



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Laurijus Matilionis

JUDRIOJO RYŠIO TINKLO ĮRENGIMAS VERSLO CENTRE

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Vitas Grimala

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
TELEKOMUNIKACIJŲ KATEDRA

JUDRIOJO RYŠIO TINKLO ĮRENGIMAS VERSLO CENTRE

Baigiamasis magistro projektas
Telekomunikacijų sistemos (kodas 621H64002)

Vadovas

Doc. dr. Vitas Grimaila

Recenzentas

Projektą atliko

Laurijus Matilionis

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Elektros ir elektronikos fakultetas

Laurijus Matilionis
Telekomunikacijų sistemos, 621H64002

Baigiamojo projekto „Judriojo ryšio tinklo įrengimas verslo centre“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Laurijaus Matilionio**, baigiamasis projektas tema „Judriojo ryšio tinklo įrengimas verslo centre“ 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)

Matilionis, L. „Judriojo ryšio tinklo įrengimas verslo centre“. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Vitas Grimaila; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas, Telekomunikacijų katedra.

Kaunas, 2016. 55 psl.

SANTRAUKA

Darbo tikslas – suprojektuoti ir įrengti judriojo ryšio 4G LTE tinklą verslo centre, tenkinantį užsibrėžtus ryšio talpos ir padengimo reikalavimus.

Analitinėje dalyje apžvelgiami judriojo ryšio signalo sustiprinimo būdai ir principai. Nagrinėjami judriojo ryšio kartotuvai, jų taikymo ypatumai, privalumai ir trūkumai. Apžvelgiami radijo bangų sklidimo modeliai pastatų vidaus patalpose. Analizuojami galimi judriojo ryšio signalo sustiprinimo bei talpos padidinimo pastatų viduje realizavimo variantai bei sudaromas judriojo ryšio tinklo projektavimo algoritmas.

Projektinėje dalyje suprojektuojamas LTE tinklas, pateikiama tinklo aprėptis bei kitos charakteristikos. Atsižvelgiant į tinklo funkcionavimui reikalingus resursus, parenkama bazinės stoties sisteminė įranga. Suprojektuojama bazinė stotis bei pateikiami antenų ir kitos įrangos išdėstymo brėžiniai, techninės patalpos planas, įrangos sujungimo schema. Apskaičiuojami tinklo RF signalo slopinimai, energetinis biudžetas.

Reikšminiai žodžiai: vidaus radijo ryšio planavimas, kartotuvai, paskirstytų antenų sistemos, vidaus bazinė stotis, padengiamumo prognozavimas, judriojo ryšio technologijos.

Matilionis, L. „Mobile network installation in a business centre. Final project of Master's / supervisor doc. dr. Vitas Grimaila; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Telecommunications

Kaunas, 2016. 55 psl.

SUMMARY

The purpose of this work is to design and implement 4G LTE mobile network in a business center, matching requirements for network capacity and coverage.

The analytical part is focused on methods and principles of increasing the mobile network capacity and coverage for indoor environments. Detailed analysis of radio propagation models, network repeaters and other solutions for indoors mobile network implementation is given. An algorithm of designing a mobile network for this particular project is concluded.

In the design part the 4G LTE network is designed, given its parameters, characteristics and users traffic consumption. Complete calculations of network link budget, RF signal losses and coverage is provided. According designed network parameters, chosen necessary equipment for the network operating ensuring. The base station for network is designed, given antenna and system modules mounting drawings, equipment interconnection plan.

Keywords: indoor radio network planning, repeater, distributed antenna system, indoor base station, coverage prediction, cellular network technologies.

TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS	8
ĮVADAS	10
1. UŽDUOTIES ANALIZĖ	12
1.1. Judrusis ryšys pastatuose	12
1.2. Reikalavimai projektuojamam tinklui	14
1.3. Objekto analizė	15
2. ANALITINĖ DALIS	17
2.1. Judriojo ryšio signalo sustiprinimo būdai ir principai	17
2.1.1. Judriojo ryšio kartotuvų panaudojimas	17
2.1.2. Femtocelės.....	18
2.1.3. Pikocelės	19
2.1.4. DAS.....	20
2.2. Judriojo ryšio kartotuvų analizė.....	21
2.2.1. Optiniai kartotuvai	22
2.2.2. Radijo dažnių kartotuvai	23
2.2.3. Dažnį keičiantys kartotuvai.....	23
2.2.4. Vieno dažnio ir kelių dažnių kartotuvai.....	23
2.2.5. Pasyvūs kartotuvai	24
2.3. Radijo bangų sklidimo modeliai vidaus patalpoms	24
2.3.1. Laisvos erdvės modelis	25
2.3.2. Logaritminis atstumo nuostolių modelis.....	25
2.3.3. ITU modelis vidaus patalpoms.....	26
2.4. Judriojo ryšio tinklo realizavimas.....	27
2.4.1. Kartotuvų panaudojimas	27
2.4.2. Bazinės stoties su DAS įrengimas.....	27
2.5. Judriojo ryšio tinklo projektavimo algoritmas.....	29
3. PROJEKTINĖ DALIS	30
3.1. Sukuriama tinklo resursų bei duomenų srautų įvertinimas	30
3.2. Tinklo struktūra.....	31
3.3. Judriojo ryšio tinklo įranga	37
3.3.1. Antenos	37
3.3.2. Kabeliai, jungtys	38

3.3.3. RF signalo šakotuvai, dalikliai, kombaineriai.....	39
3.3.4. Bazinės stoties sisteminis modulis.....	40
3.3.5. RRU modulis.....	41
3.3.6. PSU blokas	41
3.3.7. Akumuliatoriai	41
3.3.8. Kondicionierius	42
3.4. Tinklo energetinio biudžeto skaičiavimai.....	43
3.4.1. Fiderio slopinimas.....	43
3.4.2. RF signalo galios paskirstymas.....	43
3.4.3. EIRP skaičiavimas	46
3.4.4. Signalų sklaidymo kelio nuostoliai.....	47
3.4.5. Tinklo aprėptis	48
3.5. Ekonominiai skaičiavimai.....	49
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	52
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	53

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

4G	ketvirtoji karta (angl. <i>Fourth Generation</i>)
AC	kintamoji srovė (angl. <i>Alternating Current</i>)
AWS	pažangaus bevielio ryšio paslauga (angl. <i>Advanced Wireless Service</i>)
CDMA	daugialypė kodinio sutankinimo prieiga (angl. <i>Code Division Multiple Access</i>)
DAS	paskirstyta antenų sistema (angl. <i>Distributed Antenna System</i>)
DC	nuolatinė srovė (angl. <i>Direct Current</i>)
DL	žemynkryptis (angl. <i>Downlink</i>)
DSL	skaitmeninė prenumeratoriaus linija (angl. <i>Digital Subscriber Line</i>)
EIRP	efektyvi izotropinio spinduliavimo galia (angl. <i>Effective Isotropic Radiated Power</i>)
FDD	dažninio atskyrimo dupleksas (angl. <i>Frequency Division Duplex</i>)
FMC	fiksuota mobili konvergencija (angl. <i>Fixed Mobile Convergence</i>)
GSM	globalinė mobiliųjų komunikacijų sistema (angl. <i>Global System For Mobile Communications</i>)
HTTP	hiperteksto perdavimo protokolas (angl. <i>Hypertext Transfer Protocol</i>)
IMS	IP multimedijos posistemė (angl. <i>IP Multimed Subsystem</i>)
IP	interneto protokolas (angl. <i>Internet Protocol</i>)
IPTV	IP televizija (angl. <i>Internet Protocol Television</i>)
ITU	Tarptautinė Telekomunikacijų Sąjunga (<i>International Telecommunications Union</i>)
LTE	ilgalaikė evoliucija (angl. <i>Long Term Evolution</i>)
MAPL	maksimalūs leistini signalo sklidimo kelio nuostoliai (angl. <i>Maximum Allowable Path Loss</i>)
NOC	tinklo operacinis centras (angl. <i>Network Operations Center</i>)
OFDM	ortogonalusis dažninis sutankinimas (angl. <i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>)
PCS	asmeninės komunikacijos paslauga (angl. <i>Personal Communications Service</i>)
PSU	energijos tiekimo blokas (angl. <i>Power Supply Unit</i>)
QAM	kvadratinė amplitudinė moduliacija (angl. <i>Quadrature Amplitude Modulation</i>)
RBS	radijo bazinė stotis (angl. <i>Radio Base Station</i>)
RF	radijo dažnis (angl. <i>Radio Frequency</i>)
RRU	nuotolinio valdymo radijo blokas (angl. <i>Remote Radio Unit</i>)
SAE	sistemos architektūros evoliucija (angl. <i>System Architecture Evolution</i>)
SDMA	daugiakartinė erdvinio sutankinimo prieiga (angl. <i>Space-Division Multiple Access</i>)
SMS	trumposios žinutės paslauga (angl. <i>Short Message Service</i>)
TDMA	daugialypė laikinio sutankinimo prieiga (angl. <i>Time Division Multiple Access</i>)
TD-SCDMA	laikinės atskirties sinchronizuotas CDMA (angl. <i>Time Division Synchronous Code</i>

	<i>Division Multiple Access</i>)
UE	vartotojo įranga (angl. <i>User Equipement</i>)
UL	aukštynkryptis (angl. <i>Uplink</i>)
UMTS	universali mobiliųjų telekomunikacijų sistema (angl. <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>)
VoLTE	balso perdavimas LTE (angl. <i>Voice over LTE</i>)
VSWR	stovinčios bangos koeficientas (angl. <i>Voltage Standing Wave Ratio</i>)
WCDMA	daugialypė plačiajuostė kodinio sutankinimo prieiga (angl. <i>Wideband Code Division Multiple Access</i>)
Wi-Fi	bevielio kompiuterinio tinklo technologija (angl. <i>Wireless Fidelity</i>)
WiMAX	pasaulinė mikrobangų sąveikos prieiga (angl. <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>)

IVADAS

Augantis mobiliųjų telefonų vartotojų skaičius ir didėjantis įvairių aplikacijų populiarumas kuria vis didesnius reikalavimus mobiliojo ryšio talpai. Vartotojai judriuoju ryšiu naudojami visur – namuose, darbe, keliaudami, tačiau pastebima, kad didžiausios tinklo duomenų apkrovos yra sukuriamos mobiliuosius įrenginius naudojant vidinėse patalpose. Būtent dėl to, vis daugiau dėmesio skiriama mobiliojo ryšio kokybės pastatuose gerinimui – įrengiamos bazinės stotys su vidaus veikimo antenomis, montuojami kartotuvai. Tačiau skirtingai nei judriojo ryšio tinklo įrengimo lauko erdvėje atveju, kokybiškas paslaugas užtikrinančio tinklo pastatų vidaus patalpose įgyvendinimas yra daug sudėtingesnis procesas.

Modeliuoti radijo bangų sklidimą vidaus patalpose gali būti ypatingai sunku, nes sklidimas yra smarkiai priklausomas nuo aplinkos – pastato struktūros, vidinių patalpų, sienų bei pertvarų išdėstymo, statybinių medžiagų charakteristikos. Norint suprasti šių faktorių poveikį radijo bangų sklidimui, reikia įvertinti tris pagrindinius elektromagnetinės bangos sklidimo reiškinius – atspindžius, difrakciją ir išsisklaidymą [1].

Atspindys susidaro bangai susidūrus su objektu, kurio matmenys yra didesni už sklidančios bangos ilgį. Bangai antispindinti, dalis jos gali būti atmušta tiesiai į bangos sklidimo šaltinį, o kita dalis sėkmingai perduota į imtuvą. Pastatų viduje šiuos atspindžius gali sukelti visos sienos ir grindys [1].

Difrakcija – tai bet koks nuokrypis nuo bangų tiesiaieigio sklidimo, nepaaiškinamas bangos atspindžiu arba lūžiu. Optikoje difrakcijos sąvoka yra susieta su banginėmis šviesos savybėmis ir nėra paaiškinama dalelinės šviesos teorijos rėmuose. Bangai sklindant, difrakcija susidaro kai kelyje tarp siųstuvo ir imtuvo atsiranda kliūčių su aštriais nereguliarumais – plyšiais, užlinkimais bei išsikišimais. Difrakcija leidžia bangoms užlinkti aplink kliūtį, net kai tarp siųstuvo ir imtuvo nėra tiesioginio matomumo. Pastatų viduje difrakciją sukelti gali didesni prietaisai, baldai [1].

Trečiasis reiškinys, įtakojantis radijo bangos sklidimą yra išsisklaidymas. Išsisklaidymas įvyksta bangai sklindant terpe, kurioje yra daug objektų, kurių matmenys yra mažesni už sklidančios bangos ilgį. Pastatų viduje išsisklaidymą sukelia augalai, smulkūs prietaisai [1].

Jungtiniai atspindžio, difrakcijos ir išsisklaidymo padariniai sukelia multikelią – išsiųstos bangos komponentai imtuvą pasiekia keliomis skirtingomis kryptimis. Imtuve sudėti tokie signalo komponentai suformuoja iškraipytą išsiųstos radijo bangos formą. Priklausomai nuo sudedamųjų signalų fazės pakitimų, multikelio komponentai gali susijungti konstruktyviai arba destruktiviai. Destruktyvioji multikelio komponentų kombinacija gali būti gauto smarkiai iškraipyto signalo priežastis [1].

Magistrinio darbo tikslas – suprojektuoti ir įrengti judriojo ryšio 4G LTE tinklą verslo centre, tenkinantį užsibrėžtus ryšio talpos ir padengimo reikalavimus. Tikslui įgyvendinti keliami šie uždaviniai:

- atlikti judriojo ryšio signalo didelių pastatų viduje sustiprinimo būdų bei principų analizę;
- išnagrinėti galimus judriojo ryšio tinklo signalo sustiprinimo bei talpos padidinimo pastatų viduje realizavimo variantus;
- išanalizuoti radijo bangų sklidimo modelius pastatų vidaus patalpose, pasirinkti tinkamą modelį bangų sklidimo skaičiavimams;
- įvertinti projektuojamo tinklo vartotojų skaičių, teikiamas paslaugas bei sukuriamas apkrovas;
- sudaryti projektuojamo tinklo struktūrą, parinkti tinkamą tinklo bei bazinės stoties įrangą;
- nustatyti tinklo pasyviosios įrangos - antenų ir signalo daliklių kiekį, parinkti įrangos montavimo vietas;
- įvertinti projektuojamo tinklo energetinio biudžeto parametrus;
- atlikti ekonominius (judriojo ryšio tinklo įrengimo, išlaikymo bei pelningumo) skaičiavimus.

1. UŽDUOTIES ANALIZĖ

Užduoties analizėje aptariama judriojo ryšio veikimo užtikrinimo problematika dideliuose iš stiklo ir gelžbetonio sudarytuose pastatuose. Apžvelgiama darbo objekto struktūra bei išplanavimas. Suformuluojami reikalavimai projektuojamo judriojo ryšio tinklo talpai ir padengimui.

1.1. Judrusis ryšys pastatuose

Šiuo metu judrusis ryšys vidaus patalpose dažniausiai pasiekiamas iš bazinių stočių, įrengtų lauke. Jos reikalauja aukštų siųstuvų pajėgumų, didelių investicijų aptarnavimo darbams bei didelių resursų, norint suteikti tam tikrą srauto lygį. Šis metodas yra gana ekonomišką, atsižvelgiant į tai, kad viena tokia bazinė stotis aptarnauja didelį kiekį pastatų, esančių tam tikrame plote. Tačiau augantis judriojo ryšio vartotojų poreikis kuria naujus reikalavimus judriojo ryšio tinklų infrastruktūrai.

Lauke sumontuotos bazinės stotys nėra orientuotos vien į pastato viduje esantį vartotoją, be to iš lauko atėjęs signalas būna gerokai nusilpęs. Toks signalas negali tenkinti maksimalių vartotojo poreikių, kurie šiuo metu auga dideliais tempais. Mažiausiai du trečdalius judriojo ryšio balso paslaugos trafiko apkrovų sukuria vartotojai, esantys pastatų viduje, o duomenų perdavimo paslaugų atveju – dar daugiau, apie 90% [2]. Todėl mobiliojo ryšio operatoriams neišvengiamai reikia ieškoti sprendimų, kaip užtikrinti kokybišką, poreikius užtikrinantį paslaugos veikimą pastatuose.

Patikimo judriojo ryšio pastatų viduje įgyvendinimas yra labai sunkus. Norint užtikrinti optimalią paslaugų kokybę, prieš realizuojant tinklą, reikia atsižvelgti į daugelį galimų nesklandumų.

Prieš atliekant tinklo instaliavimo darbus, reikia įvertinti pastato vidinę struktūrą, tam, kad įvertinti būsimos įrangos ir antenų išdėstymo vietas. Skirtingose pastato vietose, kuriose norima užtikrinti projektuojamo tinklo aprėptį, išdėstomi testams skirti siųstuvai. Vaikščiojant pastato viduje, skirtingose vietose kaupiami duomenys, kurie vėliau analizuojami ir pagal juos sudaromas kiekvieno siųstuvo aprėpties žemėlapis. Vidinių antenų išdėstymo testavimas reikalingas ne tik tam, kad įsitikinti, ar antenos padengs norimą plotą. Taip pat reikia užtikrinti, kad aprėptis nebūtų per didelė, kas galėtų įtakoti papildomą interferenciją, susidarantią pastato viduje ar išorėje [3].

Tinklo modeliavimo etape galima naudoti prognozuojamu modeliavimu (angl. *predictive modeling*) paremtą programinę įrangą. Suvedus tam tikrą informaciją – tokią kaip antenos tipas, iškėlimo aukštis, vieta, pastato vidaus patalpų charakteristikos – programa sumodeliuoja

prognozuojamą tinklo padengimo žemėlapi. Šis būdas palengvina modeliavimo darbus, tačiau nepanaikina testavimo būtinybės [3].

Atlikus tinklo infrastruktūros instaliavimo ir ryšių paleidimo darbus, paslaugos tiekėjas turėtų optimizuoti sistemos darbą. Tam įgyvendinti, vėl reikia atlikti testavimo darbus ir patikrinti ar gautas rezultatas yra optimalus, žvelgiant iš vartotojo pusės:

Ar paslauga pasiekama, kai vartotojas jos nori? – Pasiekiamumas reikalauja tinkamo padengiamumo. Tipinės identifikuojamos padengiamumo problemos yra vietos, kuriose signalas yra silpnas. Bitų klaidos santykio (angl. *bit error ratio*) ir kadru klaidos santykio (angl. *frame error ratio*) dydžiai taip pat gali padėti nustatyti padengiamumo problemas. Padengiamumo problemas pašalinti gali padėti signalo lygio reguliavimas, antenos vertikalus palenkimas žemyn arba naudojamos antenos tipo pakeitimas [3].

Duomenų perdavimo paslaugoms, ypatingai esant didesniems duomenų perdavimo srautams, pasiekti norimą padengiamumą reikia daugiau tinklinės įrangos nei balso perdavimo paslaugoms [3].

Ar visada pavyksta prisiskambinti? – Tai yra tinklo talpos matas. Talpos problemos yra identifikuojamos pagal blokuotus skambučius arba ilgesnes nei vidutinė skambučio sugeneravimo ir užbaigimo trukmes. Talpos išplėtimui galima pridėti mikro ar piko celių. Tačiau kartais ši problema būna celės perjungimo (angl. *handoff* – CDMA tinkluose, *handover* – TDMA tinkluose) rezultatas. Pavyzdžiui CDMA režimu veikiantis telefonas dvidešimtame pastato aukšte pasieks keletą išorinių bazinių stočių, kurių nepasiekia dešiamčia aukštų žemiau esantis telefonas. Aukščiau esantis telefonas gali bandyti atlikti celės perjungimą su visom (daugiausia šešiom) iš jam pasiekiamų bazinių stočių vienu metu, kas gali labai apsunkinti sklandų persijungimą. Problema gali būti kontroliuojama naudojant optimizuotą arba „asimetrinį“ gretimų celių sąrašą, kuris prideda vidines mikro arba piko celes prie išorinių gretimų celių sąrašų, tačiau apriboja vidinį gretimų celių sąrašą tik vidinėms bazinėms stotims [3].

Ar skambučiai nenutrūksta? – nutrūkę skambučiai yra prastai optimizuoto tinklo rodiklis. Taip pat tai gali reikšti celių perjungimo problemas, kas reikalauja gretimų celių sąrašo ir celių perjungimo parametrų suderinimo. Celių perjungimo parametrai vidinio tinklo infrastruktūrai turėtų būti apibrėžti glaudesniais leistiniais nuokrypiais nei išorinio tinklo įrangai [3].

Ar duomenų perdavimas nenutrūksta? – tai parodo tinklo paslaugos kokybę. Duomenų perdavimo problemas parodo prastas pralaidumas ir klaidos duomenų perdavime.

Interferencija visada yra didžiausia problema belaidžio ryšio tinkluose. Kadangi vidinio ryšio tinklų vartotojai dažniausiai nejuda arba juda palyginti lėtai, jie gali susidūri su interferencija,

trunkančia ilgiau nei aplinkoje, kurioje judėjimas yra greitas. Todėl tikimybė pokalbiui iš pastato viduje veikiančio tinklo nutrūkti yra didesnė. Interferencija pastato viduje priklauso nuo vartotojo pozicijos ir atstumo tarp jo ir bazinės stoties. Taip pat, kuo aukščiau vartotojas yra, tuo didesnė tikimybė, kad jis susidurs su interferencija, atsirandančia dėl išorėje veikiančių tinklų. Celių perjungimo kontroliavimas (prioritetinis celių sąrašas) yra vienas iš būdų, taikomų išorinės interferencijos sumažinimui. Kiti metodai priklauso nuo bevielio tinklo naudojamos technologijos. Pavyzdžiui TDMA tinkluose, bendro kanalo ir gretimo kanalo interferencija gali būti sumažinta optimizavus celių perjungimo parametrų nustatymus – atmesti skambučius, kai laiko pažangos ar lyginimo reikšmės yra už priimtinių tolerancijų išorinėms bazinėms stotims ribų. Šis veiksmas priverčia mobilaus ryšio įrenginį aptarnavimui pasirinkti vidinio tinklo kanalą. CDMA tinkluose bandomasis interferencijos kompensavimo skaičius (angl. *co-PN interference*) gali būti sumažintas išdėstant bandymų skaičiaus pogrupius tik vidiniam naudojimui arba naudojant atskirą nešlio dažnį, skirtą tik vidiniui tinklui [3].

1.2. Reikalavimai projektuojamam tinklui

Projektuojamas tinklas teiks LTE technologijos standarto paslaugas – balsu ir vaizdo skambučiai, didelės spartos duomenų perdavimas. Tinklui keliami reikalavimai:

- nepertraukiamas veikimas 99.97% laiko metų laikotarpyje;
- tinklas turi užtikrinti kokybišką visų galimų paslaugų tiekimą tūkstančiui vartotojų vienu metu. Laikant, kad vartotojai naudosis UE 4 Cat galinę įrangą, tinklas turės užtikrinti ~100 Mbps žemynkrypčiui ir ~50 Mbps aukštynkrypčiui duomenų perdavimo spartą kiekvienam;
- tinklas turi padengti visą objekto teritoriją, bet kuriame taške signalo lygis neturi būti mažesnis nei -75 dBm [4];
- gaištis (angl. *latency*) neturi viršyti 10 ms [5];
- bazinės stoties įrenginių elektromagnetinio lauko energijos srauto tankis neturi viršyti leistinos normos (10 mW/cm²) [6].

1.3. Objekto analizė

Projektuojamas judriojo ryšio tinklas bus įrengiamas neseniai pastatytame A klasės gyvenamųjų namų, komercinės ir administracinės paskirties patalpų komplekse „Ateities trio“ (1 pav.). Komplexas įsikūręs Vilniuje, Fabijoniškių mikrorajone, adresu Ateities g. 31. Baigtas statyti 2015 m. pradžioje. [7].



1 pav. „Ateities trio“ daugiafunkcinis kompleksas. Vaizdas iš viršaus [7]

Polifunkcinis kompleksas susideda iš trijų penkiaaukščių gyvenamųjų patalpų (butų) korpusų, 9-ių aukštų administracinių patalpų korpuso ir dviaukščio komercinės paskirties korpuso. Komplekse taip pat yra požeminė automobilių stovėjimo aikštelė (po administracinių ir komercinių patalpų korpusais) [7]. Projektuojamas judriojo ryšio tinklas bus įrengiamas administracinės ir komercinės paskirties korpusų patalpose bei požeminėje automobilių stovėjimo aikštelėje. Šių patalpų planai kartu su judriojo ryšio tinklo antenų išdėstymu pateikiami 3.2. skyriuje „Tinklo struktūra“.

„Ateities trio“ administracinio ir komercinio korpusų patalpų plotas [7]:

- požeminė automobilių stovėjimo aikštelė ~1300 m²;

- administracinės patalpos 1-ame aukšte ~ 480 m²;
- komercinės patalpos 1-ame aukšte ~ 930 m²;
- administracinės patalpos 2-ame aukšte ~ 410 m²;
- komercinės patalpos 2-ame aukšte ~ 530 m²;
- administracinės patalpos 3 – 9-ame aukštuose ~ 280 m² (kiekviename aukšte).



2 pav. Administracinis ir komercinis korpusai [7]

2. ANALITINĖ DALIS

Analitinėje dalyje apžvelgiami judriojo ryšio signalo sustiprinimo būdai ir principai. Nagrinėjami judriojo ryšio kartotuvai, jų taikymo ypatumai, privalumai ir trūkumai. Apžvelgiami radijo bangų sklidimo modeliai pastatų vidaus patalpose. Analizuojami galimi judriojo ryšio signalo sustiprinimo bei talpos padidinimo pastatų viduje realizavimo variantai bei pateikiamas judriojo ryšio tinklo projektavimo algoritmas.

2.1. Judriojo ryšio signalo sustiprinimo būdai ir principai

Reikalavimai judriojo ryšio talpai ir padengimui, priklausomai nuo pastato infrastruktūros, yra skirtingi. Judriojo ryšio paslaugos tiekėjas turi įvertinti RF charakteristikas kiekvienai unikaliai vidaus patalpai. Procesas gali būti atliekamas su testavimams skirtu imtuvu – mobiluoju telefonu matuojant signalo lygį skirtingose pastato vietose. Sprendžiant pagal gautus parodymus, priimamas sprendimas, ar reikia investuoti į vidaus judriojo ryšio infrastruktūrą. Jei testavimo rezultatai parodo, kad lauke esančios bazinės stoties tinklas neteikia pakankamai stipraus signalo, reikia ieškoti optimalaus sprendimo ryšio kokybės gerinimui [3].

Mobilaus ryšio operatorius gali sustiprinti bazinės stoties skleidžiamą signalą. Tačiau šis sprendimas nepadidina tinklo talpos, be to gali sustiprinti interferenciją su kitų, netoliese veikiančių bazinių stočių skleidžiamais signalais. Todėl problemai išspręsti gali būti pasirinktas kitas būdas – papildomos įrangos įrengimas vidiniam tinklui. Vienas iš paprasčiausių ir pigiausių sprendimų tinklo aprėptį padidinti yra vidaus kartotuvų sistemos įdiegimas. Zonose, kur tinklo resursų naudojimas yra itin didelis, tinklo talpai padidinti reikėtų pridėti vieną arba kelias mikro ar piko celes pastato viduje. Visi šie sprendimai gali būti panaudojami paskirstytos antenų sistemos (DAS) įgyvendinimui [3].

2.1.1. Judriojo ryšio kartotuvų panaudojimas

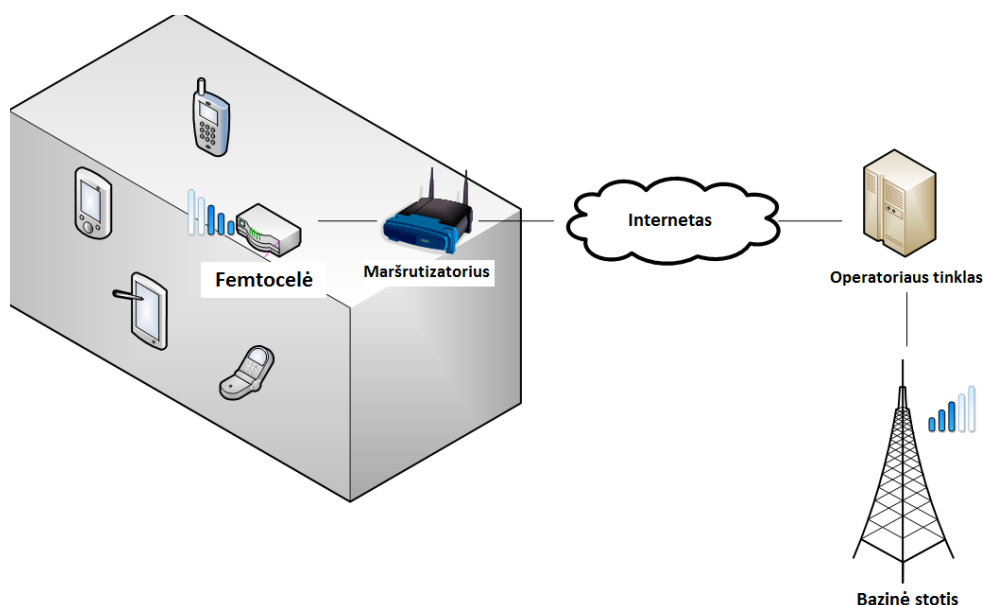
Judriojo ryšio kartotuvai yra elektroninis prietaisas, kuris priima signalą ir jį perduoda, prieš tai sustiprinęs arba pakeitęs jo kryptį. Kartotuvai dažniausiai naudojami norint padidinti judriojo ryšio tinklo aprėptį. Kartotuvų perduodamo signalo padengimo plotas priklauso nuo įeinančio signalo lygio bei pačio kartotuvo techninių galimybių. Ne visi kartotuvai gali sustiprinti perduodamą signalą [9].

Judriojo ryšio kartotuvų panaudojimas yra gana pigus ir lengvas signalo sustiprinimo būdas. Tačiau kartotuvo įdiegimas naudingas tik atskirais atvejais [9].

Pagrindinis judriojo ryšio kartotuvų trūkumas – jie nepadidina tinklo talpos [9].

2.1.2. Femtocelės

Femtocelė yra maža, žemos galios korinio ryšio bazinė stotis, tipiška pritaikyta naudojimui namuose arba smulkiam verslui. Platesnė sąvoka, kuri yra labiau paplitusi pramonėje yra maža celė su femtocele, kaip pogrupiu. Prie paslaugos tiekėjo tinklo ji prijungiama plačiajuosčiu ryšiu. Femtocelės namų aplinkai palaiko 2 – 4 aktyvius mobiliuosius telefonus vienu metu, įmonėms – nuo 8 iki 16 aktyvių mobiliųjų telefonų. Femtocelės leidžia operatoriams išplėsti tinklo padengimą vidaus patalpoms ląstelių pakraščiuose, ypač ten, kur prieiga prie tinklo būtų ribota arba nepasiekama. Femtocelės pritaikomos visiems mobiliojo ryšio standartams – GSM, CDMA2000, WCDMA, TD-SCDMA, WiMAX, LTE ir kt. [10].



3 pav. Femtocelės struktūra [11]

Mobiliojo ryšio operatoriui femtocelių įtraukimas padeda išplėsti ir tinklo padengiamumą ir talpą, ypač pastatų viduje. Vartotojas gauna geresnį padengiamumą, balso skambučių kokybę ir mažesnius mobiliojo telefono akumuliatoriaus eikvojimo resursus [10].

Femtoceles vartotojams parduoda mobiliojo ryšio operatorius. Tipiška femtocelė yra ne didesnė, nei rezidencinė tinklų sąsaja (angl. *gateway*) ir yra prijungiama prie vartotojo plačiajuosčio ryšio linijos. Prijungus femtocelę, ji prisijungia prie mobiliojo ryšio operatoriaus tinklo ir praplečia to tinklo padengiamumą. Tada vartotojas turi priskirti numerius, kurie galės prisijungti prie šios femtocelės. Tai dažniausiai padaroma per femtocelės operatoriaus teikiamą vartotojo sąsają internete (angl. *web interface*). Šiems numeriams perėjus į femtocelės aprėpties zoną, jie automatiškai persijungia iš makrocelės į femtocelę ir visi ryšiai automatiškai keliauja per ją. Femtocelės reikalauja specifinės techninės įrangos, todėl paprastas WiFi ar DSL maršrutizatorius negali būti panaudojamas kaip femtocelė [10].

Femtocelės taip pat yra alternatyvus fiksuotos mobilios konvergencijos (angl. *Fixed Mobile Convergence*) privalumų teikimo būdas. Skirtumas tas, kad dauguma FMC architektūrų reikalauja naujo mobiliojo įrenginio, galinčio dirbti su esamais nelicenzijuoto dažnio namų ar įmonės bevielės prieigos taškais, o femtocele pagrįstas įdiegimas veiks su esamais mobiliaisiais įrenginiais, tačiau reikalauja naujo, licenzijuotą dažnį naudojančio prieigos taško [10].

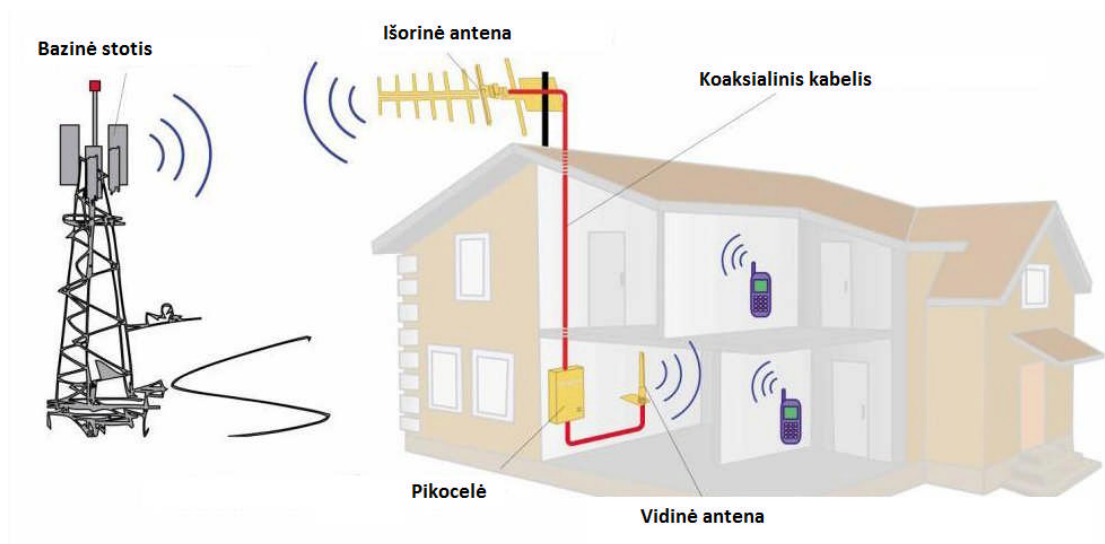
Femtocelės prie prieigos taškų jungiasi pačios, kas suteikia didesnę funkcionalumą nei makro bazinėms stotims, kuriose resursų kontrolė atliekama rankiniu būdu. Tai femtocelei suteikia daug didesnę autonomiją, įgalina savikonfigūraciją ir savioptimizaciją (angl. *self-configuration and self-optimisation*) [10].

Femtocelės yra sudėtinga technologija ir ją diegiant buvo susidūrta su daug problemų ir rūpesčių. Femtocelių trūkumas yra tas, kad jos neteikia gretimų kaimyninių celių sąrašo. Mobilieji telefonai išlaikys prisijungimą prie femtocelės kiek įmanoma, tačiau esant reikalui persijungti į išorinę makro ar mikro celę, galimas skambučio nutrūkimas arba trumpas sutrikimas [10].

Femtocelės įdiegimo vieta yra kritinis veiksnys, lemiantis platesnę tinklo veikimą ir tai yra pagrindinė sėkmingo įdiegimo problema. Femtocelei naudojant tuos pačius radijo dažnius kaip ir konvencinio korinio tinklo, buvo manoma, kad vietoj to, kad femtocelė pagerintų situaciją, ji tik dar labiau ją pablogins. Dar vienas sistemos trūkumas yra tas, kad femtocelės veikimas priklauso ir nuo mobiliojo ryšio tinklo operatoriaus, ir nuo trečiosios šalies plačiajuosčio tinklo paslaugų tiekėjo įrangos ir paslaugos patikimumo bei kokybės [10].

2.1.3. Pikocelės

Pikocelė yra maža bazinė stotis, dengianti nedidelį plotą (maždaug 200 metrų spinduliu). Pikocelės gali būti naudojamos judriojo ryšio praplėtimui vietose, kuriose signalas būna silpnas arba išvis neprasiskverbia, arba talpos padidinimui, todėl gali būti pritaikomos naudojimui įvairiose aplinkose [12].



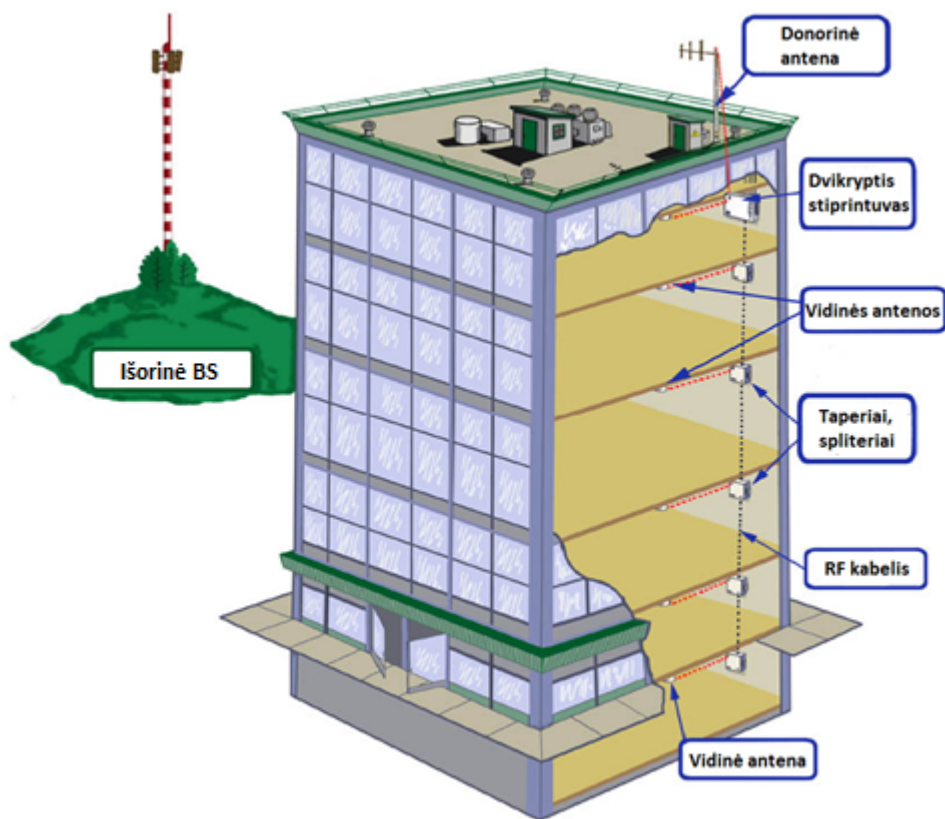
4 pav. Pikocelės struktūra [14]

Pikocelės teikia dauguma mažų celių privalumų – padidina mobiliojo ryšio vartotojų duomenų pralaidumą, paadidina tinklo talpą. Pikocelių integracija į makroceles per nevienalytį tinklą (angl. *Heterogeneous Network*) padidina mobiliojo ryšio duomenų talpą ir sumažina celių perjungimo laiką. Pikocelės pritaikomos daugumai technologijų – GSM, CDMA, UMTS, LTE ir kt [12].

Skirtumas tarp pikocelės ir femtocelės yra tas, kad pikocelės eksploatacija yra visiškai priklausoma nuo mobiliojo ryšio operatoriaus, kuris tuo pačiu rūpinasi ir stoties nuoma bei pikocelės transmisijos į bazinę stotį tinklu. Taip pat, pikocelės radijo parametrai yra nusprendžiami centralizuotai, viso tinklo atžvilgiu, o femtocelės parametrai nustatomi lokaliai, pagal esamą situaciją. Femtoceles įsidiegia pats vartotojas, o pikocelės instaliacija rūpinasi operatorius [13].

2.1.4. DAS

DAS – paskirstyta antenų sistema (angl. *Distributed Antenna System*) – tai tam tikroje erdvėje išdėstytų antenų, prijungtų prie bendros trafiko medijos, sistema. DAS dažnai yra patrauklus sprendimas, nes šios sistemos yra lanksčios ir keičiamo dydžio. Kaip ir makro bazinės stotys, DAS gali būti pritaikomos kelių skirtingų operatorių veikimui bei palaikyti skirtingas judriojo ryšio technologijas, veikiančias skirtinguose dažniuose. Paskirstytų antenų sistemos privalumas – judriojo ryšio tinklo resursus, galima paskirstyti taip, kad sistema juos sutelktų tose vietose, kuriose jų reikia daugiausia. DAS gali būti naudojama įvairaus tipo pastatuose – ofisuose, mokymo įstaigose, ligoninėse, pramogų centruose, arenose ir kt. [15].

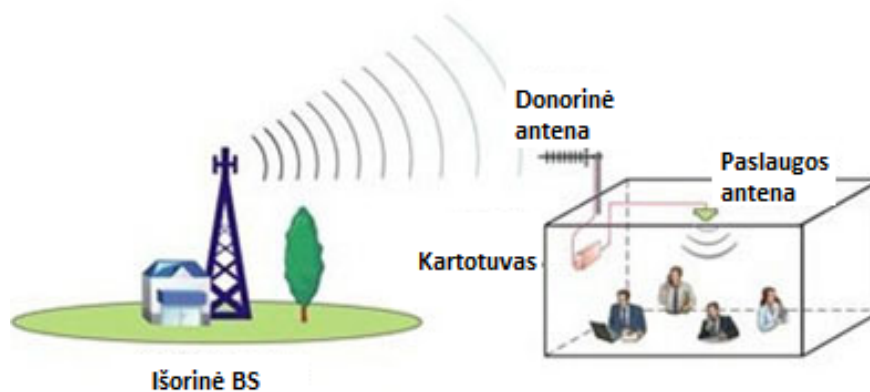


5 pav. DAS struktūra [16]

Paskirstytų antenų sistemos būna dviejų tipų – pasyvios ir aktyvios. Pasyviosios sistemos neturi signalo galios stiprintuvų, todėl jos įrengiamos atsižvelgiant į tai, kad signalas nusloptų kuo mažiau prieš perduodant jį vartotojui. Aktyviosios DAS turi stiprintuvus, todėl jų architektūra leidžia jas įrengti kur kas didesniuose pastatuose, nei pasyviųjų DAS atveju [15].

2.2. Judriojo ryšio kartotuvų analizė

Kartotuvai tai yra siųstuvas ir imtuvas, kuris priima silpną signalą, jį sustiprina ir perduoda toliau, kad signalas galėtų nukeliauti didesnę atstumą ir būtų priimtas su reikiamu lygiu. Dažniausiai kartotuvai yra statomi aukštosiose vietose – ant aukštų bokštų, kalnų viršūnių ar aukštų namų stogų. Kartotuvai turi dvi antenas: viena antena yra nukreipta į bazinės stoties pusę ir vadinama „donorine antena“ (angl. *Donor antenna*), kita antena, kuri nukreipta į kartotuvo aprėpties zoną, vadinama „paslaugos antena“ (angl. *Service antenna*) [17].



6 pav. Judriojo ryšio kartotuvo schema [18]

Kartotuvai būna dviejų rūšių: skaitmeniniai kartotuvai, kurie gali signalą išskirti iš triukšmų (angl. *regenerative*) ir analoginiai, signalo neišskiriantys iš triukšmų (angl. *non-regenerative*). Pirmųjų privalumas yra tai, kad prieš perduodant signalą jis yra atstatomas, o antrųjų – jie yra paprastesni ir pigesni, tačiau signalą sustiprina kartu su atėjusiu triukšmu.

Kartotuvai prie bazinių stočių yra prijungiami radijo ryšiu arba panaudojant varinius, optinius kabelius, todėl gali būti naudojami tiek elektroniniai tiek optiniai kartotuvai, kurie naudoja įvairias moduliacijų rūšis, bei perduoda bet kokio pralaidumo trafiką. Kartotuvai įrengiami panaudojant įvairią įrangą: antenas, fiderius, modulatorius, siųstuvus bei imtuvus, energijos tiekimo įrenginius (gali būti naudojama saulės arba vėjo energija). Kartotuvai gali turėti daugiau negu vieną stiprintuvą [17].

2.2.1. Optiniai kartotuvai

Optinis kartotuvus susideda iš radijo dažnio kartotuvo ir optinių siųstuvų-imtuvų, kurie signalą perduoda optiniais kabeliais iki vietovių, kur yra žemas signalo lygis. Kartotuvus susideda iš pagrindinio ir nuotolinio bloko (angl. *Unit*). Pagrindinis blokas yra montuojamas prie bazinės stoties, jame radijo signalas yra keičiamas į optinį ir perduodamas optiniu kabeliu iki nutolusio bloko. Nutolęs įrenginys vėl keičia signalą į radijo, jį sustiprina ir perduoda į regioną, kur signalas yra žemo lygio. Optiniai kartotuvai plačiai naudojami ten, kur nėra tiesioginio matomumo zonų tarp bazinės ir kartotuvo stočių, arba kai aprėpties zona yra per daug nutolusi nuo bazinės stoties zonos aprėpties. Naudojant optinius kartotuvus galima išskirti du aprėpties didinimo būdus [19]:

- naudojant kabelinės prieigos optinius kartotuvus (angl. *Cable-Access Fiber Optic Repeater*) – optinis kabelis tiesiamas tiesiai nuo bazinės stoties iki kartotuvo, kuris įrengiamas teritorijoje, kurioje reikia padidinti aprėptį [19];
- naudojant belaidės prieigos optinius kartotuvus (angl. *Wireless-Access Fiber Optic*

Repeater) – kai optinis kabelis klojamas ne nuo bazinės stoties, o nuo papildomo bokšto, kuris signalą priima iš bazinės stoties radijo ryšiu [19].

2.2.2. Radijo dažnių kartotuvai

Radijo dažnių kartotuvai (angl. *Radio Frequency Repeater*) – tai dvikrypčiai stiprintuvai, kurie priima radijo dažnio signalus, sustiprina juos ir RF signalu perduoda į vietas, kur nėra signalo arba signalo lygis labai žemas. Lauko sąlygomis bazinė stotis turi neišnaudoto pralaidumo, kurio perteklius radijo dažnių kartotuvo pagalba gali būti perduotas į kita aprėpties zoną, kurioje signalas yra silpnas. Radijo kartotuvai gali būti įrengti tiek miestuose tiek kaimuose, kur gyventojų tankumas labai mažas. Lyginant su montavimo vieta, kartotuvai gali būti įrengti bet kur, kur yra tinkamas energijos šaltinis, taip pat nereikalingos papildomos patalpos atskirai įrangai talpinti [20].

2.2.3. Dažnį keičiantys kartotuvai

Dažnį keičiantys kartotuvai (angl. *Frequency Shift Repeater*) susideda iš dviejų kartotuvų, turinčių dažnio keitimo modulius, galinčius vieną dažnį keisti kitu, kuris naudojamas perdavimui tarp nuotolinio ir pagrindinio bloko. Pagrindinis blokas įrengiamas prie bazinės stoties. Pakeitus dažnį bazinėje stotyje, signalas per anteną išspinduliuojamas į nutolusį įrenginį, kuriame vėl atstatomas pradinis signalas. Tuomet signalas sustiprinamas ir perduodamas į zoną su silpnu signalo lygiu. Dėl to, kad dažnis yra keičiamas, sumažėja izoliacijos reikalavimai tarp priėmimo ir siuntimo antenų. Atskyrimas tarp ateinančio ir išėinančio signalų gali būti mažesnis, o tai reiškia, kad galima naudoti mažesnius stiebus. Naudojant skirtingus dažnius nuotoliniame bloke stiprinimas gali būti labai stipriai padidinamas tam, kad gauti didesnio galingumo išėjimo signalą, leidžiantį naudoti 360° antenas [21].

2.2.4. Vieno dažnio ir kelių dažnių kartotuvai

Radijo dažnio kartotuvus galima išskirti į vieno dažnio (angl. *Single-Band*) ir kelių dažnių (angl. *Dual-Band*) kartotuvus. Vieno dažnio kartotuvai naudojami dažniausiai, jie turi paprasčiausią struktūrą ir dirba tik su viena judriojo ryšio sistema: GSM900, GSM1800, CDMA, WCDMA. Dviejų dažnių kartotuvai – tai tokie kartotuvai, kurie gali dirbti vienu metu su keliomis radijo sistemomis: GSM900 ir GSM1800 arba GSM900 ir WCDMA. Kartotuvai aiškiai perduoda (angl. *Transparently conveys*) ir sustiprina radijo signalus atitinkamai tarp dviejų skirtingų sistemų.

Yra kelių rūšių kartotuvų:

- Pasirenkamo kanalo (angl. *Channel selective*) kartotuvai – sustiprina signalus perduodamus individualiu 1 (2 arba 4) kanalu [22].

- Pasirenkamos juostos (angl. *Band-Selective*) kartotuvai – sustiprina signalus visoje reikiamoje dažnių juostoje [23].

2.2.5. Pasyvūs kartotuvai

Pasyvūs kartotuvai yra naudojami kai signalas turi būti perduodamas santykinai nedideliais atstumais, tačiau tam trukdo įvairūs reljefo ypatumai – kalnai, kalvos ir kt. Jiems nereikia energijos šaltinio, nuolatinės priežiūros ar papildomų statinių įrangos talpinimui, tačiau pasyvieji kartotuvai nesustiprina perduodamo signalo [24].

2.3. Radijo bangų sklidimo modeliai vidaus patalpoms

Belaidėse technologijose informacija yra perduodama elektromagnetinėmis bangomis. Bangoms sklindant, sąveika tarp bangų ir aplinkos išsekina signalo lygmenį. Tai sukelia signalo sklidimo kelio nuostolius ir efektyvaus ryšio zonos sumažėjimą. Radijo bangų sklidimo modelis yra matematinė formuluotė, skirta radijo bangos sklidimo parametrus charakterizuoti – tokiems kaip dažnis, siųstuvo – imtuvo atskyrimas, sklidimo vidurkio dielektrinė konstanta ir siųstuvo bei imtuvo aukščiai. Sukūrtas formalizuoti radijo bangos sklidimo keliui iš vienos vietos į kitą, modelis tipiškai numato sklidimo kelio praradimą arba efektyvų siųstuvo teritorijos padengimo plotą. Radijo bangų sklidimo modeliai skirstomi į deterministinius ir empirinius.

Deterministiniai modeliai pagrįsti elektrinio lauko skaičiavimais. Kaip įvestys skaičiavimuose yra naudojami tokie parametrai kaip siųstuvo aukštis, imtuvo aukštis, siųstuvo ir imtuvo atskyrimas, sklidimo konstanta ir aplinkos informacija. Šie modeliai reikalauja plačių skaičiavimų, todėl duomenų apdorojimas atima daug laiko ir resursų. Jie taip pat reikalauja labai didelio aplinkos duomenų kiekio. Tačiau rezultatai yra labai artimi tikrajam signalo sklidimui toje aplinkoje. Deterministiniai modeliai vidaus patalpoms skirstomi į dvi pagrindines klases: statistiniai modeliai ir specifiniai pastatų modeliai [25].

Statistiniai, kelio nuostolių nuo atstumo priklausomybės modeliai naudingi radijo bangų sklidimo pastatuose supratimui. Tačiau jie reikalauja daugybės varginančių matavimų duomenų rinkimui tam tikruose pastatuose [25].

Specifinių pastatų modelių pagrindas yra elektromagnetinės bangos sklidimo teorija, skirta charakterizuoti radijo bangų sklidimą vidaus patalpose. Priešingai nei statistiniai modeliai, specifiniai pastatų modeliai nesiremia dideliais matavimais, bet jiems reikalingas didelis vidaus aplinkos detalizavimas ir charakteristikos [25].

Empiriniai modeliai suprojektuoti specifiniam komunikacijos sistemų tipui, specifiniams sistemos parametrų ir aplinkos tipams, ir pagrįsti didelėmis duomenų, rinktų specifiniam

scenarijui, kolekcijomis. Bet kokiam modeliui duomenų kolekcija turi būti pakankamai didelė, kad aprūpintų pakankamu tikėtinumu (ar pakankama apimtimi) visas situacijų rūšis, kurios gali įvykti tame specifiniame scenarijuje. Empiriniai modeliai, kaip ir visi radijo bangų sklaidimo modeliai neparodo tikslaus sąsajos elgesio, greičiau, jie numato labiausiai tikėtiną elgesį, kurį sąsaja gali parodyti su apibrėžtomis sąlygomis [25].

2.3.1. Laisvos erdvės modelis

Nors šis modelis nėra tiesiogiai pritaikomas radijo bangų sklaidimo vidaus patalpose modeliavimui, jis yra naudojamas kelio nuostolio trumpose distancijose apskaičiavimui, kas yra reikalinga kitų modelių skaičiavimų dalis. Laisvos erdvės kelio nuostolio (angl. *Free Space Path Loss*) modelis apskaičiuoja kelio praradimą kaip siųstuvo-imtovo atskyrimo funkciją, kai siųstuvai ir imtuvai yra laisvos erdvės aplinkoje ir turi tiesioginį matomumą. Modelio lygtis, kelio praradimą išreiškianti decibelais (dB), pavaizduota 2.1 formulėje [1]:

$$PL(d) = -10 \log \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}; \quad (2.1)$$

čia $PL(d)$ – sklaidimo kelio nuostolis (dB); G_t ir G_r – siųstuvo ir imtuvo stipriai (dB); λ – bangos ilgis (m); d – atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo (m) [1].

Ši lygtis yra teisinga tik tuo atveju, jei imtuvas yra nutolęs tam tikru, lauko tolį (angl. *far-field*) atstumu nuo siųstuvo. Lauko tolį išreiškiamas lygtimi, pavaizduotoje 2.2 formulėje [1]:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}; \quad (2.2)$$

čia D – didžiausias siųstuvo antenos matmuo (m) [1].

2.3.2. Logaritminis atstumo nuostolių modelis

Remiantis šiuo modeliu laikoma, kad kelio nuostoliai kinta eksponentiškai, priklausomai nuo atstumo. Modelio matematinė išraiška pavaizduota 2.3 formulėje [1]:

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log \frac{d}{d_0}; \quad (2.3)$$

čia n – sklaidimo kelio nuostolio eksponentė; d – atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo (m); d_0 – artėjimo etaloninis atstumas (m) [1].

Logaritminis atstumo nuostolių modelis (angl. *Log-distance path loss*) modelis neįvertina signalo slopimo efektų, kurie gali atsirasti dėl įvairių besikeičiančių kliūčių tarp siųstuvo ir imtuvo. Tam kompensuoti yra apibrėžtas Logaritminis atstumo šešėlinimo modelis (angl. *Log-distance*

shadowing) modelis, kurio matematinė išraiška pavaizduota 2.4 formulėje [1]:

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log \frac{d}{d_0} + X_\sigma; \quad (2.4)$$

čia X_σ – nulinė Gauso atsitiktinio kintamojo reikšmė su standartiniu nuokrypiu σ (dB). Atsitiktinis kintamasis X_σ bando kompensuoti atsitiktinius slopimo efektus, atsirandančius dėl kliūčių [1].

Log-distance path loss modelis yra gana primityvus, neįvertinantis daugelio skirtingų galimų bangos sklidimo scenarijų, kuriems įtakos gali turėti skirtingi veiksniai, todėl keletas mokslininkų, remdamiesi savo atliktų matavimų duomenimis, papildė šį modelį tam tikrais papildomais faktoriais [1].

Seidel ir Rappaport aprašytas modelis įtraukia specialią signalo kelio nuostolių eksponentę ir pastato aukšto silpninimo faktorių. Modelio matematinė išraiška pavaizduota 2.5 formulėje [1]:

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10n_{sf} \log \frac{d}{d_0} + FAF; \quad (2.5)$$

čia n_{sf} – kelio nuostolio eksponentė vienam aukštui; FAF – aukšto slopinimo koeficientas, praklausomas nuo aukštų tarp siųstuvo ir imtuvo skaičiaus. Abu dydžiai yra empiriniai [1].

Devasirvatham aprašė panašų modelį į ankstesnįjį, kuriame jis įtraukė pridėtinį signalo slopimo koeficientą, priklausomą nuo kelio (2.6 formulė) [1]:

$$PL(d) = PL(d_0) + 20 \log \frac{d}{d_0} + \alpha d + FAF; \quad (2.6)$$

čia α – duotojo kanalo slopimo koeficientas (dB/m).

Motley ir Keenan modelis, pavaizduotas 2.7 formulėje, nuo Seidel ir Rappaport modelio skiriasi tuo, kad jame aukštas turi specifinį slopinimo faktorių ir rezultatas gaunamas šį koeficientą dauginant iš aukštų, skiriančių siųstuvą ir imtuvą, skaičiaus [1].

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log(d) + kF; \quad (2.7)$$

čia k – aukštų tarp siųstuvo ir imtuvo skaičius; F – individualus aukšto slopinimo koeficientas [1].

2.3.3. ITU modelis vidaus patalpoms

ITU modelis vidaus patalpoms (angl. *ITU model for indoor attenuation*) numato signalo kelio uždaroje pastato erdvėje sklidimo nuostolius. Modelis pateikia apytikslį galutinį kelio

nuostolių, kuriuos sklindantis signalas galėtų patirti, dydį. Modelis pritaikomas radijo bangoms, kurių dažniai nuo 900 MHz iki 5.2 GHz bei pastatams, turintiems 1 – 3 aukštus. Matematinė išraiška pavaizduota 2.8 formulėje [26]:

$$L = 20 \log f + N \log d + P_f(n) - 28; \quad (2.7)$$

čia L – sklidimo kelio nuostolis (dB); f – perduodamos bangos dažnis (MHz); d – atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo (m); N – kelio nuostolio koeficientas; n – aukštų tarp siųstuvo ir imtuvo skaičius; $P_f(n)$ – skverbties tarp aukštų nuostolio koeficientas [26].

2.4. Judriojo ryšio tinklo realizavimas

2.4.1. Kartotuvų panaudojimas

Pastate, kuriame reikia tik išplėsti tinklo aprėptį, nepridedant daugiau tinklo talpos, praktiškiausias sprendimas yra judriojo ryšio kartotuvo su DAS sistemos įdiegimas. Tai leidžia išlaikyti reikalingą signalo lygį pastato viduje ir pagerinti duomenų pralaidumą iš lauko į pastato vidų [27].

Kartotuvo įrengimui nereikia prisijungimo prie tinklo su radiorelinės transmisijos antena, tačiau visos sistemos veikimas priklauso tik nuo pasiekimo signalo iš esamos bazinės stoties, kurios priimamą signalą kartotuvai sustiprina ir retransliuoja pastato viduje per DAS. Svarbiausi sėkmingo kartotuvų įdiegimo parametrai yra tinkamas pasirenkamo kartotuvo tipas bei kiekis ir nuotolinis kartotuvų tinklo stebėjimas [27].

Judriojo ryšio kartotuvai, kaip ir kiti aktyvūs tinklo elementai, turi būti integruoti į mobiliojo ryšio operatoriaus tinklo stebėsenos ir kontrolės sistemą. Blogai įdiegus kartotuvą ar šiam sugedus, būtina kuo skubiau imtis priemonių šiai problemai išspręsti, todėl tinkamas tinklo stebėjimas leidžia greitai identifikuoti gedimą ir kartotuvą atjungti nuo sistemos nuotoliniu būdu, iki problema yra išsprędžiama [27].

Taip pat, keičiant kartotuvo donorinės bazinės stoties celės parametrus, būtina sureguliuoti parametrus ir pačiam kartotuvui – tokius kaip dažnio apkeitimas ir kt. Dauguma kartotuvų yra nuotoliniu būdu reguliuojami per vidinę belaidžio tinklo plokštę ir yra priklausomi nuo tinklo operacijų centro (NOC) platformos, kuria kontroliuojami visi operatoriaus tinkle įdiegti kartotuvai. Todėl prieš pasirenkant kartotuvus, būtina atsižvelgti ir įvertinti viso tinklo eksploataciją keliems metams į priekį [27].

2.4.2. Bazinės stoties su DAS įrengimas

Bazinės stoties įrengimui reikia gerai įvertinti ne tik technines įgyvendinimo galimybes, bet

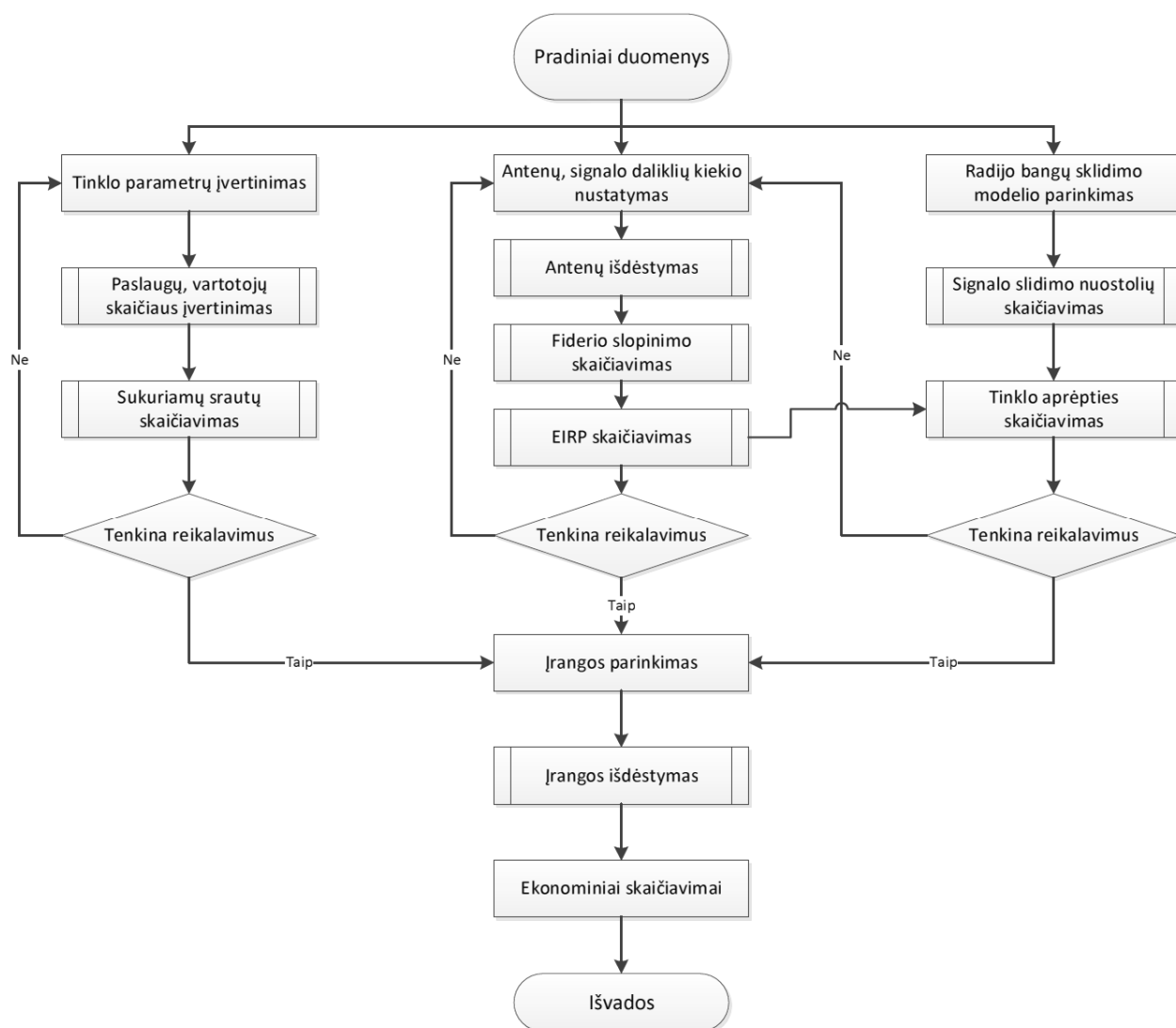
ir įvairius verslo lygmens aspektus. Planavimo procedūroje turi būti įtraukti visi operatoriui aktualūs aspektai – kaip ir kada bus įgyvendinta DAS sistema, kas už ką atsakingas, reikalinga dokumentacija ir generalinis darbų atlikimo procesas. Visą planavimo eigą galima suskirstyti į kelis etapus [27]:

- **Preliminarus planavimas.** RF tinklo planuotojas sudaro pirminį projektuojamo tinklo modelį, naudodamas radijo biudžeto planavimo įrankius ir radijo bangų sklidimo modelius. Įvertinus objekto, kuriame įrengiama bazinė stotis apžiūros rezultatus, šis planas koreguojamas ir sudaromas galutinis tinklo modelis [27].
- **Objekto žvalgyba.** Įvertinamos pastato vidaus charakteristikos – išplanavimas, struktūra, kabelinės šachtos, įvertinama vidinių antenų sumontavimo galimybė ir vieta. Atliekamas išorinio matomumo (angl. *Line of Sight*) su artimiausiomis bazinėmis stotimis įvertinimas. Taip pat atliekami signalo, ateinančio iš išorinių bazinių stočių, lygio matavimai [27].
- **Radiorelinės transmisijos linijos planavimas.** Transmisijos planavimas apima transmisijos tinklo topologijos pasirinkimą, įrangos konfigūracijas, sinchronizacijos ir valdymo planus. Nemažiau svarbu tinkamai pasirinkti bazinę stotį radiorelinės transmisijos linijai. Pasirinkus kryptinės antenos charakteristikas, programiškai įvertinama interferencija [27].
- **Įrangos parinkimas.** Planavimo procese apsisprendus dėl projektuojamo tinklo charakteristikų bei įvertinus technines galimybes, parenkama bazinės stoties įranga.

Naujos bazinės stoties pastato viduje įrengimas yra ilgas, brangus ir sudėtingas procesas, tačiau, lyginant su kitais sprendimais, turi daugiausia privalumų: beveik nepriklausomas nuo gretimų bazinių stočių ar trečiųjų šalių teikiamų paslaugų, lengva technologijų migracija, nesudėtingas tinklo parametrų keitimas, tinklo talpos valdymo galimybė, ilgaamžiškumas.

2.5. Judriojo ryšio tinklo projektavimo algoritmas

Sudaromas judriojo ryšio tinklo projektavimo algoritmas. Projektavimas vyks keliais etapais. Pirmiausiai parenkami pirminiai duomenys – įvertinami projektuojamo tinklo sisteminiai parametrai, įvertinamas vartotojų skaičius bei jiems teikiamų paslaugų sukuriamos tinklo apkrovos. Numatomas antenų kiekis bei jų išdėstymas pastato patalpose, pagal juos įvertinami slopinimai bei tinklo aprėptis. Jei visi apskaičiuoti parametrai tenkina reikalavimus, pagal juos parenkama tinkama bazinės stoties įranga. Galiausiai atliekami projekto ekonominiai skaičiavimai. Detalus judriojo ryšio tinklo projektavimo algoritmas pateiktas 7 pav.



7 pav. Judriojo ryšio tinklo projektavimo algoritmas

3. PROJEK TINĖ DALIS

Projektinėje dalyje suprojektuojamas LTE tinklas, pateikiama tinklo aprėptis bei kitos charakteristikos. Atsižvelgiant į tinklo funkcionavimui reikalingus resursus, parenkama bazinės stoties sisteminė įranga. Suprojektuojama bazinė stotis bei pateikiami antenų ir kitos įrangos išdėstymo brėžiniai, techninės patalpos planas, įrangos sujungimo schema. Apskaičiuojami tinklo RF signalo slopinimai, energetinis biudžetas.

3.1. Sukuriamo tinklo resursų bei duomenų srautų įvertinimas

Projektuojamas judriojo ryšio LTE tinklas su pasyviaja DAS veiks „Ateities trio“ pastato verslo korpuso 1 – 9-ame aukštuose, požeminėje automobilių stovėjimo aikštelėje bei pastato 1-ame ir 2-ame aukštuose esančiose komercinės paskirties patalpose. Planuojamas vartotojų, galinčių vienu metu naudotis tinklo paslaugomis, skaičius:

- HTTP paslauga – 120 vartotojų;
- VoLTE paslauga – 180 vartotojų;
- IPTV – 20 vartotojų;
- duomenų perdavimas – 20 vartotojų;
- SMS paslauga – 100 vartotojų;

Bendras numatomas vartotojų skaičius – 440. HTTP protokolas naudojamas naršymui internete, VoLTE (balso perdavimas LTE) ir SMS paslauga bus vykdoma per IMS (IP multimedijos posistemė). Duomenų perdavimas vartotojui žemynkrypčiam (angl. *Downlink*) ir aukštynkrypčiam (angl. *Uplink*) perdavimams vyks arti maksimalios spartos.

Projektuojamo LTE tinklo parametrai:

- kanalo juostos plotis: 15 MHz;
- dažnis: 1800 MHz;
- moduliacija: 64-QAM;
- erdvinis vartotojų atskyrimas SDMA/Adaptive (FDD) 4x2;
- dažninio atskyrimo duplexas (FDD).

Naudojantis OFDM skaičiuokle apskaičiuojami maksimalūs projektuojamo LTE tinklo žemynkrypčio ir aukštynkrypčio duomenų perdavimo srautai (8 pav.).

The screenshot shows the 'LTE OFDM Worksheet Dialog' window with the following settings:

- Channel Bandwidth: 15 MHz
- Modulation: 64-QAM
- Number of LTE Resource Blocks: 75
- Subcarrier Spacing: 15.0 kHz
- Subcarriers: 900
- MIMO/SDMA: SDMA/Adaptive (FDD) 4x2
- FFT Size: 1536
- Use Default Multiplier: checked
- Down Link: 1.5
- Up Link: 2
- FDD/TDD: FDD selected
- TDD Configuration #: 5
- Cyclic Prefix(cp): 4.7 (normal) μs
- UE Category: 4
- CP Compensation Distance: 1.4 km
- OFDM Symbol Duration: 71.3 μs
- Max Downlink data rate: 97.2 Mbps
- Symbol Rate: 81 Msps
- Max Uplink data rate: 86.4 Mbps

8 pav. LTE tinklo parametrai

1-oje lentelėje pateikiamos tinklo paslaugų sukeltos apkrovos.

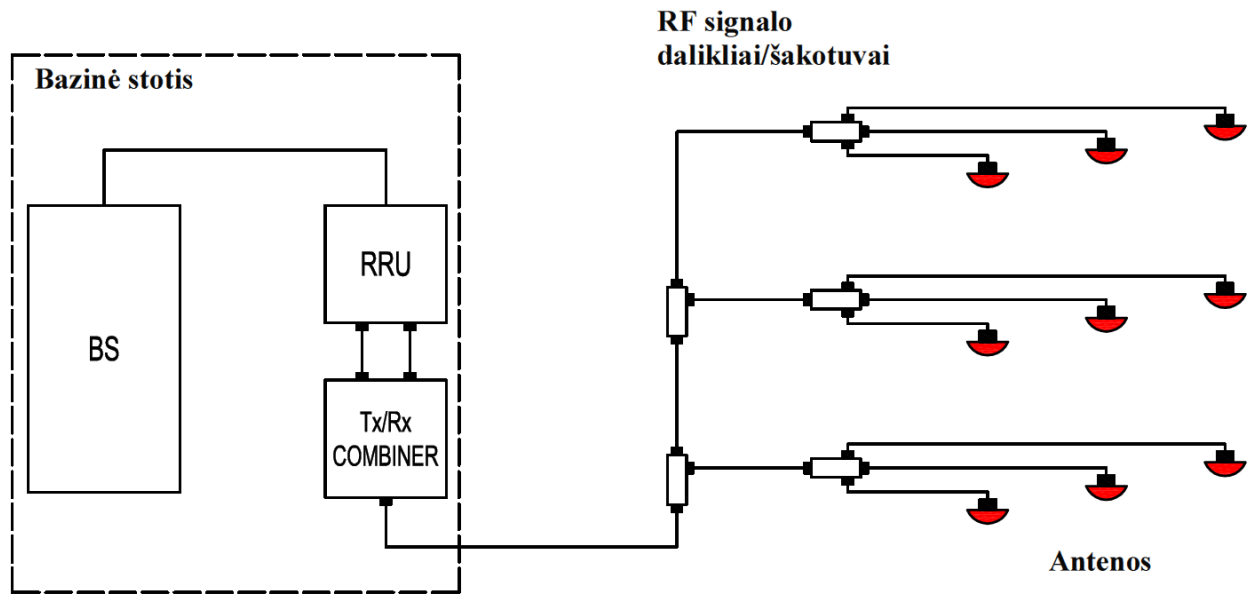
1 lent. Projektuojamo LTE tinklo sukuriamos apkrovos:

Paslauga	Duomenų srautas, Mbps		Vartotojų sk.	Bendras sukuriamas srautas, Mbps	
	DL	UL		DL	UL
HTTP	0,512	0,064	120	61,44	7,68
VoLTE over IMS	0,024	0,024	180	4,32	4,32
IPTV	1,7	0,064	20	34	1,28
Duomenų perdavimas	95	80	20	1900	1600
Viso	97,236	80,152	340	1999,76	1613,28

Kadangi SMS per IMS paslauga nėra nepertraukiama ir naudojamas labai mažas duomenų kiekis (vienos žinutės maksimalus dydis – 200 B + antraštės [40]), laikoma, kad SMS paslaugos vartotojai tinklo apkrovai įtakos neturi. Iš gautų rezultatų matoma, kad bendras sukuriamas tinklo srautas yra ~2 Gbps žemynkrypčiui perdavimui ir ~1,61 Gbps aukštynkrypčiui perdavimui.

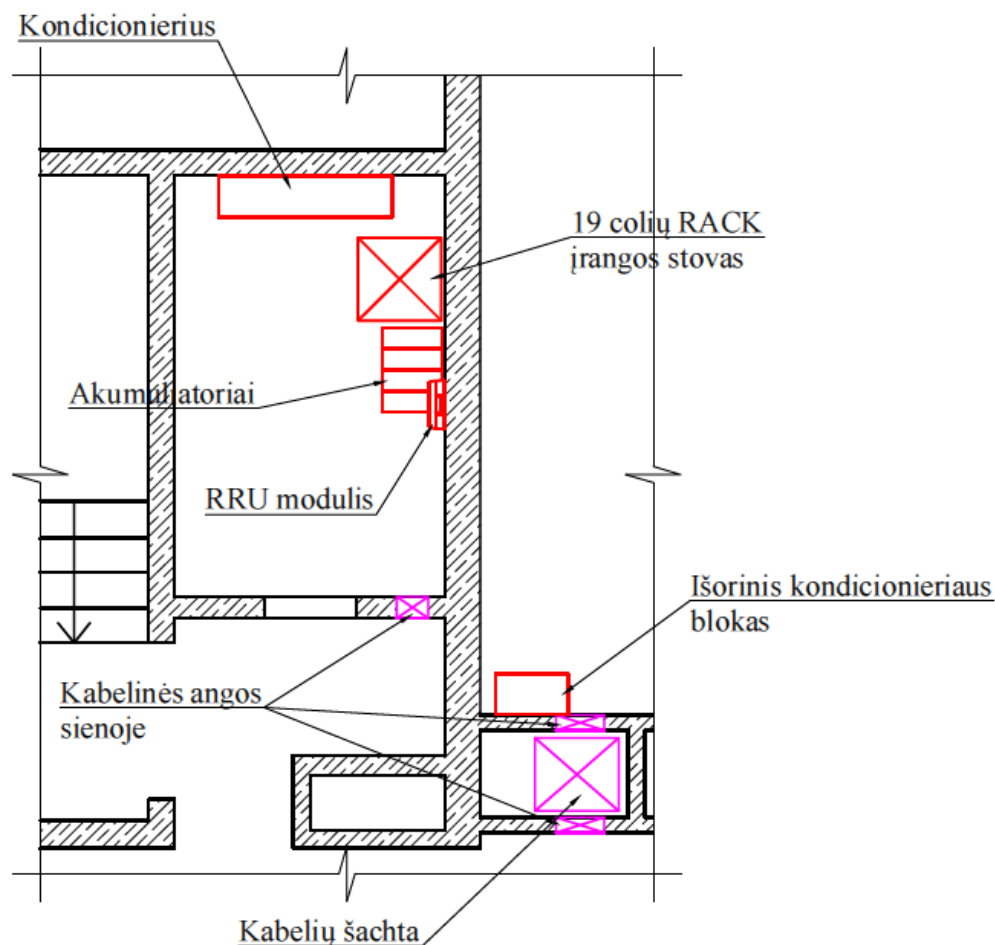
3.2. Tinklo struktūra

Projektuojamas LTE tinklas užtikrins nepertraukiamas paslaugas vartotojams visuose devyniuose pastato verslo sektoriaus korpuso auštuose, dviejuose komercinių patalpų korpuso aukštuose bei požeminėje automobilių stovėjimo aikštelėje. Tikslo įgyvendinimui projektuojama vidinė bazinė stotis su pasyviaja DAS. Principinė tinklo schema vaizduojama 9 pav.



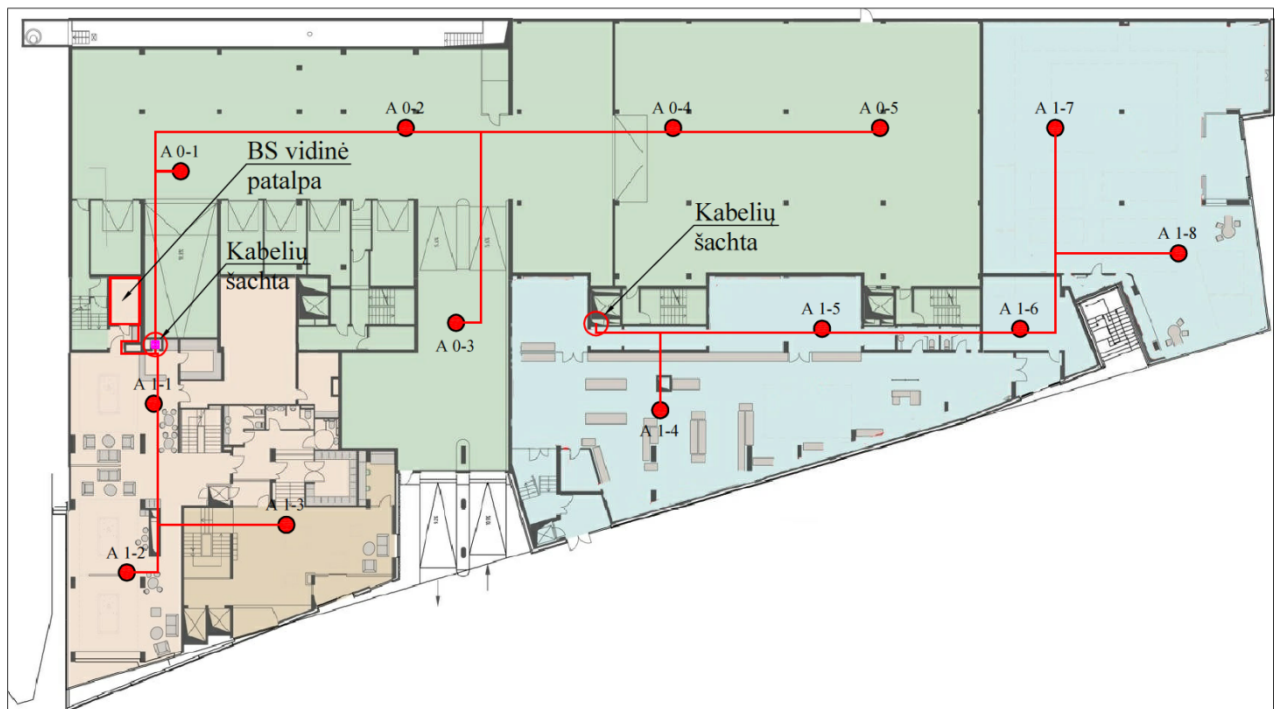
9 pav. LTE tinklo su pasyviaja DAS schema

Bazinės stoties sisteminė įranga talpinama pastato 1-ame aukšte esančioje patalpoje. Įrangos išdėstymas vaizduojamas 10 pav. Vidinės įrangos patalpoje įrengiamas 19 colių Rack tipo įrangos stovas, jame montuojamas LTE sisteminis modulis ir el. energijos paskirstymo modulis (PSU). Šalia Rack stovo ant žemės statomi akumuliatoriai (4 vnt.). Ant galinės įrangos patalpos sienos įrengiamas oro kondicionierius su reguliuojamu termostatu. Oro kondicionieriaus išorinis blokas montuojamas ant sienos, požeminėje automobilių stovėjimo aikštelėje.

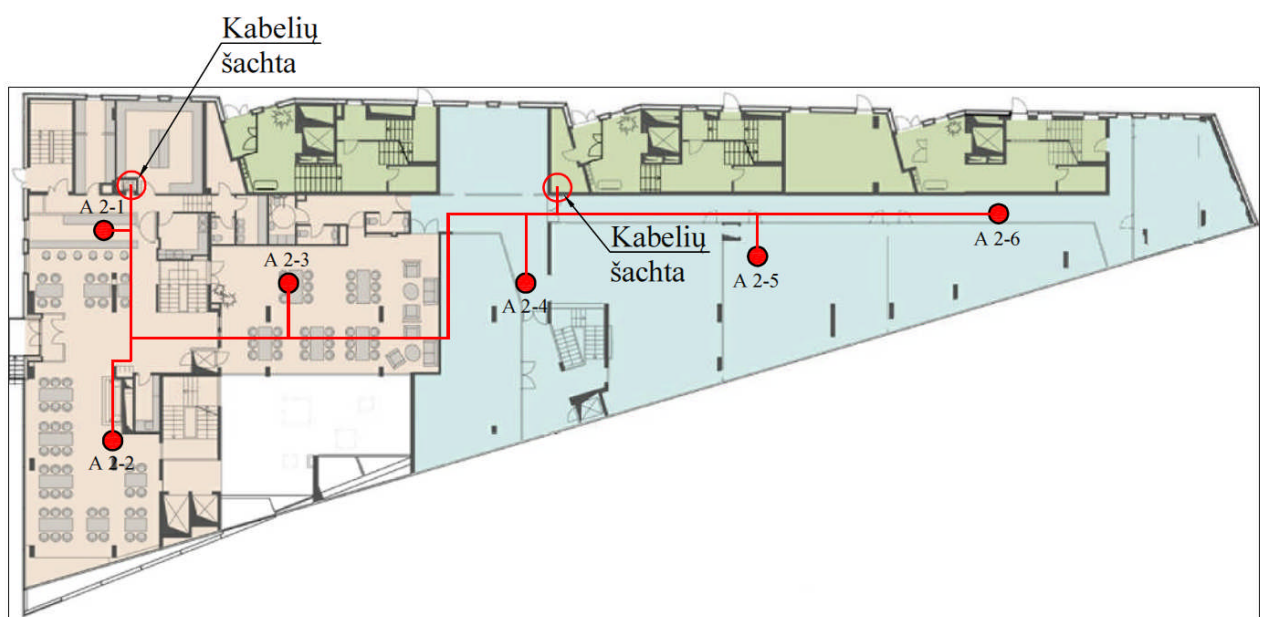


10 pav. Vidinės įrangos išdėstymas

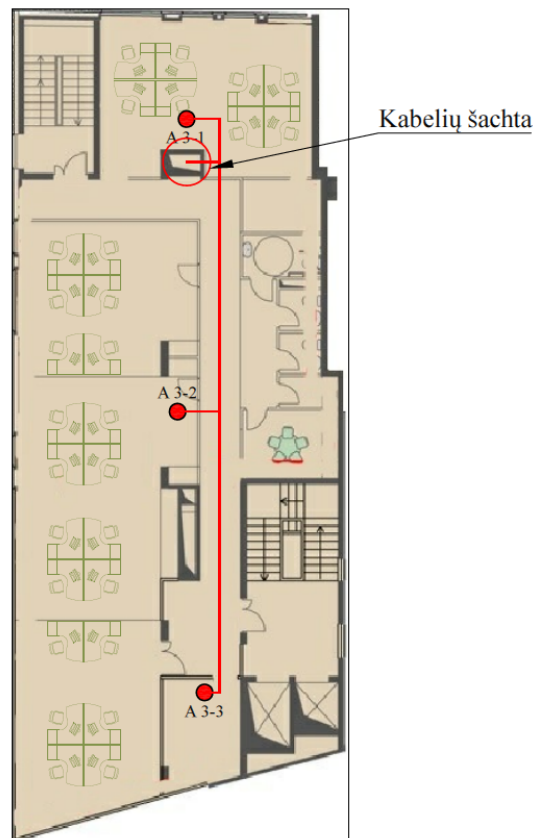
Iš techninės įrangos patalpos klojamas koaksialinis (angl. *coaxial*) kabelis antenoms. Kabelis klojamas kabeliniais takais iki šalia esančios silpnų srovių kabelinės šachtos. Šachtoje kabelis RF signalo daliklių bei šakotuvų pagalba paskirstomas bei praklojamas į kiekvieną verslo centro aukštą, iki kiekvienos pastate įrengiamos antenos. Kabelio prakojimo kelias bei antenų išdėstymas vaizduojami 11 – 14 pav. Plane žalsva spalva žymima atumobilių stovėjimo aikštelė, melsva spalva – komercinės paskirties patalpos, o rusva spalva – verslo centro patalpos. Pirmame aukšte esančios verslo centro ir komercinės paskirties patalpos neturi tiesioginio susisiekimo, todėl A 1-4 – A 1-8 antenoms kabelis atvedamas iš antro aukšto, per atskirą kabelinę šachtą. Nenutrūkstamo signalo vartotojui esant lifte užtikrinimui, 9-ame aukšte, lifto šachtų viršuje montuojamos dvi panelinės antenos. Detali antenų sujungimo schema su signalo galios dalikliais (angl. *splitter*), šakotuvais (angl. *tapper*) bei kabelių ilgiais ir tipais pateikiama 15 pav.



11 pav. Kabelio praklojimas, antenų išdėstymas (1-as aukštas)



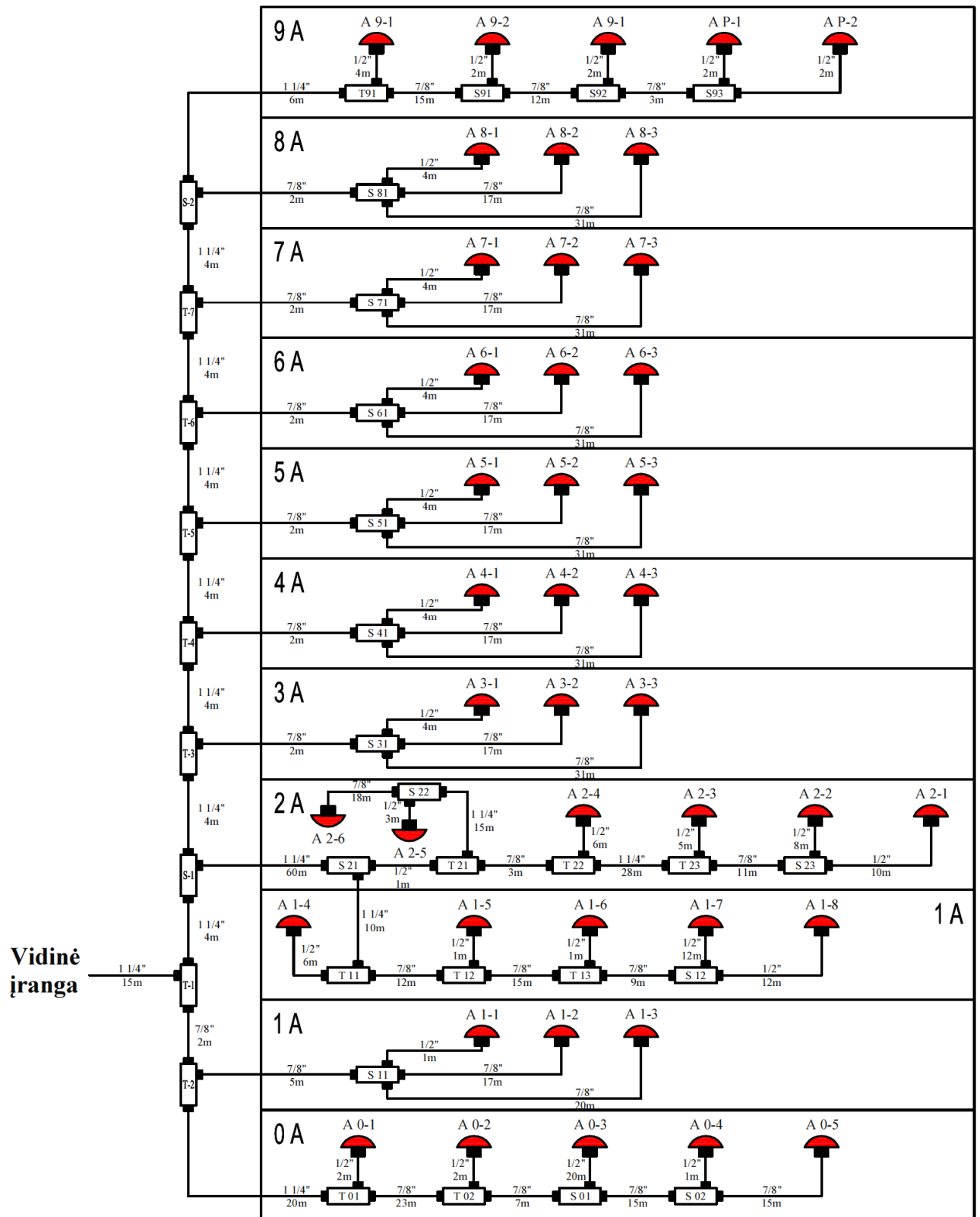
12 pav. Kabelio praklojimas, antenų išdėstymas (2-as aukštas)



13 pav. Kabelio praklojimas, antenų išdėstymas (3 - 7-as aukštai)



14 pav. Kabelio praklojimas, antenų išdėstymas (8 - 9-as aukštai)



15 pav. Antenų sujungimo schema

Čia A X-Y antenos (X žymimas aukšto numeris, Y – antenos numeris), S XY – RF signalo šakotuvai (X – aukšto numeris, Y – šakotuvo numeris), T XY – RF signalo dalikliai (X – aukšto numeris, Y – daliklio numeris).

2-oje lentelėje pateikiami antenų, signalo galios daliklių bei šakotuvų kiekis kiekvienam pastato aukštui bei tarpaukštiniam sujungimams.

2 lent. Antenų ir signalo daliklių/šakotuvų kiekis:

	Antenos	RF signalo dalikliai	RF signalo šakotuvai
1-as aukštas	8	3	2
2-as aukštas	6	3	3
3-ias aukštas	3	0	1
4-as aukštas	3	0	1
5-as aukštas	3	0	1
6-as aukštas	3	0	1
7-as aukštas	3	0	1
8-as aukštas	3	0	1
9-as aukštas	5	1	3
Aut. st. aikštelė	5	2	2
Tarpaukštiniam sujungimams	0	7	2
Viso	42	16	18

3.3. Judriojo ryšio tinklo įranga

3.3.1. Antenos

Projektuojamo tinklo signalo skleidimui verslo centro patalpose naudojamos „Kathrein“ 800 10249 *Omnidirectional* (visakryptės) antenos (16 pav.). Antenų specifikacija [28]:

- dažniai: 806 – 960 MHz, 1425 – 3600 MHz, 5150 – 6000 MHz;
- siųstuvo pridėtinė galia (angl. *gain*): 2 dBi;
- impedansas: 50Ω;
- poliarizacija: vertikali;
- maksimali įeinančioji galia: 50W;
- VSWR prie 1800 MHz: 1.8:1.



16 pav. „Kathrein“ 800 10249 antena [28]

Lifto šachtose montuojamos panelinės „Kathrein“ 800 10465 antenos (17 pav.). Antenų

specifikacija [29]:

- dažniai: 790 – 960 MHz, 1710 – 2700 MHz;
- siųstuvo pridėtinė galia (angl. *gain*): 7 dBi;
- impedansas: 50Ω;
- poliarizacija: vertikali;
- maksimali įeinančioji galia: 50W.



17 pav. „Kathrein“ 800 10465 antena [29]

3.3.2. Kabeliai, jungtys

Antenų prijungimui prie vidinės įrangos naudojami „Commscope“ gamintojo koaksialiniai kabeliai (18 pav.). Kabelių dydžiai ir charakteristikos pateikiami 3-oje lentelėje [30].

3 lent. „Commscope“ kabelių charakteristikos:

Kabelis	Kabelio dydis	Slopinimas (dB/100 m)	Bendras naudojamas ilgis (m)
LDF4-50A	1/2"	10,058	119
LDF5-50A	7/8"	5,751	518
LDF6-50A	1 1/4"	3,958	182



18 pav. „Commscope“ koaksialinis kabelis [30]

Jungčių kabelio prijungimui prie antenų, signalo daliklių bei šakotuvų ir RRU modulio kiekis ir tipai pateikiami 4-oje lentelėje.

4 lent. Jungčių kiekis ir tipai:

Jungties tipas	Kiekis (vnt.)
1/2" N M	26
7/8" N M	14
7/16 1/2" M	32
7/16 7/8" M	46
7/16 1 1/4" M	28

3.3.3. RF signalo šakotuvai, dalikliai, kombaineriai

Projektuojamoje DAS tolygiam signalo galios nuostolių paskirstymui nutolusioms antenoms naudojami komponentai:

- „Kathrein“ 782 10469 kombaineris (19 pav.). Techninės charakteristikos pateikiamos 5-oje lentelėje;
- „Kathrein“ 860 10136, 860 10137, 860 10138 ir 860 10023 RF signalo galios dalikliai. Techninės charakteristikos pateikiamos 6-oje lentelėje;
- „Kathrein“ 860 10101 ir 860 10103 RF signalo galio galios šakotuvai. Techninės charakteristikos pateikiamos 7-oje lentelėje.

5 lent. RF kombainerio techninės charakteristikos [31]:

	782 10469
Dažnių ruožas, MHz	PCS: 1850 - 1910 AWS: 1710 - 1755
Impedansas, Ω	50
VSWR	< 1,25:1
Įterpimo galios nuostolis, dB	<0,5
Maksimali įeinančioji galia, W	250



19 pav. „Kathrein“ 782 10469 RF kombaineris [31]

6 lent. RF signalo galios daliklių techninės charakteristikos [32], [33]:

	860 10136	860 10137	860 10138	860 10023
Dažnių ruožas, MHz	694 - 2700			870 - 960 1710 - 2500
Galios nuostoliai išėjime P_1 , dB	-1	-0,4	-0,1	-1,2
Galios nuostoliai išėjime P_2 , dB	-7	-10,4	-15,1	-6,2
VSWR	< 1,5			< 1,7
Įterpimo galios nuostolis, dB	< 0,05			< 0,1

7 lent. RF signalo galios šakotuvų techninės charakteristikos [34]:

	860 10101	860 10103
Dažnių ruožas, MHz	694 - 3800	
Galios nuostoliai išėjime P_1 , dB	-3	
Galios nuostoliai išėjime P_2 , dB	-3	
VSWR	< 1,15	
Įterpimo galios nuostolis, dB	< 0,05	
Prijungiamų antenų skaičius	2	3

3.3.4. Bazinės stoties sisteminis modulis

LTE tinklo bazinės stoties sisteminiu modulių pasirinktas „Ericsson“ RBS 6601 modulis (20 pav.). Tai nedidelis, tačiau efektyvus bazinės stoties pagrindinis blokas, puikiai tinkantis aukštiems tinklo resursų reikalavimams pastatų viduje įrengiamoms bazinėms stotims užtikrinti. Priklausomai nuo skaitmeninio bloko tipo, gali būti naudojamas GSM, WCDMA bei LTE technologijoms. RBS 6601 sisteminio modulio pagrindinės techninės charakteristikos [35]:

- aukščiausias moduliacijos lygis 64QAM;
- LTE SAE palaikymas;
- *all IP* architektūra;
- talpa – iki 1000 vartotojų;
- maksimali duomenų sparta – iki 300 Mbps žemynkrypčiui ir 100 Mbps aukštynkrypčiui perdavimui;
- montuojamas į 19 colių Rack stovą, dydis – 1,5 U.



20 pav. „Ericsson“ RBS 6601 sisteminis modulis [35]

3.3.5. RRU modulis

Naudojamas „Ericsson“ gamintojo RRUS 11 nuotolinis radijo blokas (21 pav.). Palaikomi dažnių ruožai: 699 MHz – 2690 MHz. Maksimali galia – 2 x 40 W, maksimalus kanalų skaičius – 4, kanalo juostos plotis – iki 20 MHz. Gali būti montuojamas vidaus ir lauko sąlygomis [36].



21 pav. „Ericsson“ RRUS 11 [36]

3.3.6. PSU blokas

Naudojamas „Eltek“ gamintojo Flatpack2 (-48V/150A) energijos paskirstymo blokas (22 pav.). Techninės charakteristikos [37]:

- saugiklių signalizacija;
- žemos įtampos atjungimo kontaktoriaus galimybės;
- horizontalios apkrovos jungtys, vertikalios korpuso jungtys akumulatoriam;
- išeinančioji galia – 8 kW;
- maksimalus išeinančios srovės stipris – 168 A;
- 4 AC/DC keitikliai.



22 pav. „Eltek“ Flatpack PSU [37]

3.3.7. Akumulatoriai

Nutrūkus pagrindiniam energijos tiekimui, palaikyti tinklo veikimą reikalingi akumulatoriai. Tam parinkti „NorthStar“ gamintojo akumulatoriai NSB 100FT (23 pav.). Pasižymi aukštu ciklo pajėgumu, dideliu energijos tankiu, greitai pakraunami, ilgai tarnaujantys – 12 metų.

Techninės charakteristikos [38]:

- operatyvinė temperatūra – nuo -40°C iki $+65^{\circ}\text{C}$;
- 10 h talpa 1,8 V/celei – 100 Ah;
- įtampos svyravimai – $2,29 \pm 0,02\text{ V}$;
- nominali įtampa – 12 V;
- impedansas (1 kHz) – $3,4\text{ m}\Omega$;
- laidumas 1452 S;
- trumpos grandinės srovės stipris – 3500 A.



23 pav. „NorthStar“ NSB 100FT akumuliatorius [38]

3.3.8. Kondicionierius

Efektyvios temperatūros palaikymui įrangos patalpoje naudojamas „Daikin“ FTXS35L 3,5 kW oro kondicionierius (24 pav.). Kondicionieriaus vėsinimo talpa - 1,4 – 4.0 kW; šildymo talpa - 1,4 – 5,2 kW [39].



24 pav. „Daikin“ FTXS35L oro kondicionierius [39]

3.4. Tinklo energetinio biudžeto skaičiavimai

Tinklo kokybinių parametrų įvertinimui reikia apskaičiuoti signalo galios nuostolius, susidarancius signalui sklindant iš bazinės stoties siųstuvo (RRU) į kiekvieną anteną. Apskaičiuojami EIRP, bei tinklo skleidžiamo signalo lygis aukštynkrypčiai ir žemynkrypčiai duomenų perdavimui tinklo aprėpties zonoje esančiame vartotojo įrenginyje.

3.4.1. Fiderio slopinimas

Apskaičiuojamas signalo galios nuostolis signalui sklindant kabeliu nuo siųstuvo iki kiekvienos antenos. Skaičiavimai pateikiami 8-oje lentelėje.

8 lent. Fiderio slopinimai kiekvienai antenai:

		1/2"	7/8"	1-1/4"						
Kabelio slopinimas, dB/1 m		0,1	0,057	0,039						
Antena	Bendras kabelio ilgis antenai, m			L _c , dB	Antena	Bendras kabelio ilgis antenai			L _c , dB	
	1/2"	7/8"	1-1/4"			1/2"	7/8"	1-1/4"		
A 0-1	2	2	35	1,679	A 3-3	0	33	23	2,778	
A 0-2	2	25	35	2,99	A 4-1	4	2	27	1,567	
A 0-3	20	32	35	5,189	A 4-2	0	19	27	2,136	
A 0-4	1	47	35	4,144	A 4-3	0	33	27	2,934	
A 0-5	0	62	35	4,899	A 5-1	4	2	31	1,723	
A 1-1	1	7	15	1,084	A 5-2	0	19	31	2,292	
A 1-2	0	24	15	1,953	A 5-3	0	33	31	3,09	
A 1-3	0	27	15	2,124	A 6-1	4	2	35	1,879	
A 1-4	6	0	89	4,071	A 6-2	0	19	35	2,448	
A 1-5	1	12	89	4,255	A 6-3	0	33	35	3,246	
A 1-6	1	27	89	5,11	A 7-1	4	2	39	2,035	
A 1-7	12	36	89	6,723	A 7-2	0	19	39	2,604	
A 1-8	12	36	89	6,723	A 7-3	0	33	39	3,402	
A 2-1	11	14	107	6,071	A 8-1	4	2	43	2,191	
A 2-2	9	14	107	5,871	A 8-2	0	19	43	2,76	
A 2-3	6	3	107	4,944	A 8-3	0	33	43	3,558	
A 2-4	7	3	79	3,952	A 9-1	4	0	49	2,311	
A 2-5	4	0	94	4,066	A 9-2	2	15	49	2,966	
A 2-6	0	18	94	4,692	A 9-3	2	27	49	3,65	
A 3-1	4	2	23	1,411	A P-1	2	30	49	3,821	
A 3-2	0	19	23	1,98	A P-2	2	30	49	3,821	

3.4.2. RF signalo galios paskirstymas

Naudojami pasyvieji tinklo elementai (signalo dalikliai bei šakotuvai) sužymėti antenų sujungimo schemoje (15 pav.). Signalo dalikliai paskirsto įeinančiojo signalo galią dviem išėjimams, vienam išėjime pridėdami minimalius signalo galios nuostolius, kitame – maksimalius. Signalo galios šakotuvai padalina signalą į dvi arba tris kryptis, pridėdami vienodą signalo galios nuostolį visiems išėjimams. 9-oje lentelėje pateikiami kiekvieno šakotuvo bei daliklio signalo

paskirstymo koeficientai.

9 lent. Signalų galios nuostoliai RF daliklių/šakotuvų išėjimuose:

	P1, dB	P2, dB	P3, dB	ID
RF power tapper	-1,2	-6,2		T-7
	-1	-7		T-1, T-2, T12, T13, T21, T22, T23, T-5, T-6, T91
	-0,4	-10,4		T01, T02, T11, T-3, T-4
RF splitter	-3	-3		S01, S02, S-1, S21, S12, S22, S23, S-2, S91, S92, S93
	-5	-5	-5	S11, S31, S41, S51, S61, S71, S81

Apskaičiuojami signalo galios nuostoliai kiekvienai antenai, priklausomai nuo signalo kelyje esančių daliklių/šakotuvų bei signalo nuostolių jų išėjimuose:

$$L_P(A\ 0-1) = T-1_{P2} + T-2_{P1} + T01_{P2} - 3 * 0.05 = -7 + (-1) + (-10.4) - 0.15 = \mathbf{-18.55\ dB};$$

$$L_P(A\ 0-2) = T-1_{P2} + T-2_{P1} + T01_{P1} + T02_{P2} - 4 * 0.05 = -7 + (-1) + (-0.4) + (-7) - 0.2 = \mathbf{-15.6\ dB};$$

$$L_P(A\ 0-3) = T-1_{P2} + T-2_{P1} + T01_{P1} + T02_{P1} + S01_{P2} - 5 * 0.05 = -7 + (-1) + (-0.4) + (-1) + (-3) - 0.25 = \mathbf{-12.65\ dB};$$

$$L_P(A\ 0-4) = T-1_{P2} + T-2_{P1} + T01_{P1} + T02_{P1} + S01_{P1} + S02_{P2} - 6 * 0.05 = -7 + (-1) + (-0.4) + (-1) + (-3) + (-3) - 0.3 = \mathbf{-15.7\ dB};$$

$$L_P(A\ 0-5) = T-1_{P2} + T-2_{P1} + T01_{P1} + T02_{P1} + S01_{P1} + S02_{P1} - 6 * 0.05 = -7 + (-1) + (-0.4) + (-1) + (-3) + (-3) - 0.3 = \mathbf{-15.7\ dB};$$

$$L_P(A\ 1-1) = T-1_{P2} + T-2_{P2} + S11_{P1} - 3 * 0.05 = -7 + (-7) + (-5) - 0.15 = \mathbf{-19.15\ dB};$$

$$L_P(A\ 1-2) = T-1_{P2} + T-2_{P2} + S11_{P2} - 3 * 0.05 = -7 + (-7) + (-5) - 0.15 = \mathbf{-19.15\ dB};$$

$$L_P(A\ 1-3) = T-1_{P2} + T-2_{P2} + S11_{P3} - 3 * 0.05 = -7 + (-7) + (-5) - 0.15 = \mathbf{-19.15\ dB};$$

$$L_P(A\ 1-4) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P2} + T11_{P2} - 4 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-10.4) - 0.2 = \mathbf{-17.6\ dB};$$

$$L_P(A\ 1-5) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P2} + T11_{P1} + T12_{P2} - 5 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-0.4) + (-7) - 0.25 = \mathbf{-14.65\ dB};$$

$$L_P(A\ 1-6) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P2} + T11_{P1} + T12_{P1} + T13_{P2} - 6 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-0.4) + (-1) + (-7) - 0.3 = \mathbf{-15.7\ dB};$$

$$L_P(A\ 1-7) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P2} + T11_{P1} + T12_{P1} + T13_{P1} + S12_{P2} - 7 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-3) - 0.35 = \mathbf{-12.75\ dB};$$

$$L_P(A\ 1-8) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P2} + T11_{P1} + T12_{P1} + T13_{P1} + S12_{P1} - 7 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-3) - 0.35 = \mathbf{-12.75\ dB};$$

$$L_P(A\ 2-1) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P1} + T21_{P1} + T22_{P1} + T23_{P1} + S23_{P1} - 7 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-1) + (-1) + (-1) + (-3) - 0.35 = \mathbf{-13.35\ dB};$$

$$L_P(A\ 2-2) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P1} + T21_{P1} + T22_{P1} + T23_{P1} + S23_{P1} - 7 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-1) + (-1) + (-1) + (-3) - 0.35 = \mathbf{-13.35\ dB};$$

$$L_P(A\ 2-3) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P1} + T21_{P1} + T22_{P1} + T23_{P2} - 6 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-1) + (-1) + (-7) - 0.3 = \mathbf{-16.3\ dB};$$

$$L_P(A\ 2-4) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P1} + T21_{P1} + T22_{P2} - 5 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-1) + (-7) - 0.25 = \mathbf{-15.25\ dB};$$

$$L_P(A\ 2-5) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P1} + T21_{P2} + S22_{P2} - 5 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-7) + (-3) - 0.25 = \mathbf{-17.25\ dB};$$

$$L_P(A\ 2-6) = T-1_{P1} + S-1_{P2} + S21_{P1} + T21_{P2} + S22_{P1} - 5 * 0.05 = -1 + (-3) + (-3) + (-7) + (-3) - 0.25 = \mathbf{-17.25\ dB};$$

$$L_P(A\ 3-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P2} + S31_{P1} - 4 * 0.05 = -1 + (-3) + (-10.4) + (-5) - 0.2 = \mathbf{-19.6\ dB};$$

$$L_P(A\ 3-2) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P2} + S31_{P2} - 4 * 0.05 = -1 + (-3) + (-10.4) + (-5) - 0.2 = \mathbf{-19.6\ dB};$$

$$L_P(A\ 3-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P2} + S31_{P3} - 4 * 0.05 = -1 + (-3) + (-10.4) + (-5) - 0.2 = \mathbf{-19.6\ dB};$$

$$L_P(A\ 4-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P2} + S41_{P1} - 5 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-10.4) + (-5) - 0.25 = \mathbf{-20.05\ dB};$$

$$L_P(A\ 4-2) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P2} + S41_{P2} - 5 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-10.4) + (-5) - 0.25 = \mathbf{-20.05\ dB};$$

$$L_P(A\ 4-3) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P2} + S41_{P3} - 5 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-10.4) + (-5) - 0.25 = \mathbf{-20.05\ dB};$$

$$L_P(A\ 5-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P2} + S51_{P1} - 6 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-7) + (-5) - 0.3 = \mathbf{-17.1\ dB};$$

$$L_P(A\ 5-2) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P2} + S51_{P2} - 6 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-7) + (-5) - 0.3 = \mathbf{-17.1\ dB};$$

$$L_P(A\ 5-3) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P2} + S51_{P3} - 6 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-7) + (-5) - 0.3 = \mathbf{-17.1\ dB};$$

$$L_P(A\ 6-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P2} + S61_{P1} - 7 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-7) + (-5) - 0.35 = \mathbf{-18.15\ dB};$$

$$L_P(A\ 6-2) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P2} + S61_{P2} - 7 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-7) + (-5) - 0.35 = \mathbf{-18.15\ dB};$$

$$L_P(A\ 6-3) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P2} + S61_{P3} - 7 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) +$$

$$(-0.4) + (-1) + (-7) + (-5) - 0.35 = \mathbf{-18.15 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 7-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P2} + S71_{P1} - 8 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-6.2) + (-5) - 0.4 = \mathbf{-18.4 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 7-2) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P2} + S71_{P2} - 8 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-6.2) + (-5) - 0.4 = \mathbf{-18.4 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 7-3) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P2} + S71_{P3} - 8 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-6.2) + (-5) - 0.4 = \mathbf{-18.4 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 8-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P1} + S-2_{P2} + S81_{P1} - 9 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-1.2) + (-3) + (-5) - 0.45 = \mathbf{-16.45 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 8-2) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P1} + S-2_{P2} + S81_{P2} - 9 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-1.2) + (-3) + (-5) - 0.45 = \mathbf{-16.45 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 8-3) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P1} + S-2_{P2} + S81_{P3} - 9 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-1.2) + (-3) + (-5) - 0.45 = \mathbf{-16.45 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 9-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P1} + S-2_{P1} + T91_{P2} - 9 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-1.2) + (-3) + (-7) - 0.45 = \mathbf{-18.45 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 9-2) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P1} + S-2_{P1} + T91_{P1} + S91_{P2} - 10 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-1.2) + (-3) + (-1) + (-3) - 0.5 = \mathbf{-17.5 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ 9-3) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P1} + S-2_{P1} + T91_{P1} + S91_{P1} + S92_{P2} - 11 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-1.2) + (-3) + (-1) + (-3) + (-3) - 0.55 = \mathbf{-20.55 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ P-1) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P1} + S-2_{P1} + T91_{P1} + S91_{P1} + S92_{P1} + S93_{P2} - 12 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-1.2) + (-3) + (-1) + (-3) + (-3) + (-3) - 0.6 = \mathbf{-23.6 \text{ dB}};$$

$$L_P(A \ P-2) = T-1_{P1} + S-1_{P1} + T-3_{P1} + T-4_{P1} + T-5_{P1} + T-6_{P1} + T-7_{P1} + S-2_{P1} + T91_{P1} + S91_{P1} + S92_{P1} + S93_{P2} - 12 * 0.05 = -1 + (-3) + (-0.4) + (-0.4) + (-1) + (-1) + (-1.2) + (-3) + (-1) + (-3) + (-3) + (-3) - 0.6 = \mathbf{-23.6 \text{ dB}};$$

3.4.3. EIRP skaičiavimas

Apskaičiuojama efektyvi izotropinės spinduliuotės galia kiekvienoje antenoje. Įvertinamas fiderio slopinimas, į sistemą įjungtų RF signalo galios daliklių ir šakotuvų savasis slopinimas bei galios paskirstymas tarp jų. Skaičiavimai atliekami pagal 3.1 formulę:

$$EIRP = P_T - L_C + L_p + G_A; \quad (3.1)$$

čia P_T – siųstuvo galia, dBm ; L_C – kabelio slopinimas, dB ; G_A – antenos pridėtinė galia, dB .

10 lent. EIRP kiekvienos antenos siųstuve:

Antena	L_C , dB	L_p , dB	EIRP, dBm	Antena	L_C , dB	L_p , dB	EIRP, dBm
A 0-1	1,679	-18,55	16,77	A 3-3	2,778	-19,6	14,62
A 0-2	2,99	-15,6	18,41	A 4-1	1,567	-20,05	15,38
A 0-3	5,189	-12,65	19,16	A 4-2	2,136	-20,05	14,81
A 0-4	4,144	-15,7	17,16	A 4-3	2,934	-20,05	14,02
A 0-5	4,899	-15,7	16,40	A 5-1	1,723	-17,1	18,18
A 1-1	1,084	-19,15	16,77	A 5-2	2,292	-17,1	17,61
A 1-2	1,953	-19,15	15,90	A 5-3	3,09	-17,1	16,81
A 1-3	2,124	-19,15	15,73	A 6-1	1,879	-18,15	16,97
A 1-4	4,071	-17,6	15,33	A 6-2	2,448	-18,15	16,40
A 1-5	4,255	-14,65	18,10	A 6-3	3,246	-18,15	15,60
A 1-6	5,11	-15,7	16,19	A 7-1	2,035	-18,4	16,57
A 1-7	6,723	-12,75	17,53	A 7-2	2,604	-18,4	16,00
A 1-8	6,723	-12,75	17,53	A 7-3	3,402	-18,4	15,20
A 2-1	6,071	-13,35	17,58	A 8-1	2,191	-16,45	18,36
A 2-2	5,871	-13,35	17,78	A 8-2	2,76	-16,45	17,79
A 2-3	4,944	-16,3	15,76	A 8-3	3,558	-16,45	16,99
A 2-4	3,952	-15,25	17,80	A 9-1	2,311	-18,45	16,24
A 2-5	4,066	-17,25	15,68	A 9-2	2,966	-17,5	16,53
A 2-6	4,692	-17,25	15,06	A 9-3	3,65	-20,55	12,80
A 3-1	1,411	-19,6	15,99	A P-1	3,821	-23,6	14,58
A 3-2	1,98	-19,6	15,42	A P-2	3,821	-23,6	14,58

Įvertinus radijo ryšio perdavimo linijomis sklindančio signalo nuostolius nustatyta, kad nuostoliai neviršys ribos, ties kuria antenas antenas pasiekęs signalas galės būti efektyviai skleidžiamas vartotojui. Minimali tinkle veikiančios antenos EIRP – 12,8 dBm, maksimali – 19,16 dBm.

3.4.4. Signalo sklidimo kelio nuostoliai

Signalų sklidimo kelio nuostoliai apskaičiuojami naudojant ITU radijo bangų sklidimo pastatų viduje modelį (3.2 formulė). Kadangi antenos įrengiamos kiekviename pastato aukšte, skaičiavimai atliekami neatsižvelgiant į skverbties tarp aukštų nuostolio koeficientą ($P_f(n)$).

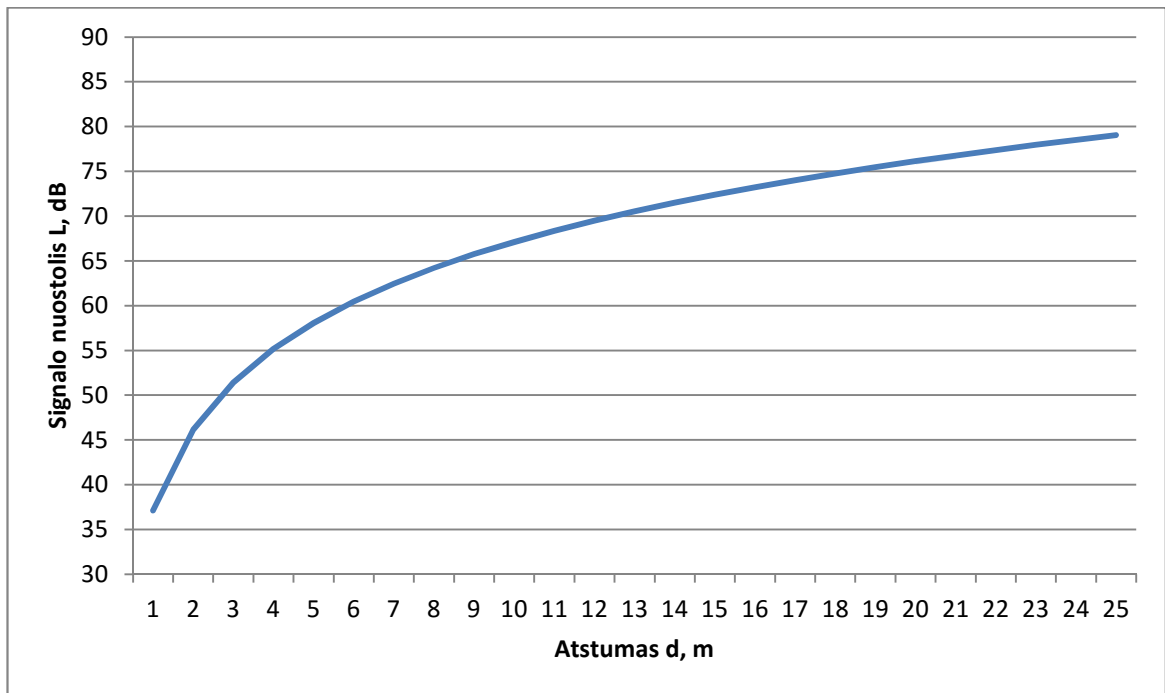
$$L = 20 \log f + N \log d + P_f(n) - 28; \quad (3.2)$$

čia:

- L – sklidimo kelio nuostolis (dB);
- f – perduodamos bangos dažnis (1800 MHz);

- d – atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo (m);
- N – kelio nuostolio koeficientas (biuro patalpoms – 30 [26]).

Rezultatai pateikiami 25-ame pav.



25 pav. Signalas slopimo priklausomybės nuo atstumo grafikas

3.4.5. Tinklo aprėptis

Tinklo aprėpties skaičiavimai atliekami visoms tinkle veikiančioms antenoms. Pirmiausiai apskaičiuojami maksimalūs leistini signalo sklidimo kelio nuostoliai (3.3 formulė) kiekvienai antenai [27].

$$MAPL = EIRP - RxMin; \quad (3.3)$$

čia $MAPL$ – maksimalus leistinas signalo sklidimo kelio nuostolis (dB); $EIRP$ – antenos efektyvi izotropinės spinduliuotės galia (dBm); $RxMin$ – minimalus imtuvo priimamo signalo lygis (dBm), šiuo atveju -75 dBm.

Apskaičiuojama kiekvienos antenos aprėptis (3.4 formulė).

$$R = 10^{\frac{(MAPL - L(1m))}{N}}; \quad (3.3)$$

čia R – antenos aprėptis (m); $L(1 m)$ – signalo sklidimo kelio (1 m) nuostolis; N – kelio nuostolio koeficientas.

Rezultatai pateikiami 11-oje lentelėje.

11 lent. EIRP kiekvienos antenos siūstuve:

Antena	EIRP	MAPL	r, m	Antena	EIRP	MAPL	r, m
A 0-1	16,77	91,77	40,53163	A 3-3	14,62	89,62	35,03957
A 0-2	18,41	93,41	45,29283	A 4-1	15,38	90,38	36,89026
A 0-3	19,16	94,16	47,65278	A 4-2	14,81	89,81	35,49336
A 0-4	17,16	92,16	41,61642	A 4-3	14,02	89,02	33,64432
A 0-5	16,4	91,4	39,52863	A 5-1	18,18	93,18	44,5928
A 1-1	16,77	91,77	40,53163	A 5-2	17,61	92,61	42,90422
A 1-2	15,9	90,9	38,21254	A 5-3	16,81	91,81	40,64158
A 1-3	15,73	90,73	37,77512	A 6-1	16,97	91,97	41,08435
A 1-4	15,33	90,33	36,76556	A 6-2	16,4	91,4	39,52863
A 1-5	18,1	93,1	44,35185	A 6-3	15,6	90,6	37,44401
A 1-6	16,19	91,19	38,97044	A 7-1	16,57	91,57	39,98635
A 1-7	17,53	92,53	42,6724	A 7-2	16	91	38,4722
A 1-8	17,53	92,53	42,6724	A 7-3	15,2	90,2	36,4433
A 2-1	17,58	92,58	42,81714	A 8-1	18,36	93,36	45,13972
A 2-2	17,78	92,78	43,40103	A 8-2	17,79	92,79	43,43043
A 2-3	15,76	90,76	37,85195	A 8-3	16,99	91,99	41,14004
A 2-4	17,8	92,8	43,45985	A 9-1	16,24	91,24	39,10262
A 2-5	15,68	90,68	37,64743	A 9-2	16,53	91,53	39,87818
A 2-6	15,06	90,06	36,0994	A 9-3	12,8	87,8	30,97629
A 3-1	15,99	90,99	38,44616	A P-1	14,58	89,58	34,94478
A 3-2	15,42	90,42	36,99033	A P-2	14,58	89,58	34,94478

Iš gautų rezultatų matosi, kad silpniausią galią spinduliuojančios antenos aprėptis ~31 m, kas yra daugiau nei pakankamai, kad tinklas būtų pasiekiamas bet kuriame pastato taške. Skaičiavimai atlikti taikant minimalius reikalavimus vartotojo imtuvo priimamam signalo lygiui – stipresnio antenos skleidžiamo signalo aprėptis bus kur kas mažesnė.

3.5. Ekonominiai skaičiavimai

Įvertinus parinktą judriojo ryšio (LTE) tinklo įrangą, atlikta preliminarioji ekonominė analizė, leidžianti nusakyti projekto relizavimo kaštus. Parinktų parametrų bazinės įrangos komplekso sudedamųjų dalių kainos pateiktos 11 lent.

12 lent. Judriojo ryšio tinklo įrangos komplekso kaina:

Įranga	Kiekis, vnt.	Kaina be PVM, Eur/vnt.	PVM (21%), Eur	Suma, Eur
Bazinės stoties sisteminis modulis	1	1679	352,59	2031,59
Nuotolinio valdymo radijo modulis	1	739	155,19	894,19
Rack 19 įrangos stovas	1	550	115,5	665,5

RF signalo galios dalikliai	16	39	8,19	755,04
RF signalo galios šakotuvai	18	44	9,24	958,32
RF signalo kombaineris	1	67	14,07	81,07
Antenos	42	70	14,7	3557,4
Koaksialinis kabelis LDF4-50A, 100 m	2	360	75,6	871,2
Koaksialinis kabelis LDF5-50A, 100 m	6	770	161,7	5590,2
Koaksialinis kabelis LDF6-50A, 100 m	2	1350	283,5	3267
Jungtys 1/2" N M	26	18	3,78	566,28
Jungtys 7/8" N M	14	21	4,41	355,74
Jungtys 7/16 1/2" M	32	24	5,04	929,28
Jungtys 7/16 7/8" M	46	27	5,67	1502,82
Jungtys 7/16 1 1/4" M	28	29	6,09	982,52
PSU blokas	1	6500	1365	7865
Bazinės stoties akumulatoriai	4	450	94,5	2178
Kondicionierius	1	3200	672	3872
Kiti smulkūs kabeliai	1	80	16,8	96,8
Montavimo detalių komplektas	7	60	12,6	508,2
	Viso	16077	3376,17	37528,15

Judriojo ryšio tinklo išlaikymo kaštai pateikti 13 lent. Išlaidos darbuotojų atlyginimams pateiktos įskaičiuojant mokesčius, sumokamus į valstybės biudžetą.

13 lent. Judriojo ryšio tinklo išlaikymo kaštai:

	Mėnesinės išlaidos, Eur	Metinės išlaidos, Eur
Meistras/ Techninis darbuotojas (2 darbuotojai)	2100	25200
Srauto nuoma	70	840
BS patalpos nuoma	115	1380
Elektra	90	1080
Klientų aptarnavimo tinklalapio administravimas (1 darbuotojas)	1100	13200
Techninis įrangos aptarnavimas /remontas		3000
Viso	3475	44700

Planuojama, kad pradinis tinklo nuolatinių vartotojų (abonentų) skaičius sieks 600 vartotojų. Kiekvienais metais abonentų skaičius augs, penktaisiais tinklo veikimo metais pasiekdamas 750 nuolatinių vartotojų. Abonentų mokamas mėnesinis paslaugos mokestis – 9,90 Eur. Planuojamos pajamos iš tinklo vartotojų pateikiamos 14 lent.

14 lent. Pajamos:

Paslauga	Vartotojų skaičius	Kaina, Eur/mėn	Mėnesinės pajamos, Eur	Metinės pajamos, Eur
Abonementinis mokestis, 2016 m	600	9,9	5940	71280
Abonementinis mokestis, 2017 m	650	9,9	6435	77220
Abonementinis mokestis, 2018 m	670	9,9	6633	79596
Abonementinis mokestis, 2019 m	720	9,9	7128	85536
Abonementinis mokestis, 2020 m	750	9,9	7425	89100

Įvertinus judriojo ryšio tinklo įrengimo ir išlaikymo išlaidas bei iš vartotojų gaunamas pajamas, apskaičiuotas metinis pelnas penkių metų laikotarpiui (15 lent.).

15 lent. Judriojo ryšio tinklo pelningumas (2016 – 2020 m):

Pelnas	2016	2017	2018	2019	2020
Pajamos	71280	77220	79596	85536	89100
Išlaidos	86914	47910	47910	47910	47910
Veiklos pelnas	-15634	29310	31686	37626	41190
Pelno mokestis 15%		4397	4753	5644	6179
Grynasis pelnas/nuostolis	-15634	24914	26933	31982	35012
Balansas	-15634	9279	36212	68194	103206

Apskaičiuotas suminis metinių pajamų, išlaidų bei pelno dydis penkių metų laikotarpiui pateiktas 16 lent.

16 lent. Pelnas (2016 – 2020 m):

Metai	Bendros išlaidos, Eur	Bendros pajamos, Eur	Bendras pelnas, Eur
2016	86914	71280	-15634
2017	134824	148500	9279
2018	182734	228096	36212
2019	230644	313632	68194
2020	278554	402732	103206

Iš gautų rezultatų matoma, kad judriojo ryšio tinklas pelną atneš jau antraisiais veikimo metais.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Judriojo ryšio tinklo planavimas pastatų viduje – ilgas ir sudėtingas procesas, reikalaujantis ne tik gero įgyvendinimo, bet ir sistemingo pasiruošimo tinklo diegimo darbams.
2. Judriojo ryšio sustiprino pastatų viduje būdų yra nemažai, tačiau jie dažniausiai tinka tik konkrečiam atvejui – įvertinus pastato struktūrą ir vidaus charakteristikas, vartotojų poreikius bei tinklo išplėtimo galimybes, pasirinkimas lieka labai ribotas.
3. Išanalizavus judriojo ryšio stiprinimo pastatų viduje realizavimo variantus, pasirinktas bazinės stoties su pasyviaja DAS įrengimas. Lyginant su kitais sprendimais, šis turi daugiausiai privalumų: beveik nepriklausomas nuo gretimų bazinių stočių ar trečiųjų šalių teikiamų paslaugų, lengva technologijų migracija, nesudėtingas tinklo parametrų keitimas, tinklo talpos valdymo galimybė, ilgaamžiškumas.
4. Projektuojamas LTE judriojo ryšio tinklas užtikrins nepertraukiamas HTTP, VoLTE, IPTV, SMS ir duomenų perdavimo paslaugas 440 vartotojų vienu metu. Maksimalios tinklo vartotojų sukuriamos apkrovos: ~2 Gbps žemynkrypčiui perdavimui ir ~1,61 Gbps aukštynkrypčiui perdavimui.
5. Įvertinus radijo ryšio perdavimo linijomis sklindančio signalo nuostolius nustatyta, kad nuostoliai neviršys ribos, ties kuria antenas antenas pasiekęs signalas galės būti efektyviai skleidžiamas vartotojui. Minimali tinkle veikiančios antenos EIRP – 12,8 dBm, maksimali – 19,16 dBm.
6. Apskaičiuota kiekvienos tinkle veikiančios antenos minimalaus signalo (-75 dBm) aprėptis. Nustatyta, kad silpniausią signalą skleidžiančios antenos aprėptis yra ~31 m, tai yra daugiau nei pakankamai tinklo pasiekiamumui vartotojui esant bet kuriame pastato taške.
7. Atlikus ekonominius bazinės stoties įrengimo ir išlaikymo kaštų bei gaunamų pajamų iš judriojo ryšio tinklo vartotojų įvertinimą nustatyta, kad judriojo ryšio tinklas pelną nešti pradės 2017 metais.

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Indoor Radio Propagation. Žiūrėta 2015-03-17. Prieiga per internetą: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-51997-22830/unrestricted/Ch7.pdf>
2. „Mobile data move indoors“. Žiūrėta 2015-03-19. Prieiga per internetą: <http://www.senzafiliconsulting.com/Blog/tabid/64/articleType/ArticleView/articleId/59/Mobile-data-move-indoors.aspx>
3. Tom Snyder, John Catlin: „Indoor wireless networks: issues and answers“. Žiūrėta 2015-03-19. Prieiga per internetą: <http://rfdesign.com/images/archive/0402Snyder42.pdf>
4. K. Ikamas: „Kas nutylima skelbiant mobiliojo ryšio žemelapius?“. Žiūrėta 2015-04-13. Prieiga per internetą: <http://www.delfi.lt/mokslas/archive/kas-nutylima-skelbiant-mobiliojo-ryσιο-zemelapius.d?id=61292283>
5. „LTE Basic Parameters“. Žiūrėta 2015-04-13. Prieiga per internetą: http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_basic_parameters.htm
6. Mobiliojo ryšio reglamentavimas. Žiūrėta 2015-04-13. Prieiga per internetą: http://www.bazinestotis.lt/lt/mob_reglamentavimas
7. Ateities trio. Žiūrėta 2015-04-16. Prieiga per internetą: <http://www.ateitiestrio.lt/>
9. T. Isotalo: „Indoor Planning in Broadband Cellular Radio Networks“. Žiūrėta 2015-04-16. Prieiga per internetą: <http://dSPACE.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21321/isotalo.pdf>
10. Wikipedia – Femtocell. Žiūrėta 2015-04-16. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell>
11. D. K. Houngninou: „Femtocell: Indoor Cellular Communication Redefined“. Žiūrėta 2015-04-16. Prieiga per internetą: <http://www.cse.wustl.edu/~davidh/Pages/femtocell.html>
12. Wikipedija - Picocell. Žiūrėta 2015-04-25. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Picocell>
13. D. Chambers: „Whats the difference between picocells and femtocells?“. Žiūrėta 2015-04-25. Prieiga per internetą: <http://www.thinksmallcell.com/FAQs/whats-the-difference-between-picocells-and-femtocells.html>
14. Picocell. Žiūrėta 2015-04-25. Prieiga per internetą: <http://gsmvolna.com.ua/item/picocell-900-1800-sxb>
15. T. Ford: „Installing DAS & Small Cells – What You Need To Know“. Žiūrėta 2015-05-09.

- Prieiga per internetą: <http://www.thedasforum.org/wp-content/uploads/2013/04/Ford-BISCI-News-Article.pdf>
16. „Distributed Antenna Systems (DAS)“. Žiūrėta 2015-05-09. Prieiga per internetą: <http://www.cc-n.com/Solutions/CablingFiberWireless/DistributedAntennaSystems>
 17. Repeater - Wikipedia. Žiūrėta 2015-05-10. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/Repeater>
 18. „DTF Repeater“. Žiūrėta 2015-05-10. Prieiga per internetą: <http://www.guanritech.com/en/products/repeaters/dtv-rf-repeater.html>
 19. „Fiber Optic Repeater“. Žiūrėta 2015-05-16. Prieiga per internetą: <http://www.solnetcom.com/download/SolDdatasheet-Fiber-Optic-Repeater-090519.pdf>
 20. „RF Repeaters information“. Žiūrėta 2015-05-16. Prieiga per internetą: http://www.globalspec.com/learnmore/communications_rf_microwave/rf_microwave_components/rf_repeater
 21. „Frequency Shifting Repeaters“. Žiūrėta 2015-05-16. Prieiga per internetą: <http://www.cellcommsolutions.com/frequency-shifting-repeaters.html>
 22. „Channel-Selective RF Repeater“. Žiūrėta 2015-05-16. Prieiga per internetą: <http://www.guanritech.com/en/products/repeaters/channel-selective-rf-repeater.html>
 23. „Band-Selective RF Repeater“. Žiūrėta 2015-05-16. Prieiga per internetą: <http://www.guanritech.com/en/products/repeaters/band-selective-rf-repeater.html>
 24. Microwave Journal. „Antenna Passive Repeaters For Indoor Recovery of Microwave Cellular Signals“. Žiūrėta 2015-05-16. Prieiga per internetą: <http://www.microwavejournal.com/articles/6899-antenna-passive-repeaters-for-indoor-recovery-of-microwave-cellular-signals>
 25. „City RF Propagation Models“. Žiūrėta 2015-05-19. Prieiga per internetą: <http://faculty.ksu.edu.sa/adelali/Student%20Presentations%20May%202008/City%20RF%20Propagation%20Models.pdf>
 26. Wikipedia – ITU Model for Indoor Attenuation. Žiūrėta 2015-05-19. Prieiga per internetą: http://en.wikipedia.org/wiki/ITU_Model_for_Indoor_Attenuation
 27. M. Tolstrup: „Indoor Radio Planning: A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE“. Elektroninė knyga, 471 psl.
 28. „Kathrein“ 800 10249 Antenna Datasheet. Žiūrėta 2015-10-13. Prieiga per internetą:

- http://www.selteq.com/Products/kathrein/data_sheets/80010249.pdf
29. „Kathrein“ 800 10465 Antenna Datasheet. Žiūrėta 2015-10-13. Prieiga per internetą: <http://kathrein.de/fileadmin/media/produkte/imports/mca/9363036b.pdf>
30. „Commscope“ koaksialinių kabelių e-katalogas. Žiūrėta 2015-11-18. Prieiga per internetą: http://www.commscope.com/catalog/wireless/product_details.aspx?id=1310&s=search
31. „Kathrein“ 782 10469 Dual Band Combiner Datasheet. Žiūrėta 2015-11-18. Prieiga per internetą: <http://www.kathrein-scala.com/catalog/78210469.pdf>
32. „Kathrein“ Low-loss Power Tappers Datasheet. Žiūrėta 2015-11-18. Prieiga per internetą: http://www.kathrein-scala.com/catalog/86010136_9363575a.pdf
33. „Kathrein“ Low-loss Adjustable Power Tapper Datasheet. Žiūrėta 2015-11-18. Prieiga per internetą: http://www.kathrein-scala.com/catalog/86010023_9362261b.pdf
34. „Kathrein“ Low-loss Power Splitters Datasheet. Žiūrėta 2015-11-18. Prieiga per internetą: http://www.kathrein-scala.com/catalog/86010100_9362956b.pdf
35. „Product Description for RBS 6601“. Žiūrėta 2015-11-19. Prieiga per internetą: https://www.launch3telecom.com/shared_media/datasheet/RBS%206601.pdf
36. „Remote Radio Unit Description. RRUS 11 and RRUS 61“. Žiūrėta 2015-11-19. Prieiga per internetą: https://lafibre.info/images/4g/201202_ericsson_remote_radio_unit_description.pdf
37. FlatPack2 Product Description. Žiūrėta 2015-11-19. Prieiga per internetą: http://www.eltek.com/detail_products.epl?id=1142848&cat=&k1=&k2=&k3=&k4=25805&close=1
38. „NorthStar“ NSB 100FT Product Description. Žiūrėta 2015-11-19. Prieiga per internetą: http://www.northstarbattery.com/1.0.1.0/188/NSB_100FT_Silver_Battery_%28SES-542-04-04%29.pdf
39. 3.5 kW Daikin Split System Air Conditioner. Žiūrėta 2015-11-19. Prieiga per internetą: <http://www.daikinairconditioningperth.com.au/product/3-5kw-daikin-split-system-air-conditioner/>
40. „SMS over LTE: services, architecture and protocols“. Žiūrėta 2015-12-03. Prieiga per internetą: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00814264/document>