas apkrovos intensyvumas sektoriuje.

Pavyzdžiui I grupės vartotojų sukuriamas vietinės apkrovos intensyvumas lygus:

$$Y_{I-I} = 15 \cdot 0,027 = 0,405 \text{ Erl.}$$

Taip pat suskaičiuojamas abonentų sukuriamas tarpmiestinio ryšio apkrovos intensyvumas. Jis suskaičiuojamas remiantis (3) formule,  $y_k$  priimant lygų 0,005 Erl. (pagal pradinis duomenis) [6]. Tada I grupės vartotojų sukuriamas tarpmiestinės apkrovos intensyvumas lygus:

$$Y_{I-tarpm} = 15 \cdot 0,005 = 0,075 \text{ Erl.}$$

Analogiškai suskaičiuojamas apkrovų intensyvumas kitose vartotojų grupėse. Gauti rezultatai bei suminės apkrovos pateiktos 3 lentelėje.

**3.2 lentelė.** Abonentų sukuriamos vietinės bei tarpmiestinės apkrovos intensyvumai.

Telekomunikacijų paslaugų vartotojų grupė	Vartotojų skaičius grupėje	Vietinės apkrovos intensyvumas (Erl.)		Tarpmiestinės apkrovos intensyvumas (Erl.)	
		Sukuriama apkrova (Erl.)	Bendra sukuriama apkrova (Erl.)	Sukuriama apkrova (Erl.)	Bendra sukuriama apkrova (Erl.)
I	15	0,405	5,805	0,075	1,075
II	150	4,05		0,75	
III	50	1,35		0,25	

Įvertinant, kad tinkle galimi ir įėjimo ryšiai, bendra apkrova yra:

$$Y_{sum} = 2 \cdot Y_{viet} + 2 \cdot Y_{tarpm}, \quad (4)$$

$$Y_{sum} = 2 \cdot 5,805 + 2 \cdot 1,075 = 13,76 \text{ Erl.}$$

Pasinaudojus Erlango skaičiuokle [15], prie leistinų nuostolių  $P = 0,001$ , gauname galimą ryšio seansų skaičių lygų 27.

### Balso perdavimo srautų skaičiavimas

Skaičiuojant telefonijos vartotojų sukuriamą srautą, būtina pasirinkti naudojamą kodeką ir paketo sudarymo laiką (angl. *Packet duration*). Geriausią kalbos kokybę užtikrina G.711 kodekas, tačiau reikalingas didžiausias pralaidumas. Balsas koduojamas G.711 kodeku, kuris sukuria  $V_b = 64 \text{ kbit/s}$  naudingos informacijos srautą. Paketo sudarymo laiką parinkus 20 ms (pagal RFC 1889 rekomendaciją), per sekundę sukuriamas:

$$\lambda_b = \frac{1}{T_{PDU}} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-3}} = 50 \text{ [pak/s]}.$$

Paketo dydis tuomet lygus:

$$L_b = (V_b \cdot T_{PDU})/8 = 160 \text{ [baitų]}.$$

Bevielėje prieigoje inkapsuliuojant šiuos paketus į atitinkamų protokolų, tokių, kaip PHY MAC, PHS (IP, UDP, RTP antraštės suspaudimo protokolas) protokolų paketus, pridedamos atitinkamos antraštės:  $L_{PHY\_DL}=11$ ,  $L_{PHY\_UL}=6$ ,  $L_{MAC} = 6$ ,  $L_{PHS} = 3$ .

Tada, bendras paketo dydis LTE tinkle bus:

$$L_{\Sigma b\_LTE} = L_b + L_{PHS} + L_{MAC} + L_{PHY\_DL} + L_{PHY\_UL} = 160 + 3 + 6 + 6 + 11 = 186 \text{ [baitai]}.$$

Vieno vartotojo pokalbio metu sukuriamas srautas LTE tinkle yra:

$$V_{b\_LTE} = L_{\Sigma b\_LTE} \cdot \lambda_{\Sigma b} \cdot 8 = 186 \cdot 50 \cdot 8 = 74,4 \text{ [kbit/s]}.$$

Bendras balso paslaugos sukuriamas srautas yra:

$$V_{VoIP} = 74,4 \cdot 0,5 \cdot 27 = 1\,004 \text{ [kbit/s]}.$$

Tuomet balso paslaugos sukuriamas paketų srautas yra:

$$\lambda_{IPTV} = \frac{1004000}{186 \cdot 8} = 674,73 \text{ [pak/s]}.$$

### Duomenų perdavimo resursų skaičiavimas

Duomenų perdavimui reikalingų resursų nustatymas galimas, žinant perduodamos informacijos kiekį bei užsiduodant laiką tai informacijai perduoti. Kitas variantas nustatyti reikalingus resursus yra, pasinaudojus paketų srauto žinomumu intensyvumu bei perduodamų paketų dydžiais. Žinant atskirų kompiuterių sukurtų paketų srautus atitinkamoms paslaugoms ir įvertinant vienu metu jomis besinaudojančių kompiuterių skaičių, bendras srautas gali būti surastas pagal formulę (5):

$$V_{\Sigma PC} = \sum_{i=1}^n (k_i \cdot \lambda_i \cdot L_i \cdot N_{PC} \cdot 8); \quad (5)$$

čia:  $\lambda_i$  – vieno kompiuterio  $i$  - ios paslaugos sukurtų paketų intensyvumas (pak/s);  $L_i$  –  $i$  - ios paslaugos perduodamo paketo vidutinis dydis (baitais);  $N_{PC}$  – kompiuterizuotų darbo vietų skaičius;  $k_i$  - koeficientas, įvertinantis kokia dalis kompiuterių vienu metu naudojami atitinkama paslauga;  $n$  – paslaugų skaičius.

Sukurtų paketų intensyvumas  $\lambda_i$  gali būti surandamas eksperimentų metu arba žinant srauto  $\lambda$  bei vidutinį paketų dydį. Šiuo atveju  $\lambda_i$  galima paskaičiuoti pagal (6) formulę:

$$\lambda_i = V_{PC\_vartotoju} / L_i \cdot 8; \quad (6)$$

Vartotojų, naudojančių duomenų perdavimo paslaugą, yra  $N_{PC} = 200$ . Priimama, kad vienu metu kiekviena paslauga naudojasi 60 % kompiuterių ( $k = 0,6$ ). Tada naudojančių duomenų perdavimo paslaugą, vartotojų sukurtas srautas yra lygus:

$$V_{\Sigma PC} = \lambda_i \cdot k_i \cdot N_{PC}; \quad (7)$$

Priimama, kad vieno vartotojo vidutinis sukurtas duomenų srautas yra 4 Mbit/s žemynkrypčiu ryšiu ir 1 Mbit/s aukštynkrypčiu ryšiu, vartotojų, naudojančių duomenų perdavimo paslaugą yra  $N_{PC} = 200$ ,  $k = 0,6$ . Tada vartotojų sukurtas (ryšio linijai tarp LTE bazinės stoties ir LTE vartotojų tenkantis) srautas yra lygus:

$$V_{\Sigma PC\_LTE\_BS\_DL} = V_{PC\_DL} = 4 \cdot 0,6 \cdot 200 = 480 \text{ [Mbit/s]},$$

$$V_{\Sigma PC\_LTE\_BS\_UL} = V_{PC\_UL} = 1 \cdot 0,6 \cdot 200 = 120 \text{ [Mbit/s]}.$$

Duomenų perdavimo informacijos sukurtas paketų intensyvumas LTE bazinėje stotyje yra:

$$\lambda_{PC\_LTE\_BS} = V_{\Sigma PC\_LTE\_BS} / L_{PC} \cdot 8 \text{ [pak/s]}. \quad (8)$$

Priimant, kad vidutinis IP paketo dydis  $L_{PC}$  yra 700 baitų, apskaičiuotas sukurtas paketų intensyvumas:

$$\lambda_{PC\_LTE\_BS\_DL}' = \frac{480000000}{700 \cdot 8} = 85714,29 \text{ [pak/s]},$$

$$\lambda_{PC\_LTE\_BS\_UL}' = \frac{120000000}{700 \cdot 8} = 21428,57 \text{ [pak/s]}.$$

Bendras sukuriamas paketų intensyvumas:

$$\lambda_{PC} = \frac{600000000}{700 \cdot 8} = 107142,86 \text{ [pak/s]}.$$

### **IPTV paslaugos sukuriami srautai**

Pagal pradinis duomenis bus siūlomos raiškiosios (HD) ir standartinės (SD) televizijos paslaugos. Vienam HD formato televizinio kanalo informacijai perduoti reikalingas  $V_{HDTV} = 8 \text{ Mbit/s} = 1\,000\,000 \text{ baitų/s}$  vaizdo srautas. Dviejų SD formato televizinių kanalų informacijai perduoti reikalingas  $V_{SDTV} = 3 \text{ Mbit/s} = 375\,000 \text{ baitų/s}$  vaizdo srautas.

IPTV perdavimui naudojami  $L_{IPTV} = 188$  baitų paketai, iš kurių 4 baitai skiriami antraštei. Vieno HDTV kanalo sukuriamas paketų srautas yra:

$$\lambda_{HDTV} = V_{HDTV} / L_{IPTV} = 1\,000\,000 / 188 = 5319,2 \text{ [pak/s]}.$$

Dviejų SDTV kanalų sukuriamas paketų srautas yra:

$$\lambda_{SDTV} = V_{SDTV} / L_{IPTV} = 375\,000 / 188 = 1994,7 \text{ [pak/s]}.$$

Bevielės prieigos daliai inkapsuliuojant šiuos paketus į atitinkamų protokolų, tokių, kaip PHY, MAC, PHS protokolų paketus, pridedamos atitinkamos antraštės:  $L_{PHY\_DL} = 11$ ,  $L_{PHY\_UL} = 6$ ,  $L_{MAC} = 6$ ,  $L_{PHS} = 3$ . Tada, bendras paketo dydis LTE tinkle bus:

$$L_{\Sigma IPTV\_LTE} = 7 \cdot L_{IPTV} + L_{PHS} + L_{MAC} + L_{PHY\_DL} = 7 \cdot 188 + 3 + 6 + 11 = 1336 \text{ [baitai]}.$$

Vieno vartotojo HDTV kanalo sukuriamas srautas LTE tinkle yra:

$$V_{HDTV\_LTE} = (L_{\Sigma IPTV\_LTE} \cdot \lambda_{HDTV} / 7) \cdot 8 = (1336 \cdot 5319,2 / 7) \cdot 8 = 8,12 \text{ [Mbit/s]}.$$

Dviejų SDTV kanalų sukuriamas srautas LTE tinkle yra:

$$V_{SDTV\_LTE} = (L_{\Sigma IPTV\_LTE} \cdot \lambda_{SDTV} / 7) \cdot 8 = (1336 \cdot 1994,7 / 7) \cdot 8 = 3,05 \text{ [Mbit/s]}.$$

Priimta, kad bevielės prieigos vartotojams pateikiamas 30 programų rinkinys, tarp kurių 4 yra HD formato, visi kiti - SD formato. Iš siūlomo paketo vienu metu žiūrima apie 50 % SDTV ir 100 % (HDTV) skirtingų kanalų. Tada bendras IPTV paslaugos vartotojų sukuriamas srautas LTE tinkle yra:

$$V_{\Sigma IPTV} = 3,05 \cdot 26 \cdot 0,5 + 8,12 \cdot 4 \cdot 1 = 72,13 \text{ [Mbit/s]}.$$

IPTV paslaugą gaunančių vartotojų sukuriama paketų intensyvumas yra:

$$\lambda_{IPTV} = \frac{72130000}{1336 \cdot 8} = 6748,7 \text{ [pak/s]}.$$

Pralaidumų poreikis atskiroms zonoms ir jų vartotojams pateikta 3.3 lentelėje.

**3.3 lentelė.** Visų paslaugų sukuriama srautai ir paketų intensyvumai tinkle

Paslauga	Bendras paslaugos srautas [Mbit/s]	Bendras paslaugos paketų intensyvumas [pak/s]
Balso paslauga	1 DL 1 UL	674,73 DL 674,73 UL
Duomenų perdavimo paslauga	480 DL* 120 UL**	85714,29 DL 21428,57 UL
IPTV	72,13 DL	6748,7 DL
<b><u>Viso:</u></b>	<b>553,13 DL</b> <b>121 UL</b>	<b>93 137,72 DL</b> <b>22 103,3 UL</b>

\*DL – žemynkryptis ryšys

\*\*UL – aukštynkryptis ryšys

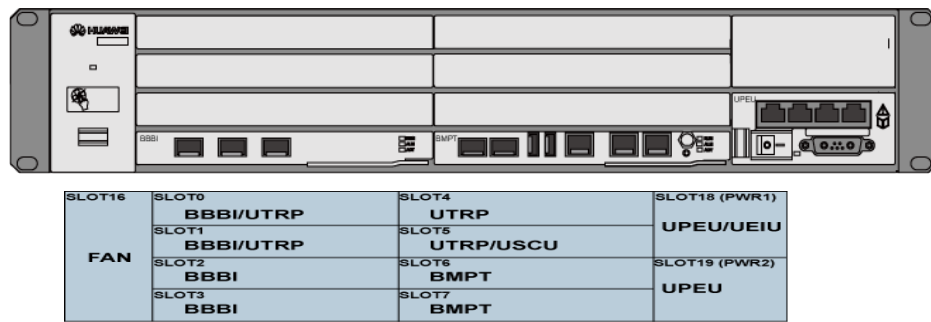
## 4. Prieigos tinklo įrangos parinkimas

### Bazinės stoties įranga Huawei DBS3900

Projektuojamos prieigos realizavimui parinkta Huawei gamintojų bazinės stoties įranga DBS3900. Įranga su tam tikra parinkta konfigūracija dirba reikiamame 2600 MHz dažnyje. Įranga susideda iš dviejų pagrindinių komplektacijos dalių [14]:

- BBU3900 (angl. *Baseband Unit*);
- 10 x RRU3702 (angl. *Remote RF Unit*).

Bazinė DBS3900 įrangos posistemė BBU3900 vykdo pagrindinius srautinius procesus, valdymo procesus, radijo resursų valdymą, tinklo valdymo procesus ir laikinę sinchronizaciją. Šiuo įrenginiu bevielė prieiga per paslaugų prieigos tinklo sietuvą sujungiami su paslaugų tiekėjų tinklais. Bazinės DBS3900 posistemės įrangos BBU3900 tipinė konfigūracija ir jungčių pasiskirstymas pateikta 5.1 paveiksle.



4.1 pav. BBU3900 tipinė konfigūracija ir portų pasiskirstymas[14]

Pagrindinės BBU3900 modulių charakteristikos pateiktos 4.1 lentelėje

4.1 lentelė. BBU3900 modulio charakteristika [14]

Modulis	Tipas	Maks. kiekis	Diegiama vieta, portas	Funkcijos
BMPT	Privaloma	2	6, 7	pagrindinių procesų apdorojimo ir duomenų perdavimų plokštė, sąsajų tarp bazinės stoties ir tinklo sietuvo modulis.
BBBI	Privaloma	4	0, 1, 2, 3	radijo sąsaja ir nešlių apdorojimo procesai, sąsaja tarp RRU ir BBU. Vienu BBBI jungiama iki 3 RRU
FAN	Privaloma	1	16	vėsina visas BBU plokštes
UPEU	Privaloma	2	18, 19	maitinimo tiekimas įrangai, aliarmų generavimas ir perdavimas
USCU	Papildoma	1	5	palydovinio ryšio korta
UEIU	Papildoma	1	18	generuoja ir perduoda informaciją apie aplinkos sąlygas
UTRP	Papildoma	2	4, 5, 0, 1	praplėtimo, perdavimo kryptimi į ASN-GW, plokštė, aprūpina iki 8 E1/T1 sąsajų
UELP	Papildoma	4		E1/T1 srautų apsaugos funkcijos

RF įranga RRU3702 yra bazinės stoties RF posistemė ir sąsaja tarp elektrinių ir radijo signalų su integruotais stiprintuvais, modulatoriais/demodulatoriais ir GPS imtuvu.



RRU3702 turi 4 antenines jungtis, kuriomis gali būti prijungta iki 2 siuntimo/priėmimo antenų. BBU3900 su RRU3702 sujungiama per BBBI modulius optinio kabelio pora (CPRI sąsaja). Į BBU3900 pajungta 10 RRU3702 modulių. Naudojant MIMO 2 portų antenas, parenkama 2T2R (S2/2/2) konfigūracija [16].

### **Duomenų perdavimo sparta**

Kanalo juostos plotis yra 5 MHz, 7 MHz arba 10 MHz, konfigūruojamas programiškai. Dažnių atskyrimo intervalas yra 250 kHz.

Naudojant vieną RRU3702 modulį esant S(2/2/2) konfigūracijai bei 10 MHz juostos pločiui, galima prijungti iki 150 galutinių vartotojų, iš kurių 70% naudojantis paslaugomis, maksimali bendra sparta per RRU3702 modulį (naudojant 64 QAM  $\frac{3}{4}$  moduliaciją ir MIMO 2R2T):

- 18 Mbit/s aukštynkrypčiam ryšiui;
- 62 Mbit/s žemynkrypčiam ryšiui [16].

### **Moduliacija**

Priklausomai nuo priimamo signalo lygio, naudojami BPSK-1/2, QPSK-1/2, QPSK-3/4, 16QAM-1/2, 16QAM-3/4, 64QAM-2/3 ir 64QAM-3/4 moduliacijos tipai.

### **Antenos**

Bazinėje stotyje signalų perdavimui ir priėmimui naudojamos plokščiaekranės ZDA Communications ZDAFP2600 antenos dirbančios 2,5 – 2,7 GHz dažnių ruože. Šios antenos pilnai suderinamos su LTE įranga. [17]

Pagrindinės ZDA Communications Wireless 2,6 GHz ZDAFP2600-16-30° plokščiaekranės antenos charakteristikos pateiktos 4.2 lentelėje.

**4.2 lentelė.** ZDA Communications Wireless 2,6 GHz ZDAFP2600-16-30° antenos charakteristikos [17]

Darbo dažnis	2,5 – 2,7 GHz
Stiprinimas	16 dBi
Poliarizacija	vertikali
Horizontalus lapelio plotis	30°
Vertikalus lapelio plotis	30°
Maksimali galia	100 W
Įėjimo impedansas	50 Ω
F/B santykis	>25
VSWR	<1,5
Jungtis	N tipo, „Female“



**4.2 pav.** ZDA Communications Wireless 2,5 – 2,7 GHz ZDAFP2600-16-30° antena [17]

### Signalų ribiniai lygiai

Atsižvelgiant į priimamo signalo lygį antena palaiko dinaminį kodavimą skirtingomis moduliacijomis (nuo QPSK1/2 (kai priimto signalo stiprumas mažesnis nei -98,5 dBm) iki 64QAM3/4 (kai priimto signalo lygis didesnis nei -81 dBm)).

Maksimali vieno anteninio porto siuntimo galia lygi 7 W (38,5 dBm). Vieno RRU3702 modulio maksimali siuntimo galia 44,5 dBm.

Mažiausio priimamo signalo lygio priklausomybė nuo kanalo pločio ir moduliacijos tipo pateikta 4.3 lentelėje.

**4.3 lentelė.** Imtuvo jautrumo priklausomybė nuo moduliacijos tipo ir kanalo pločio[16]

Moduliacija	Imtuvo jautrumas, dBm (5 MHz kanalo plotis)	Imtuvo jautrumas, dBm (7 MHz kanalo plotis)	Imtuvo jautrumas, dBm (10 MHz kanalo plotis)
QPSK – 1/2	-98.5	-96	-94,5
QPSK – 3/4	-95	-93,5	-91
16QAM – 1/2	-93	-92,2	-88,5
16QAM – 3/4	-88	-86,6	-85
64QAM – 2/3	-85,3	-84,2	-83
64QAM – 3/4	-84	-83.2	-81

**Reikalavimai aplinkos faktoriams**

Bazinės stoties BBU 3900 modulis gali dirbti esant temperatūrai nuo -20° iki +55° C. Santykinis oro drėgnumas gali būti iki 95%. Ši sistemos dalis bus įmontuota specialioje spintoje.

Bazinės stoties RRU 3702 modulis gali dirbti esant temperatūros diapazonui nuo -40° iki +50°C ir esant 100% santykiniam oro drėgnumui [16].

**Papildomos galimybės**

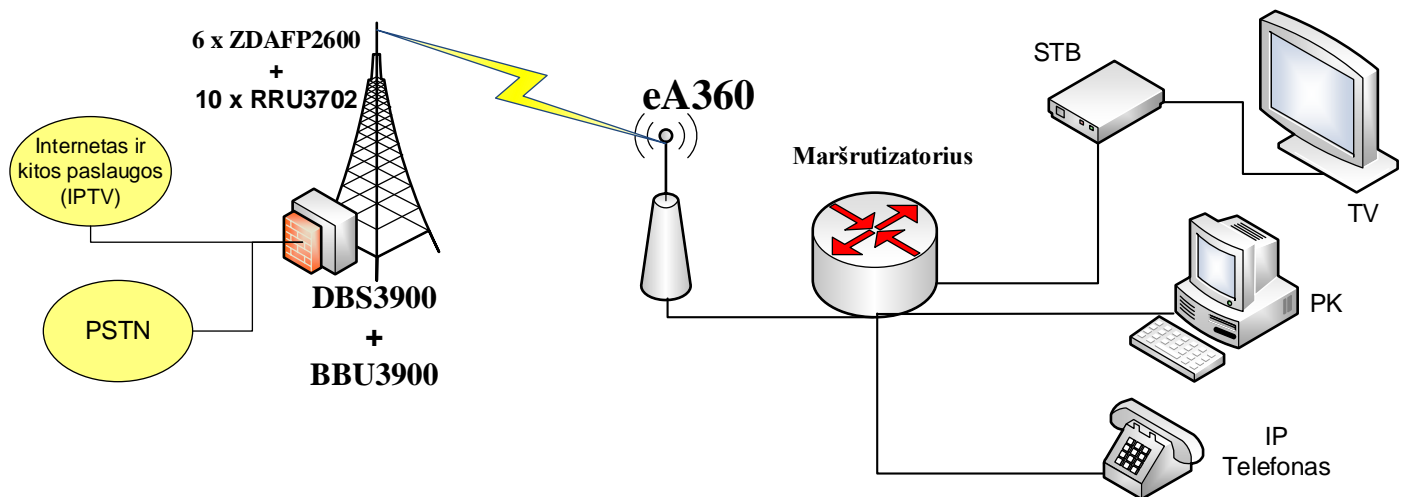
DBS3900 sistema turi integruotą GPS laiko tikslinimo mechanizmą, kuris vykdo automatinį bazinės stoties sinchronizavimą. Taip pat sistema turi apsaugą nuo žaibo, kuri padidina sistemos patikimumą ir sumažina priežiūros išlaidas.[14]

**LTE vartotojo įranga Huawei eA360**

Bevielės prieigos vartotojams parinkti Huawei eA360 terminalai su integruotomis kryptinėmis antenomis, skirti eksploatuoti lauke. [18]



**4.3 pav.** LTE vartotojų įranga Huawei eA360 [18]



4.4 Pav. Projektuojamo tinklo struktūra su parinkta įranga

## 4.1 Perduodamo signalo slopinimo skaičiavimai

Apskaičiuojami bevielės prieigos sistemos parametrai: perduodamo signalo nuostoliai laisvojoje erdvėje ir priimamo signalo lygis imtuve. Šių parametru skaičiavimas yra labai svarbus, norint suprojektuoti kokybišką radijo ryšio sistemą.

Pagrindiniai projektuojamo LTE tinklo parametrai pateikiami 4.4 lentelėje, kur tinklo parametrai parenkami atsižvelgiant į pasirinktos įrangos specifikacijose randamas reikšmes.

4.4 lentelė. Bazinės stoties, tolimiausio ir artimiausios vartotojų stočių parametrai

Centrinis dažnis ( $f_c$ )	2,6 GHz
Bazinės stoties antenos aukštis ( $h_{BS}$ )	30 m
Artimiausio vartotojo stoties antenos aukštis ( $h_{VSmin}$ )	6 m
Tolimiausio vartotojo stoties antenos aukštis ( $h_{VSmax}$ )	6 m
Atstumas tarp BS ir artimiausio vartotojo stoties ( $d_{VSmin}$ )	300 m
Atstumas tarp BS ir tolimiausio vartotojo stoties ( $d_{VSmax}$ )	1100 m
Atstumo etalonas ( $d_0$ )	100 m
Šešėlinimo standartinė deviacija ( $s$ )	9 dB
Siųstuvo galia ( $P_s$ )	44,5 dBm
Siųstuvo antenos stiprinimas ( $G_s$ )	16 dBi
Imtuvo antenos stiprinimas ( $G_i$ )	15 dBi
Minimalus imtuvo jautrumas, naudojant 64QAM – 3/4 moduliaciją ( $P_{min}$ )	-81 dBm

Skaičiavimai atlikti pagal SUI (angl. *Stanford University Interim*) matematinį prognozavimo modelį, skirtą įvertinti radijo bangų slopinimą projektuojamoje teritorijoje. Signalų lygio slopinimas laisvojoje erdvėje atstumu iki tolimiausio ir artimiausio vartotojo:

$$A_{max} = 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi \cdot d_{VSmax} \cdot f_c}{c} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 1100 \cdot 2,6 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \right) = 101,6 \text{ dB},$$

$$A_{min} = 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi \cdot d_{VSmin} \cdot f_c}{c} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot 2,6 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \right) = 90,3 \text{ dB}.$$

Apskaičiuojama nuostolių vertės eksponentė, kai vietovės tipas B (vidutinio kalnuotumo vietovė su nedideliu ar vidutiniu medžių tankumu), pasinaudojus 4.5 lentele.

**4.5 lentelė.** SUI modelio parametrai, kai vietovės tipas B

Modelio parametrai	a	b	c
Reikšmės	4	0,0065	17,1

$$\gamma = a - b \cdot h_{BS} \cdot \frac{c}{h_{BS}} = 4 - 0,0065 \cdot 30 + \frac{17,1}{30} = 3,015.$$

Dažnio korekcijos ir vartotojo stoties antenos aukščio korekcijos koeficientai:

$$\Delta L_f = 6 \cdot \log \left( \frac{f_c}{2000} \right) = 6 \cdot \log \left( \frac{3500}{2000} \right) = 0,68 \text{ dB},$$

$$\Delta L_h = -10,8 \cdot \log \left( \frac{h_m}{2} \right) = -10,8 \cdot \log \left( \frac{6}{2} \right) = -5,153 \text{ dB}.$$

Apskaičiuojamas signalo slopinimas atstumu iki artimiausio vartotojo stoties:

$$L_{VSmin} = A_{min} + 10 \cdot \gamma \cdot \log \left( \frac{d_{VSmin}}{d_0} \right) + \Delta L_f + \Delta L_h + s = 90,3 + 10 \cdot 3,015 \cdot \log \left( \frac{300}{100} \right) + 0,68 - 5,153 + 9 = 109,2 \text{ dBm}.$$

Apskaičiuojamas signalo slopinimas atstumu iki tolimiausio vartotojo stoties:

$$L_{VSmax} = A_{max} + 10 \cdot \gamma \cdot \log \left( \frac{d_{VSmax}}{d_0} \right) + \Delta L_f + \Delta L_h + s = 101,6 + 10 \cdot 3,015 \cdot \log \left( \frac{1100}{100} \right) + 0,68 - 5,153 + 9 = 136,8 \text{ dBm}.$$

Priimamo signalo lygis artimiausio vartotojo stotyje:

$$P_{iVSmin} = P_s + G_s - L_{VSmin} + G_i = 44,5 + 16 - 109,2 + 15 = -33,7 \text{ dBm}.$$

Priimamo signalo lygis didesnis už minimalų imtuvo jautrumą, naudojant 64QAM-3/4 moduliaciją:

$$P_{iVSmin} > P_{min} , \quad (9)$$

$$-33,7 \text{ dBm} > -81 \text{ dBm} .$$

Priimamo signalo lygis tolimiausio vartotojo stotyje:

$$P_{iVSmax} = P_s + G_s - L_{VSmax} + G_i = 44,5 + 16 - 136,8 + 15 = -61,3 \text{ dBm}.$$

Priimamo signalo lygis didesnis už minimalų imtuvo jautrumą, naudojant 64QAM 3/4 moduliaciją:

$$P_{iVSmax} > P_{min} , \quad (10)$$

$$-61,3 \text{ dBm} > -81 \text{ dBm}.$$

Atlikus skaičiavimus galima teigti, jog signalo lygis pakankamas visame gyvenvietės plote ir net gi paliekamas rezervas įvairiems trukdžiams kompensuoti. Gyventojams esantiems arčiau bazinės stoties galima parinkti vartotojo įrangą su silpnesne antena, nes signalo lygis ten turi pakankamai didelį rezervą.

## 5. Ekonominis pagrindimas

Šiame skyriuje skaičiuojami finansiniai projekto rodikliai, kuriais remiantis galima nuspręsti ar projektas finansiškai pagrįstas ir vertas planuojamų investicijų. Įvertinus būsimas pajamas bei planuojamas išlaidas, suskaičiuotas projekto atsipirkimo laikas.

### 5.1 Projekto užsakovas bei projektavimo tikslai

Projekto užsakovas – Išlaužo gyvenvietė. Projekto tikslas – suprojektuoti telekomunikacijų prieigos tinklą Išlaužo gyvenvietėje įvertinant teikiamų paslaugų įvairovę. Kadangi esama DSL technologija nebetenkina savo spartomis. Pasiūlius naujas paslaugas bei pritraukus didesnę vartotojų skaičių, tinklas su IMS leidžia išsilaikyti konkurencinėje kovoje, užtikrinant esamų vartotojų poreikius bei pritraukiant naujų klientų ratą, kadangi šio tinklo architektūra suteikia galimybę greitai ir lengvai įdiegti naujas paslaugas, taip sukuriant naujas ar praplečiant esamas rinkas. Projektas finansuojamas užsakovo lėšomis.

### 5.2 Projekto valdymo struktūra, darbuotojų skaičiaus planavimas

Užsakovas projekto atlikimui samdo reikalingą papildomų darbuotojų skaičių, kurį sudaro vadovai, projektuotojai bei diegimo darbininkai.

Nustatoma kiek reikės darbuotojų projekto įgyvendinimui. Darbuotojų skaičiui nustatyti reikia žinoti kiek vidutiniškai laiko truks projekto vykdymas ir apskaičiuoti efektyvaus darbo laiką.

**5.1 lentelė.** Projekto atlikimo laikas

Pavadinimas	Projekto laikas, [val.]
Paruošiamasis - baigiamasis	1440
Technologinis rengimas	2160
Poilsis	600
<b>Viso</b>	<b>4200</b>

**5.2 lentelė.** Darbo laiko sudėtis

Dienų tipas	Dienos
Kalendorinės dienos	365
Poilsio ir švenčių dienos	112
Rėžiminis darbo laikas, dienos	253
Neatvykimai į darbą, dienos:	34
Eilinės ir papildomos atostogos	28
Ligos	5
Kitos priežastys	1
Efektyvus darbo laikas, dienos	219
Darbo dienos trukmė, val.	8
Vidiniai darbo dienos nuostoliai, val.	0,15
Efektyvi darbo dienos trukmė, val.	7,85
Efektyvus darbininko darbo laikas, val.	<b>1719,15 €</b>

Pageidaujamas projekto atlikimo laikas – 3 mėnesiai. Reikalingas darbuotojų skaičius suskaičiuojamas pagal (11) formulę.

$$N_d = t / (T_{ef} / 2); \quad (11)$$

čia:  $N_d$  – darbuotojų skaičius;  $t$  – projekto atlikimo laikas (val).

$$N_d = 4200 / (1719,15 / 4) = 9,77 \approx 10 \text{ darbuotojų.}$$

Tada reikalingas vadovų skaičius randamas pagal (12) formulę.

$$N_v = N_d \cdot 0,2; \quad (12)$$

$$N_v = 10 \cdot 0,2 = 2 \text{ vadovai.}$$

Bendras reikalingų papildomų darbuotojų skaičius, darbo užmokestis bei įmokos socialiniam draudimui pateikiami 5.3 lentelėje.

**5.3 lentelė.** Išlaidos darbuotojams

Pareigos	Darbuotojų skaičius	Mėnesinis darbuotojo darbo užmokestis, Eur.	3 mėnesių darbuotojo darbo užmokestis, Eur.	Bendras darbo užmokestis, Eur.	Įmokos soc. draudimui (31 %), Eur.
Vadovai	2	850	2550	5100	1581
Projektuotojai	2	600	1800	3600	1116
Diegimo darbininkai	6	450	1350	8100	2511
<b>Viso:</b>	10			<b>16 800 €</b>	<b>5208 €</b>

### 5.3 Pagrindinio turto poreikis

Užsakovas projekto atlikimui samdo darbuotojus. Jiems numatyta išnuomoti patalpas, aprūpinti reikalingais baldais bei įrenginiais. Pagrindinio turto įvertinimas pateiktas 5.4, 5.5, 5.6 lentelėse.

**5.4 lentelė.** Patalpų nuoma

Patalpos, m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> kaina, Eur.	Nuoma mėnesiui, Eur.	Nuoma 3 mėnesiams, Eur.
80	2	160	480

**5.5 lentelė.** Reikalingi įrengimai

Įrengimai	Vnt.	Kaina, Eur.	Suma, Eur.
Kompiuteris	4	600	2400
Programinė įranga	Linux	0	0
Mobiliojo ryšio telefonas	8	150	1200
Spausdintuvas/kopijavimo aparatas	1	100	100
Testavimo įranga	1	500	500
Kitos išlaidos	-	200	200
<b>Viso:</b>			<b>4 400 €</b>



**5.6 lentelė. Perkami baldai**

<b>Pavadinimas</b>	<b>Kiekis, vnt.</b>	<b>Kaina, Eur.</b>	<b>Bendra suma, Eur.</b>
Stalas kompiuteriui	4	150	600
Kėdė	4	50	200
Spintelė	2	100	200
<b>Viso:</b>			<b>1 000 €</b>

**5.4 Projekto technikos sąnaudos**

Šiame skyrelyje suskaičiuojama projekto įgyvendinimui reikalinga įrenginių ir medžiagų kaina. Rezultatai pateikiami 5.7 lentelėje.

**5.7 lentelė. Įrangos pirkimo kaštai**

<b>Tinklo aparatūrinė įranga</b>	<b>Gamintojas</b>	<b>Modelis</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Vieneto kaina, Eur.</b>	<b>Bendra kaina, Eur.</b>
Bazinė stotis	Huawei	DBS3900 + 10xRRU3702	1	30 000	30 000
Siuntimo / priėmimo antenos	Huawei	ZDAFP2600	6	100	600
Vartotojo terminalas	Huawei	eA360	200	200	40 000
<b>Viso:</b>					<b>70 600 €</b>

- Elektros energija = kWh · tarifas · mėnesių skaičius;
  - Elektros energija = 300 kWh · 0,13 Eur/kWh · 3 mėn. = 117 Eur;
- Transporto išlaidos = transporto išlaidos per mėnesį · mėnesių skaičius;
  - Transporto išlaidos = 100 Eur · 3 mėn. = 300 Eur;
- Patalpų eksploatacinės išlaidos:
  - Eksploatacinės išlaidos = eksploatacinės išlaidos per mėnesį · mėnesių skaičius;
  - Eksploatacinės išlaidos per mėnesį:

- šaltas vanduo:

$$7 \text{ m}^3 \cdot 1,3 \text{ Eur/m}^3 = 9,1 \text{ Eur};$$

- elektra patalpų apšvietimui, administracijos reikmėms:

$$200 \text{ kWh} \cdot 0,13 \text{ Eur/kWh} = 26 \text{ Eur};$$

- Eksploatacinės išlaidos =  $(9,1 + 26) \cdot 3 = 105,3 \text{ Eur};$

- Reklama = reklamos išlaidos per mėnesį · mėnesių skaičius;

- Reklama =  $33,3 \text{ Eur} \cdot 3 \text{ mėn.} = 100 \text{ Eur};$

- Komunikacinės išlaidos = komunikacinės išlaidos per mėnesį · mėnesių skaičius;

- Komunikacinės išlaidos =  $33,3 \text{ Eur} \cdot 3 \text{ mėn.} = 100 \text{ Eur}.$

Susumavus visas išlaidas, bendros išlaidos pateikiamos 5.8 lentelėje.

#### 5.8 lentelė. Bendros išlaidos

Bendrosios išlaidos	Suma, Eur.
Patalpų nuoma	480
Įrengimai	4400
Baldai	1000
Medžiagos	70 500
Darbuotojų darbo užmokestis	16 800
Socialinis draudimas	5208
Elektros energija	117
Transporto išlaidos	300
Patalpų eksploatacinės išlaidos	105
Reklama	100
Komunikacinės išlaidos	100
<b>Viso</b>	<b>99 110 €</b>

### 5.5 Numatomos pajamos

IPTV paslauga naudojasi 50 vartotojų. Jiems suteikiama viso 30 kanalų. Šios paslaugos mėnesinis mokestis – 10 eurų. Gaunamos pajamos už IPTV paslaugą pateikiamos 5.9 lentelėje.

**5.9 lentelė.** Gaunamos pajamos už IPTV paslaugos suteikimą

Paslaugų vartotojų grupė	Vartotojų skaičius	Mėnesio pajamos, Eur.	Metinės pajamos, Eur.
III	50	500	6000

Taip pat suskaičiuojamos pajamos už siūlomus interneto planus naujiems II ir III grupių vartotojams, užtikrinančius jiems reikalingą pralaidumą (5.10 lentelė). Interneto planai parduodami kartu su galine įranga – modemais – maršrutizatoriais, todėl jų kaina atskirai nevertinama.

**5.10 lentelė.** Gaunamos pajamos už interneto suteikimą

Paslaugų vartotojų grupė	Vieno vartotojo interneto mokestis, Eur/mėn	Visų vartotojų interneto mokestis, Eur/mėn	Visų vartotojų interneto mokestis, Eur/metus
II	10	2000	24 000
III	15	750	9 000
<b>Viso:</b>			<b>33 000 €</b>

Bendros gaunamos pajamos iš naujų vartotojų pateikiamos 5.11 lentelėje.

**5.11 lentelė.** Gaunamos bendros pajamos

Už IPTV paslaugos suteikimą, Eur.	Už internetą, Eur.
6 000	33 000
<b>Viso: 39 000 €</b>	

## 5.6 Numatomas pelnas

Įdiegtam tinklui prižiūrėti bei iškilusiems gedimams šalinti skiriamas 1 darbuotojas. Darbo užmokestis bei įmokos socialiniam draudimui pateikiami 5.12 lentelėje.

**5.12 lentelė.** Išlaidos darbuotojams

Pareigos	Darbuotojų skaičius	Mėnesinis darbuotojo darbo užmokestis, Eur.	Metinis darbuotojo darbo užmokestis, Eur.	Bendras darbo užmokestis, Eur.	Įmokos soc. draudimui (31 %), Eur.
Darbuotojas	1	400	4 800	4 800	1 488
<b>Viso:</b>	<b>6 288 €</b>				

Tada paskaičiuojama pelno prognozė. Rezultatai pateikiami 5.13 lentelėje.

**5.13 lentelė.** Numatomas pelnas

Rodikliai	Rodiklio reikšmė, Eur.
Pajamos	39 000
Išlaidos (tinklo priežiūrai)	6 288
Pelnas	32 712
Pelno mokestis (15 %)	4 906,8
Grynasis pelnas	27 805,2

## 5.7 Atsipirkimo laikas

Suprojektuoto tinklo atsipirkimo laikas skaičiuojamas remiantis (13) formule.

$$T = \frac{IT}{GP}. \quad (13)$$

čia  $T$  – atsipirkimo laikas metais;  $IT$  – ilgalaikio turto vertė (tinklo projektui suprojektuoti skirtos išlaidos);  $GP$  – grynasis pelnas.

$$T = \frac{99110}{27805,2} = 3,56 \text{ metai.}$$

Galima teigti, jog gyventojams skirtas suprojektuotas tinklas ekonomiškai pagrįstas. Investiciniai projektai priimami esant atsipirkimo laikui iki 5 metų. Esant atsipirkimo laikui didesniai kaip 5 metai, gali būti priimami tik tie investiciniai projektai, kurie reikalauja labai didelių kapitalinių indėlių. Atsipirkamumas pavaizduotas paveikslėlyje 5.1.



**5.1 pav.** Projekto atsiperkamumo grafikas

## Išvados

1. Projekte buvo pasirinkta bevielė LTE signalo perdavimo technologija, nes ji labiausiai atitiko gyvenamosios zonos reljefo, infrastruktūros ir gyventojų išsidėstymo rodiklius. Taip pat patogu įdiegti LTE antenas ant jau pastatyto bokšto (vandens bokštas), kuris yra aukščiausiame gyvenvietės taške ir aprėpia visą zoną.
2. Tinklui parinkta taškas-daug taškų topologija ir atitinkamai jai pritaikyta tinklo ir vartotojų įranga, kurios parametrai atitiktų atstumo, spartos, apkrovos, aptarnaujamų vartotojų kiekį bei reikiamą LTE standartą. Parinktos ir išdėstytos bazinės stoties antenos, kurių spinduliuojamo signalo aprėptis pakankama pasirinktai vietai.
3. Atlikus signalo lygio (sklindant erdve) nuostolių skaičiavimus, gautas ~20 dBm signalo galios lygio rezervas imant signalo lygį tolimiausiame gyvenvietės taške, todėl pagal tai galima spręsti, kad signalo lygis bus pakankamas netgi esant ribinėms sąlygoms ir dideliems trukdžiams. Tuo pačiu pagal apskaičiuotą signalo lygį artimiausiame vartotojo taške galima suteikti vartotojui laisvę rinktis silpnesnę ir pigesnę vartotojo įrangą.
4. Apskaičiavus visų paslaugų vidutinius srautus nustatyta, kad tinklo pralaidumas turi siekti 553,13 Mbit/s žemynkrypčiu ryšiu ir 121 Mbit/s aukštynkrypčiu norint pilnai aprūpinti kokybišku ryšiu ~70% visų gyventojų tuo pat metu. Todėl atitinkamai parinkta bazinės stoties bei jos modulių konfigūracija, kuri išpildytų užduotus reikalavimus tinklui ir turėtų rezervą potencialiai gyvenvietės plėtrai ir didesnės spartos reikalavimui.
5. Atlikus ekonominius skaičiavimus gauta, jog tinklui suprojektuoti ir prižiūrėti skirtos išlaidos atsipirks per maždaug 3,5 metų. Pagal tai galima teigti, kad projektas ekonomiškai pagrįstas.

## Literatūros sąrašas

1. Lietuvos Statistikos Departamentas, 2013 [žiūrėta 2015-05-01]. Prieiga per internetą <http://www.stat.gov.lt/pranesimai-spaudai/?articleId=1213500>
2. Broadband Wireless Access Deployment Approach to Rural Communities, 2013 [žiūrėta 2015-04-25]. Prieiga per internetą: <http://pubs.sciepub.com/portal/downloads?doi=10.12691/jcn-1-3-1&filename=jcn-1-3-1.pdf>
3. Jarutis A. Naujosios kartos intelektualieji tinklai. – Kauno Technologijos Universitetas, 2008, p. 15–56.
4. IMS architektūra [žiūrėta 2015 09 06]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Imms\\_overview-2.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Imms_overview-2.png)
5. Išlaužas. [žiūrėta 2015 05 06]. Prieiga per internetą: <https://lt.wikipedia.org/wiki/I%C5%A1lau%C5%BEas>
6. Jarutis A. Telekomunikacijų tinklų projektavimo metodiniai nurodymai. – Kaunas: Technologija, 2011, p. 10–49.
7. An Introduction To IPTV, 2006 [žiūrėta 2015-05-01]. Prieiga per internetą <http://arstechnica.com/business/2006/03/iptv/>
8. ATIS IPTV Exploratory Group Report and Recommendation to the TOPS Council, 2006 [žiūrėta 2015-05-02]. Prieiga per internetą [http://www.atis.org/tops/IEG/ATIS\\_IPTV\\_EG\\_RPT\\_final.pdf](http://www.atis.org/tops/IEG/ATIS_IPTV_EG_RPT_final.pdf)
9. VoIP – naujos kartos balso telefonija, 2011 [žiūrėta 2015-09-15]. Prieiga per internetą <http://www.elektronika.lt/teorija/kompiuterija/27538/voip-naujos-kartos-balso-telefonija/>
10. Radijo dažnių skyrimo radijo ir televizijos programoms transliuoti ir siūsti strategija. 2003m. [žiūrėta 2015-10-07]. Prieiga per internetą: [http://www.transp.lt/lt/veikla/planavimo\\_dokumentai/sektorius\\_strateginiai\\_dokumentai/radijo\\_dazniu\\_skyrimo\\_radijo\\_ir\\_televizijos\\_programoms\\_transliuoti\\_ir\\_siusti\\_strategija](http://www.transp.lt/lt/veikla/planavimo_dokumentai/sektorius_strateginiai_dokumentai/radijo_dazniu_skyrimo_radijo_ir_televizijos_programoms_transliuoti_ir_siusti_strategija)
11. Mustafa Ergen. Mobile Broadband, Including WiMAX and LTE. Springer Science+Business Media, LLC 2009, p. 520–539.
12. LTE Network Architecture. [žiūrėta 2015-12-07]. Prieiga per internetą: [http://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_network\\_architecture.htm](http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm)
13. An Overview of Wireless Network Concepts (information science). [žiūrėta 2015-11-21]. Prieiga per internetą: <http://what-when-how.com/information-science-and-technology/an-overview-of-wireless-network-concepts-information-science/>

14. DBS3900 LTE. Produkto aprašymas. Huawei, 2011 [žiūrėta 2015-11-17]. Prieiga per internetą: <http://www.huawei.com> .
15. Erlang skaičiuoklė [žiūrėta 2015-12-25]. Prieiga per internetą:  
<http://www.erlang.com/calculator/erlb/>
16. Product Description (RRU3702). Produkto aprašymas. Huawei, 2011 [žiūrėta 2015-10-17]. Prieiga per internetą: <http://www.huawei.com>
17. 2.6 GHz flat panel Antennas (Low-loss solid brass elements). Produkto aprašymas. ZDA Communications, 2011 [žiūrėta 2015-11-07]. Prieiga per internetą <http://www.zdacomm.com/images/PDF/ZDAFP2600.pdf>
18. eA360 Customer Premises Equipment (CPE) [žiūrėta 2015-11-25]. Prieiga per internetą: <http://e.huawei.com/en/products/wireless/elte-access/access-terminal/ea360-cpe>