



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Aurimas Andriuška

**VIDAUS JUDRIOJO RYŠIO TINKLO PROJEKTAS
LOGISTIKOS SANDĖLYJE**

Baigiamasis magistro darbas

Vadovas
Doc. dr. Vitas Grimaila

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
TELEKOMUNIKACIJŲ KATEDRA

VIDAUS JUDRIOJO RYŠIO TINKLO PROJEKTAS
LOGISTIKOS SANDĖLYJE

Baigiamasis magistro projektas
Telekomunikacijų sistemos (621H64002)

Vadovas

Doc. dr. Vitas Grimaila

Recenzentas

Doc. dr. Tomas Adomkus

Projektą atliko

Aurimas Andriuška

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos

(Fakultetas)

Aurimas Andriuška

(Studento vardas, pavardė)

Telekomunikacijų sistemos, 621H64002

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Vidaus judriojo ryšio tinklo projektas logistikos sandėlyje

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2016 m. sausio 4 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Aurimo Andriuškos** baigiamasis projektas tema „Vidaus judriojo ryšio tinklo projektas logistikos sandėlyje“ 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)

Andriuška, A. Vidaus judriojo ryšio tinklo projektas logistikos sandėlyje. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Vitas Grimaila; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Telekomunikacijų katedra.

Kaunas, 2016. 66 psl.

SANTRAUKA

Dideliuose pastatuose, kurie sudaryti iš metalo, betono ar stiklo konstrukcijų, sunku užtikrinti patikimą judrųjį ryšį. Ryšio nebuvimas sukelia vartotojų nepasitenkinimą paslaugomis ir jų migravimą į kitų operatorių tinklus. Todėl šio darbo tikslas – suprojektuoti vidaus judriojo ryšio tinklą logistikos sandėlyje ir įvertinti projekto atsipirkimo laiką.

Šio projekto analitinėje dalyje analizuojami signalo stiprinimo būdai panaudojant mobiliojo ryšio kartotuvus, nagrinėjami jų taikymo ypatumai, privalumai ir trūkumai. Sprendžiant korinio ryšio sistemų talpos didinimo problemą siūloma diegti minibazines stotis. Be to, analizuojami praktiniai sistemų diegimo ypatumai ir galimos grėsmės.

Projektuojant vidaus radijo ryšio tinklą pirmiausia parenkama telekomunikacinė įranga, pagal kurios techninius parametrus atliekamas planavimas. Naudojantis ryšio padengiamumo prognozavimo programiniu įrankiu nustatomas vidaus antenų skaičius, o energetiniais skaičiavimais išėjimo galios. Darbe taip pat prognozuojami vartotojų sukuriami srautai ir sistemos apkrautumas. Pateikiamos darbo išvados.

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

Andriuška, A. Project of Indoor Mobile Network at Logistics warehouse. Final project of Master's work / supervisor doc. dr. Vitas Grimaila; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Telecommunications

Kaunas, 2016. 66 psl.

SUMMARY

It is challenging to design a mobile network in the huge buildings, which are constructed of metal, concrete or glass constructions. Lack of mobile network capabilities causes user's dissatisfaction and their migration to other operator's networks. For these reasons the goal of this paper is to explore mobile network coverage and network capacity enhancement capabilities for indoor cellular systems. The second goal is to make a project of indoor mobile network at logistics warehouse.

In the analytical part of this paper is analyzing signal amplifying ways using mobile repeaters, talking about their practical installation guidelines, advantages and disadvantages. As a solution for mobile systems capacity enhancement in this paper offered to plan mini base station. Furthermore, in analysis part is discussed potential threats while installing indoor mobile system.

In the design part of this paper is selected mobile system equipment. According to equipment technical specifications, using coverage propagation software is calculated the number of indoor antennas. Also in this part is calculated output transmitting power. However, paper provides user traffic estimations.

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

TURINYS

SUTRUMPINIMŲ SĄRAŠAS	7
ĮVADAS	8
1. UŽDUOTIES ANALIZĖ IR OBJEKTO CHARAKTERISTIKA	9
1.1. Vidaus ryšio kokybės užtikrinimo tikslas (temos aktualumas)	9
1.2. Objekto charakteristikos	9
1.2.1. Logistikos įmonės duomenys projektavimui	10
1.3. Užduoties analizė	13
2. SIGNALO STIPRINIMO IR SISTEMOS TALPOS DIDINIMO BŪDŲ ANALIZĖ	14
2.1. Judriojo ryšio signalo stiprinimo būdai	14
2.1.1. Radijo signalo kartotuvai	14
2.1.2. Paskirstytų antenų sistemos	16
2.1.3. Minibazinės stotys	23
2.2. Opiausios vidaus ryšio diegimo grėsmės	25
2.2.1. Vidaus ir lauko signalų atskyrimas	25
2.2.2. Pasyvioji intermoduliacija PIM	26
2.3. Radijo bangų sklidimo, vidaus sąlygomis, prognozavimas	27
2.3.1. Anderson 2D prognozavimo modelis	28
2.3.2. COST 231 daugelio sienų (angl. <i>Multi wall</i>) prognozavimo modelis	29
2.3.3. COST 231 sienų vidurkinimo (angl. <i>Average walls</i>) prognozavimo modelis	30
2.3.4. Motley – Keenan prognozavimo modelis	30
3. JUDRIOJO RYŠIO TECHNOLOGIJŲ APŽVALGA	31
3.1. GSM ir UMTS technologijų apžvalga	31
3.2. LTE-A technologijos apžvalga	32
3.2.1. Apibendrinta LTE-A tinklo struktūra E-UTRAN	32
3.2.2. Nešančiųjų dažnių apjungimas	34
3.2.3. LTE-A naudojama MIMO technologija	35
4. VIDAUS JUDRIOJO RYŠIO PROJEKTAVIMAS	37
4.1. Telekomunikacinės sistemos ir įrangos parinkimas	37
4.1.1. Projektuojamo vidaus tinklo bazinė stotis	37
4.2. Logistikos sandėlio ryšio padengimo įvertinimas	40
4.2.1. Padengimo įvertinimas „Aerohive“ įrankiu	40
4.3. Planuojama vidaus judriojo ryšio tinklo struktūra	42
4.3.1. Projektuojamo tinklo struktūra, kitų operatorių prijungimui	44
4.4. Išėjimo galios skaičiavimas (antenų spinduliavimo galia)	45
4.5. Detalizuoto projekto aprašas	49
4.6. HSDPA ir LTE vartotojų sukurtų srautų įvertinimas	51
4.6.1. LTE vartotojų sukurtų srautų įvertinimas	51
4.6.2. HSDPA ir GSM vartotojų sukurtų srautų įvertinimas	53
4.6.3. Vartotojų gaunamos greitaveikos kitimo įvertinimas	54
4.6.4. Sukurtų srautų įvertinimo apibendrinimas	55
5. EKONOMINIS PROJEKTO ĮVERTINIMAS	57
5.1. Ryšio sistemos diegimo ir projektavimo kaštai	57
5.2. Išlaidos konstrukciniams elementams ir kabelinei infrastruktūrai	59
5.3. Reikalingos investicijos telekomunikacinei įrangai įsigyti	60
5.4. Prognozuojamas projekto atsipirkimo laikas	61
IŠVADOS	63
LITERATŪROS SĄRAŠAS	64
PRIEDAI	67

SUTRUMPINIMŲ SĄRAŠAS

LTE	Ketvirtos kartos mobiliojo ryšio technologija (angl. <i>The Long Term Evolution</i>)
UMTS	Universalioji mobiliųjų telekomunikacijų sistema (angl. <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>)
GSM	Antrosios kartos mobiliųjų telekomunikacijų sistema (angl. <i>Global System for Mobile Communications</i>)
RNC	UMTS radijo tinklo kontroleris (angl. <i>radio network controller</i>)
SNR	Signalų ir triukšmo santykis (angl. <i>Signal to noise ratio</i>)
PAS	Paskirstytų antenų sistema (angl. <i>Distributed antenna system</i>)
UHF	Ultra aukštų dažnių ruožas (angl. <i>ultra-high frequency</i>) ir labai aukštuose VHF (angl. <i>very-high frequency</i>) dažnių ruožuose.
VFH	Labai aukštų dažnių ruožas (angl. <i>very-high frequency</i>)
PoE	Elektros maitinimas per Ethernet kabelį (angl. <i>Power over Ethernet</i>).
BS	Bazinė stotis (angl. <i>Base station</i>)
3GPP	Trečiosios kartos bendradarbiavimo projektas (angl. <i>3rd Generation Partnership Project</i>)
PIM	Pasyvioji intermoduliacija (angl. <i>Passive Intermodulation</i>)
PLMN	Viešasis antžeminis mobilusis tinklas (angl. <i>public land mobile network</i>)
BTS	Bazinė stotis GSM tinkle (angl. <i>Base transceiver station</i>)
BSC	Bazinių stočių kontroleris GSM tinkle (angl. <i>Base station controller</i>)
CA	Nešančiųjų dažnių apjungimas (angl. <i>carrier aggregation</i>)
UE	Paslaugos vartotojo terminalas (angl. <i>User equipment</i>)
MIMO	Ryšio perdavimo technologija panaudojant keletą antenų (angl. <i>multiple input multiple output</i>)

ĮVADAS

Mobiliojo ryšio vartotojų pasiskirstymas teikiamų paslaugų naudojimuisi vidaus ir lauko sąlygomis lemia korinio ryšio projektavimo poreikį tiek pastatų vidaus, tiek išorinėse ryšio zonose. Lauko sąlygų, didelio vartotojų susibūrimo vietose trūkstamas tinklo resursų kiekis mobiliojo ryšio operatorius verčia diegti naujas, papildomas bazines stotis. Nesiimant šių veiksmų fiksuojamas vartotojų nepasitenkinimas teikiamomis paslaugomis ir vartotojų migracija į kitų operatorių tinklus.

Didėjantį vidaus judriojo ryšio projektavimo poreikį lemia kiti veiksniai. Svarbiausias iš jų – per silpnas radijo signalas pastato viduje, kurį lemia šiuolaikinės pastatų konstrukcijos, kurios sudarytos iš stiklo arba metalo. Be to, iki 80% ryšio vartotojų teikiamomis paslaugomis naudojami vidaus sąlygomis [1]. Taigi išauga poreikis papildomų ryšio zonų ne vien masinio susibūrimo vietose, bet ir dideliuose pastatuose.

Efektyviausias kelias išsiaiškinti planuojamos diegti sistemos tipą ir techninius parametrus – atlikti vartotojų skaičiaus ir poreikių analizę, ištirti galimus technologinius diegimo variantus, bei išanalizuoti pačias mobiliojo radijo ryšio sistemas. Projektuojant pastato vidaus radijo ryšį būtina įvertinti pačio pastato struktūrą, jo dydį ir galimus sistemos diegimo praktinius būdus. Svarbiausia, kad darbe analizuojamos ryšio užtikrinimo priemonės ir praktinio diegimo grėsmės leistų kokybiškai įdiegti projektuojamą sistemą, o atliekami skaičiavimai stipriai neprasilenktų su realiomis sąlygomis sumontuota sistema.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – suprojektuoti vidaus judriojo ryšio tinklą logistikos sandėlyje ir įvertinti projekto atsipirkimo laiką.

Siekiant užsibrėžto darbo tikslo suformuluojami darbo uždaviniai:

1. Atlikti judriojo ryšio signalo stiprinimo ir talpos didinimo būdų analizę;
2. Įvertinti logistikos sandėlio radijo ryšio padengiamumą;
3. Sudaryti planuojamo tinklo struktūrą ir įvertinti signalo galių pasiskirstymą;
4. Parinkti tinklo struktūrai realizuoti reikalingą įrangą ir nustatyti jos kiekį;
5. Atlikti vartotojų sukuriamų srautų įvertinimą;
6. Prognozuoti projekto atsipirkimo laiką.

1. UŽDUOTIES ANALIZĖ IR OBJEKTO CHARAKTERISTIKA

Šis darbo skyrius skirtas paaiškinti atliekamo projektavimo aktualumą, bei pasirinkto objekto charakteristikas. Taip pat čia bus suformuluojamas pagrindinis darbo tikslas ir iškeliami darbo uždaviniai. Darbo tikslas ir uždaviniai formuluojami atsižvelgiant į pasirinkto darbo objekto poreikius planuojamam 2G, 3G ir 4G/4G+ judriajam radijo ryšiui.

1.1. Vidaus ryšio kokybės užtikrinimo tikslas (temos aktualumas)

Pagrindinis faktorius, kuris lemia vidaus mobiliojo ryšio projektavimą ir kokybės užtikrinimo problematikos sprendimus – mobiliojo ryšio vartotojų pasitenkinimas gaunamomis paslaugomis vidaus sąlygomis. Remiantis statistika, apie 70 - 80% mobiliojo ryšio vartotojų teikiamomis paslaugomis naudojami vidaus sąlygomis [1]. Taip pat, reikia paminėti ir tai, kad vis daugiau ryšio vartotojų migruoja nuo fiksuoto ryšio paslaugų prie judriojo ryšio. Tokį vartotojų judėjimą lemia spartus mobiliojo ryšio technologinis tobulėjimas, bei ryšio operatorių siūlomų paslaugų spektras. Taigi, siekiamybė užtikrinti kokybišką mobiliųjų paslaugų pateikiamumą, paremta komercijos, konkurencijos ir pelno tikslais. Savaime suprantama, kad mobiliojo ryšio operatorius projektuodamas ir užtikrindamas vidaus ryšio pateikiamumą dideliuose objektuose, tampa pranašesnis prieš konkurentus.

Nesunku suprasti, kad projektuojant vidaus ryšį negalima apsiriboti tik techniniais aspektais, tačiau būtina įvertinti vartotojų pasiskirstymą, galimus jų skaičius bei poreikį paslaugoms.

1.2. Objekto charakteristikos

Kaip projekto objektas yra pasirinktas **UAB „Paletė“** logistikos sandėlis, kurio vidaus patalpose nėra užtikrinami judriojo ryšio kokybiniai parametrai, kurie yra įtakojami žemo radijo signalo lygio, antros ir trečios kartos (UMTS) technologijose. Su perspektyva, vis labiau augančiam paketinių duomenų, perdavimo spartų, multimedijos paslaugų poreikiui, papildomai atliekamas projektavimas ketvirtosios kartos (LTE/LTE-A) technologijai.

Dėl žemo signalo lygio, kuris svyruoja apie -95 dBm 2G technologijoje ir apie -100 dBm 3G technologijoje, neužtikrinamas patikimas skambučių ir paketinių duomenų perdavimas. To pasekoje fiksuojamas didelis skaičius prarandamų skambučių, prasta paketinių duomenų paslaugos kokybė bei žema perdavimo sparta. Visi minėti faktoriai įtakojami silpno radijo signalo lygio pastato viduje. Pagrindinis faktorius, kuris lemia šias problemas - logistikos sandėlio konstrukcija. Pastatas, kuriame atliekamas projektavimas, tradiciškai yra sudarytas iš metalo ir skardos konstrukcijų, o kaip žinoma tokio tipo medžiagos visiškai atspindi

elektromagnetines bangas. Priklausomai nuo technologijos veikimo dažnio, elektromagnetinių bangų skvarba skiriasi - aukštesni dažniai (3G technologija) slopinami stipriau, žemesni dažniai (2G technologija) silpniau.

Negana to, kad logistikos centro sandėlio kuriame projektuojamas vidaus ryšys, išorinės sienos sudarytos iš skardos ir metalo konstrukcijų, vidinės patalpos apstatytos metaliniais pastoliais. Šie pastoliai sukelia daugkartinius signalo atspindžius, kurie įtakoja signalo kritimą žemiau leistinos ribos, o tuo pačiu skambučių praradimus ir duomenų perdavimo trukdžius.

Dėl šių priežasčių tolimesniuose baigiamojo darbo skyriuose bus nagrinėjama judriojo ryšio veikimo užtikrinimo problematika dideliuose pastatuose, kurie sudaryti iš betono, metalo, skardos ir stiklo konstrukcijų. Be to, analizuojami aprėpties užtikrinimo būdai vidaus sąlygomis, kada signalo nykimus sukelia metalinės konstrukcijos. Atsižvelgiant į tai, kad vidaus patalpose gali būti didelis skaičius mobiliojo ryšio vartotojų, bus nagrinėjama mobiliojo ryšio sistemų talpos (galimų aptarnauti vartotojų) didinimo problema.

1.2.1. Logistikos įmonės duomenys projektavimui

Kadangi, pasirinkto logistikos centro personalas naudojami UAB „Tele2“ mobiliojo ryšio operatoriaus teikiamomis paslaugomis, vidaus ryšys projektuojamas būtent šiam operatoriui. Dėl šios priežasties, projektuojamam tinklui įdiegti bus naudojama „Tele2“ tinkle funkcionuojanti telekomunikacinė įranga. Vieningas įrangos naudojimas išsprendžia tinklo funkcionavimo suderinamumo klausimą. Žvelgiant į ateities perspektyvas, planuojama tinklo struktūrą suprojektuoti taip, kad esant poreikiui tinklas galėtų būti modernizuojamas prijungiant kitus mobiliojo ryšio operatorius.

Pagrindiniai duomenys be kurių neįmanomas tinklo planavimas – vartotojų skaičiai, jų poreikis skirtingoms paslaugoms bei detalus logistikos bazės išplanavimas. Turint šiuos parametrus, jau galima orientuotis į telekomunikacinę tinklo įrangą, reikalingus techninius parametrus ir tinklo struktūros sudėtingumą.

Logistikos centro pateikti galimi vartotojų skaičiai, skirtingų technologijų paslaugoms, pateikti 1.1 lentelėje. Pateikti skaičiai yra apytiksliai, kadangi vartotojų skaičius pastoviai kinta, o LTE/LTE-A vartotojų skaičius nurodytas su atsarga, dėl spartaus vartotojų mobiliųjų aparatų atsinaujinimo.

1.1 lentelė. Sistemų talpos reikalavimai

<i>GSM vartotojų skaičius</i>	<i>UMTS vartotojų skaičius</i>	<i>LTE/LTE-A vartotojų skaičius</i>
35	60	45

Atsižvelgiant į tai, kad vartotojų terminalai gali persijungti iš vienos technologijos į kitą, lentelėje pateikti skaičiai nurodyti, įvertinant didžiausią vartotojų pasiskirstymo tikimybę. Tai reiškia, kad pateikti skaičiai nurodo mobiliųjų terminalų kiekį, palaikančių atskiras technologijas (pvz. GSM vartotojai neturi galimybės persijungti į UMTS technologiją).

Be reikiamos projektuojamos sistemos talpos reikalavimų, būtinas pilnas sandėlio ryšio padengiamumas, o vidaus signalo lygis ne mažesnis nei **-75 dBm**, kad užtikrinti kokybišką judrųjį ryšį. Nurodytas signalo lygis tik apytikslis, kadangi atskiroms projektuojamoms sistemoms jis kinta priklausomai nuo dažnio. Taigi projektavimo metu, bus nustatomas antenų skaičius, kuris reikalingas ryšio padengiamumui patalpose užtikrinti.

Tam, kad būtų galima įvertinti atlikto projektavimo rezultatą, atlikti signalo lygio matavimai pastato viduje ir išorėje tiek 2G, tiek 3G technologijoms, o signalo vertės pateikiamos 1.2 lentelėje. Šios vertės gautos atliekant objekto techninę žvalgymą, dabartinėmis ryšio sąlygomis. LTE/LTE-A technologijai radijo signalo lygiai nebuvo matuojami, kadangi išorinėje bazinėje stotyje, kuri aptarnauja pasirinkto logistikos sandėlio zoną, neįdiegta ši technologija.

1.2 lentelė. Radijo signalo lygiai prieš tinklo instaliaciją

<i>GSM technologijai</i>		<i>UMTS technologijai</i>	
<i>Signalų lygis pastato viduje</i>	<i>Signalų lygis pastato išorėje</i>	<i>Signalų lygis pastato viduje</i>	<i>Signalų lygis pastato išorėje</i>
-93 dBm	-53 dBm	-110 dBm	-65 dBm

Toliau pateikiamas logistikos centro sandėlio detalus išplanavimas, kuriame projektavimo metu bus nurodomos tikslios telekomunikacinės įrangos, antenų montavimo vietos, kabelių pravedimo keliai ir t.t.

Logistikos sandėlio išplanavimas

1.3. Užduoties analizė

Kaip jau minėta, radijo ryšys bus projektuojamas vidaus sąlygomis. Dėl šios priežasties darbo eigoje bus atliekama judriojo ryšio kartotuvų, jų taikymo ypatumų analizė, išskiriami trūkumai ir privalumai. Tačiau neatmetamas ir minibazinės stoties instaliacijos variantas, kas leistų sukurti papildomą sistemos talpą sandėlyje ir sumažinti išorinių bazinių stočių apkrautumą. Taigi, tuo pačiu išsprendžiami talpos ir ryšio kokybės gerinimo klausimai, kas ir yra pagrindinis darbo tikslas. Ryšio projektavimas neįmanomas be teorinio modeliavimo, dėl šios priežasties bus pasirinkta programinė įranga ir naudojant teorinius radijo signalo sklidimo modelius, įvertinamas ryšio padengiamumas. Diegiant vidaus paskirstytų antenų sistemas, būtina įvertinti signalo stiprumo nykimą projektuojamos sistemos pasyvioiose komponentuose. Todėl bus atliktas signalo slopinimo įvertinimas jungiamuosiuose kabeliuose, dalikliuose, iškrovikliuose ir t.t. Kaip jau minėta, bus projektuojamos GSM, UMTS ir LTE/LTE-A sistemos, todėl reikia atlikti tiek apkrovų skaičiavimą skambučių perdavimui, tiek vartotojų sukurtus srautus paketinių duomenų perdavimui.

Darbo tikslas – suprojektuoti vidaus judriojo ryšio tinklą logistikos sandėlyje ir įvertinti projekto atsipirkimo laiką.

Siekiant užsibrėžto darbo tikslo suformuluojami darbo uždaviniai:

1. Atlikti judriojo ryšio signalo stiprinimo ir talpos didinimo būdų analizę;
2. Įvertinti logistikos sandėlio radijo ryšio padengiamumą;
3. Sudaryti planuojamo tinklo struktūrą ir įvertinti signalo galių pasiskirstymą;
4. Parinkti tinklo struktūrai realizuoti reikalingą įrangą ir nustatyti jos kiekį;
5. Atlikti vartotojų sukurtų srautų įvertinimą;
6. Prognozuoti projekto atsipirkimo laiką.

2. SIGNALO STIPRINIMO IR SISTEMOS TALPOS DIDINIMO BŪDŲ ANALIZĖ

Šio darbo analitinėje dalyje nagrinėjami judriojo ryšio signalo stiprinimo būdai ir principai, analizuojami mobiliojo ryšio kartotuvai, jų taikymo ypatumai, privalumai ir trūkumai. Neapsiribojant vien signalo sustiprinimo galimybe, atliekama 2G, 3G, 4G sistemų talpos padidinimo pastato viduje analizė. Išanalizavus galimus sprendžiamos problemos variantus, parenkamas efektyviausias ir optimaliausias variantas, užtikrinantis reikiamą ryšio kokybę. Projektuojant pasirinkto logistikos sandėlio vidaus ryšį, būtina užtikrinti ryšio aprėptį visame pastate, dėl šios priežasties atliekama radijo bangų sklidimo modelių pastatų vidaus patalpose analizė, o juos išanalizavus pasirenkamas tinkamiausias.

2.1. Judriojo ryšio signalo stiprinimo būdai

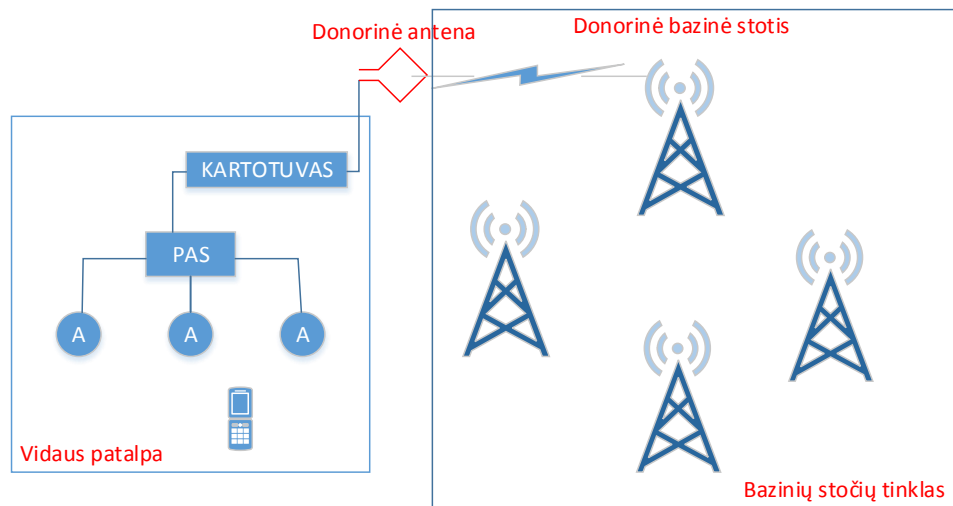
Atliekant judriojo ryšio projektavimą vidaus sąlygomis, reikia išanalizuoti įmanomus signalo stiprinimo būdus, o atlikus analizę, pasirinkti efektyviausią iš jų. Pasirenkant judriojo ryšio signalo stiprinimo ar retransliavimo būdą, būtina atsižvelgti ne tik į ekonominius aspektus, diegimo kaštus, bet ir signalo energetines charakteristikas lemiančius veiksnius bei projektuojamos sistemos talpai keliamus reikalavimus. Šiuo atveju, energetinių charakteristikų įvertinimas apima signalo slopinimą tinklo architektūros elementuose – jungiamuosiuose koaksialiniuose kabeliuose, jungtyse, šakotuvuose (angl. *Splitter*), apjungėjuose (angl. *combiner*). Jei projektuojamas tinklas turi aptarnauti nemažą skaičių vartotojų, dažnu atveju reikalaujama, kad sistema generuotų savąją vidinę talpą, ir neapkrautų išorinės bazinės stoties. Tokiu atveju, atmetamas signalo sustiprinimo ir retransliavimo variantas, ir diegiama minibazinė stotis. Tokios bazinės stoties sugeneruojamas srautas perduodamas į RNC. Šiuo metu dažniausiai srautui perduoti panaudojamos radijo relinės arba plačiajuostės optinės linijos.

2.1.1. Radijo signalo kartotuvai

Kaip jau buvo minėta anksčiau, vienas iš būdų ryšio kokybei vidaus sąlygomis pagerinti yra radijo signalo kartotuvo įdiegimas. Taigi, norint suprojektuoti efektyviai ir kokybiškai funkcionuojantį vidaus ryšio tinklą, realizuojamą kartotuvu, reikia išanalizuoti kartotuvų veikimo principus, pagrindines problemas, trūkumus ir privalumus.

Kartotuvai charakterizuojami kaip santykinai mažai išlaidų reikalaujantys, lengvai diegiami bei mažai energijos vartojantys įrenginiai. Be to, kartotuvai naudoja donorinės bazinės stoties talpą, todėl jam nereikia tiesioginio sujungimo su radijo tinklo kontrolieriu RNC (angl. *Radio Network Controller*). Iš esmės radijo dažnio kartotuvai - tai signalo stiprintuvai, kuris

sustiprina priimtą iš donorinės bazinės stoties tam tikro dažnio signalą ir jį perduoda į vidaus ryšio paskirstytų antenų sistemą. Stotis, kurios signalą stiprina kartotuvai, vadinama donorine bazine stotimi. 2 paveiksle pavaizduota principinė kartotuvo realizavimo schema.



2 pav. Struktūrinė kartotuvo realizavimo schema

Kaip matyti iš anksčiau pateikto paveikslo, paprasčiausiai realizuojamam kartotuvui reikalingi šie pagrindiniai komponentai – pats kartotuvai, donorinė antena, klientinės antenos (pažymėtos A raide), šakotuvai bei jungiamieji kabeliai.

Vidaus ryšio kokybiškos paslaugos užtikrinimas priklauso ne tik nuo kartotuvo veikimo, bet ir nuo pasirinktos donorinės bazinės stoties. Visų pirma turi būti nustatoma ar naudojama bazinė stotis gali aptarnauti papildomą klientų skaičių, esančių diegiamo kartotuvo aprėpties zonoje. Be to, nepakanka pasirinkti donorinės celės su pakankamu radijo signalo lygiu, tačiau būtina įvertinti fiksuojamo signalo kokybę. Jeigu pasirinktos celės signalo ir triukšmo santykis SNR (angl. *Signal to noise ratio*) bus blogas, kartotuvai stiprindamas naudingą signalą tuo pačius stiprins ir triukšmus. Dėl šios priežasties rekomenduojama pasirinkti donorinės bazinės stoties celę su žemesniu signalo lygiu, bet aukštesniu SNR lygiu. Rekomenduojamas SNR 20 dBm arba aukštesnis [1]. Be to, reikia paminėti, kad kartotuvai stiprindamas naudingą radijo signalą, į eterį siunčia savuosius triukšmus [3].

Kaip jau minėta anksčiau, vienas iš pagrindinių kartotuvo veikimui reikalingų komponentų yra donorinė antena. Viena vertus, tai paprasta antena, kita vertus, jai keliami tam tikri reikalavimai. Vienas iš pagrindinių reikalavimų – kryptingumas. Donorinė antena turi būti pakankamai kryptinė (pageidautina kuo siauresnė spinduliavimo diagrama) tam, kad priimtų radijo signalą būtent iš pasirinktos bazinės stoties. Kitu atveju kartotuvai stiprins ne vienos bazinės stoties signalą, o kelių. Dėl šios priežasties mobilieji klientai persijunginės tarp skirtingų bazinių stočių (angl. *handover*). Nuolatinis „šokinėjimas“ tarp bazinių stočių lemia skambučių

praradimus 2G technologijoje ir paketinių duomenų perdavimo nutrūkimus 3G technologijoje. Taigi renkantis donorinę anteną, reikia įvertinti ne tik jos efektyvų stiprinimą, bet ir kryptingumą. Renkantis donorinę bazinę stotį, rekomenduojama, kad jos spinduliuojamas signalo lygis būtų bent 10dB aukštesnis, nei aplinkinių stočių [1, 4].

Kartotuvų trūkumai ir privalumai

Pagrindiniai privalumai:

1. Nesudėtingas ir daug kaštų nereikalaujantis diegimas (lyginant su bazine stotimi);
2. Nereikalingas dedikuotas sujungimas su bazinių stočių kontrolieriumi;
3. Didelis patikimumas (dėl pasyviųjų sistemos komponentų).

Pagrindiniai trūkumai:

1. Nekvalifikuotai instaliuota sistema padidina triukšmų lygį išorinei celei, kai sumažinama jos teikiamų paslaugų kokybė ir talpa;
2. Sistemos paprastumas apriboja monitoringo galimybę.

2.1.2. Paskirstytų antenų sistemos

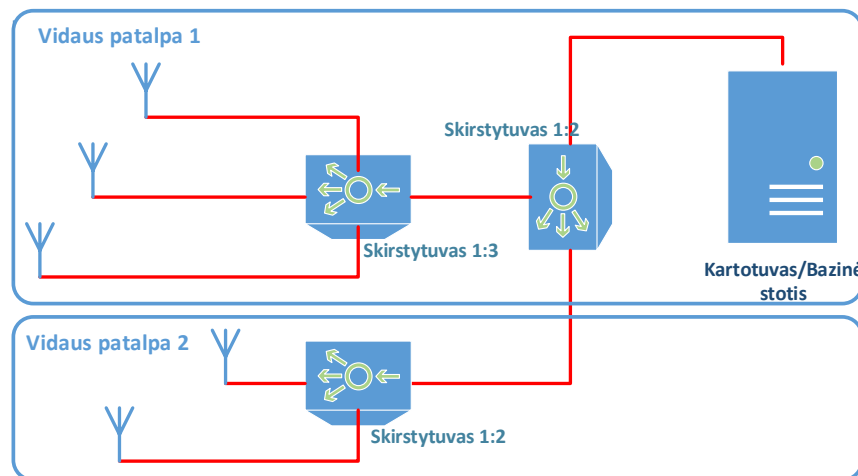
Paskirstytų antenų sistemos (PAS) dažniausiai yra naudojamos mažose celėse, kur neužtikrinama reikalinga radijo ryšio aprėptis. Taip pat ši tinklo koncepcija gali būti naudojama norint praplėsti tinklo talpą, siekiant sumažinti prarandamų skambučių skaičių bei gerinant paketinių duomenų perdavimą. Paskirstytų antenų sistemos principas – bazinės stoties generuojamo ar kartotuvo sustiprinto radijo signalo paskirstymas daugeliui antenų. Bendru atveju, paskirstytų antenų sistemą sudaro magistralinis kabelis, nuo kurio atsakojami kiti kabeliai iki vidaus antenų bei pasyvieji/aktyvieji tinklo elementai. Priklausomai nuo vidaus patalpų dydžio ir išplanavimo, vidaus antenų skaičius gali kisti nuo keleto iki keliasdešimt.

Naudojant PAS galima efektyviau užtikrinti ryšio aprėptis reikiamose vietose. Tarkime, jeigu dideliame pastate reikalingos tik kelios vietos, kuriose turi veikti vidaus ryšys, tai tik šiose vietose ir montuojamos antenos, užuot naudojus vieną anteną, kuri spinduliuotų aukštą galią. Šitaip, išlaikomas izoliacijos reikalavimas, kai vidaus ryšys minimaliai veikia išorinę donorinę celę.

Galimi keli šios sistemos realizavimo variantai: aktyvusis ir pasyvusis signalo paskirstymas arba hibridinis, kartu naudojant ir pasyvųjį ir aktyvųjį būdus. Kartotuvo atveju, visų tipų paskirstytų antenų sistemos perspinduliuoja donorinės celės spinduliuojamą ir kartotuvo sustiprintą signalą. PAS naudojamos ir diegiant minibazines stotis, tik šiuo atveju šios antenos spinduliuojama jau pačios bazinės stoties sukuriamus signalus. Esminis skirtumas tarp pasyviųjų

ir aktyviųjų PAS – aktyviosiose sistemos naudojami aktyvieji elementai (reikalaujantys maitinimo šaltinio) signalo perdavimui iki klientinių antenų, o pasyviosiose nenaudojami jokie elementai, kurie būtų reikalingi sustiprinti ar konvertuoti radijo dažnio signalą. Be to, aktyviosiose sistemose signalai iki nutolusių įrenginių perduodami optiniais ar vytos poros kabeliais, o tai reiškia, kad signalai yra mažiau slopinami ir gali būti perduodami kur kas didesniais atstumais.

Idealiausiu atveju visos antenos turėtų spinduliuoti tos pačios bazinės stoties celės signalą, maždaug tokią pačią signalo galią. Tačiau praktiškai, šiuos požymius gana sunku įgyvendinti.



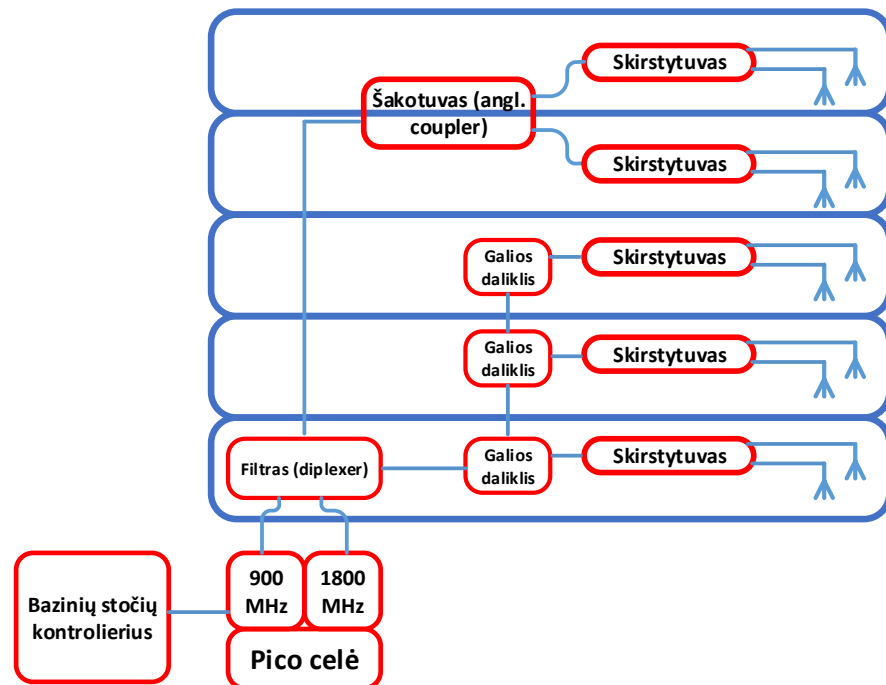
3 pav. Bendra paskirstytų antenų sistemos schema

2.1.2.1. Pasyvi paskirstytų antenų sistema

Pasyvi paskirstytų antenų sistema - tai nesudėtinga tinklo architektūra, dažniausiai naudojama sąlyginai nedideliuose pastatuose. Radijo dažnio signalui paskirstyti į vidaus klientines antenas naudojami pasyvieji elementai, nereikalaujantys papildomo maitinimo šaltinio.

Diegiant šią sistemą, svarbiausia įvertinti signalo lygio slopinimą pasyviuosiuose tinklo elementuose ir galios biudžetą padengiamumo zonose. Labai svarbu įvertinti energetines charakteristikas, kai PAS naudojama ultraaukštuose UHF (angl. *ultra-high frequency*) ir labai aukštuose VHF (angl. *very-high frequency*) dažnių ruožuose.

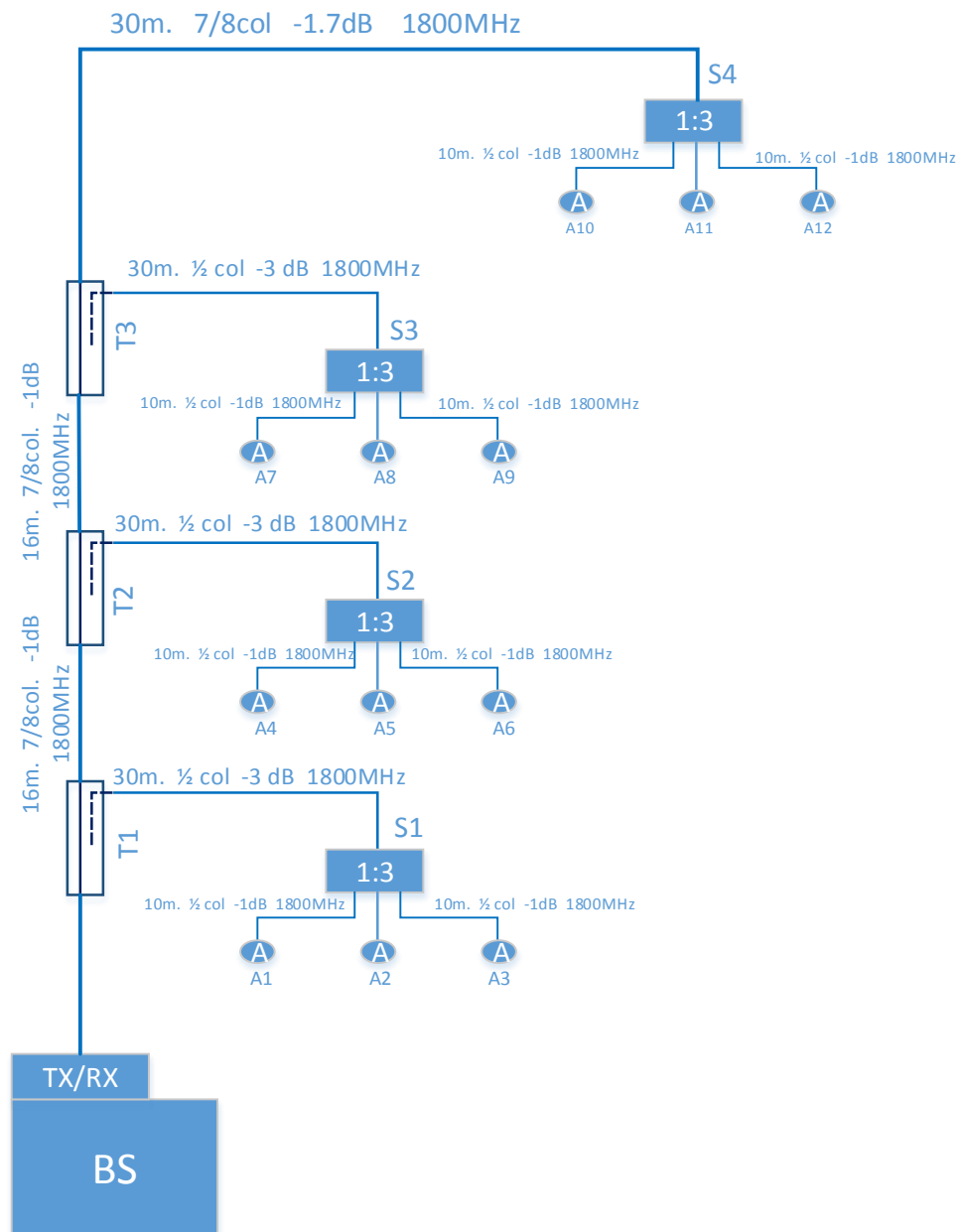
Kadangi pasyvioje paskirstytų antenų sistemoje naudojami tik pasyvūs elementai, prarandama sistemos monitoringo galimybė. Taigi įvykus sistemos gedimui (pvz. RF kabelio trūkimas), negeneruojamas joks aliarmo signalas, o gedimas identifikuojamas tik vartotojų nepasitenkinimu paslaugos kokybe. Tačiau pasyvosios PAS turi ir pliusų, neturėdamos aktyviųjų elementų jos gali veikti pačiomis atšiauriausiomis sąlygomis – drėgmėje, dulkėse ir t.t., kur aktyviniai elementai, turi būti apsaugoti.



4 pav. Pasyvi paskirstytųjų antenų sistema

Pagrindiniai naudojami pasyvaus tinklo komponentai – žemo slopinimo koaksialiniai kabeliai, šakotuvai, netolygūs skirstytuvai (angl. *uneven spliter*), slopintuvai, apkrovos, cirkulatoriai (angl. *circulators*), filtrai (angl. *duplexer*). Būtina paminėti, kad kiekvienas elementas į ryšio grandinę įneša savąjį slopinimą. Aptarsime kiekvieną iš jų:

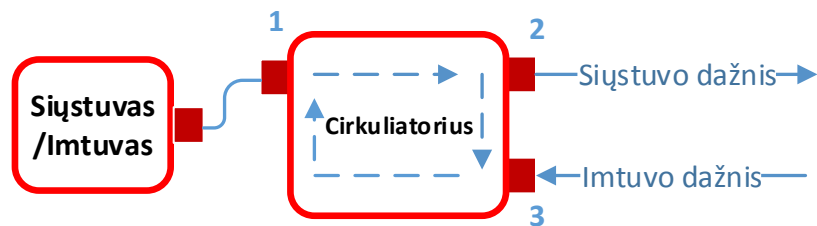
- Šakotuvai – dažniausiai naudojamas pasyvinis elementas, turintis vieną įėjimą ir n išėjimų. Šakotuvai vieną radijo dažnio liniją padalina į keletą kitų ir atvirkščiai, taigi įėjimo signalo galia yra padalinama tarp išėjimo prievadų (portų). Be to, nei vienas išėjimo portų negali likti nepajungtas, todėl likus laisvam portui, prie jo visomet jungiama apkrova;
- Netolyginiai skirstytuvai – jų paskirtis labai panaši į paprastų skirstytuvų, tačiau jie turi tik du išėjimo portus, kuriems įeinančio signalo galia paskirstoma ne vienodai. Dažnai netolyginiai skirstytuvai naudojami, kada PAS diegiama keleto aukštų pastate, per kuriuos montuojamas vienas, žemo slopinimo RF kabelis ($\frac{7}{8}$ ar $1\frac{1}{4}$ colio), nuo kurio pajungiamos atskirų aukštų antenos. Netolyginių skirstytuvų (T_n) pavyzdys pateiktas 5 paveiksle;



5 pav. Netolyginio skirstytuvo (angl. *Tapper/uneven splitter*) panaudojimas PAS

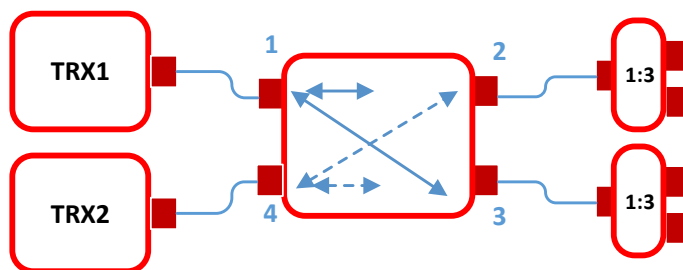
- Slopintuvai – pasyviniai elementai, kurie turi vieną įėjimą ir vieną išėjimą bei slopinantys įėjimo RF signalą tam tikra reikšme. Slopintuvai naudojami norint sumažinti antenos spinduliuojamą galią, tuo pačiu mažinant paslaugos veikimo zoną;
- Apkrovos – naudojamos laisviems, nenaudojamiems komponentų portams apkrauti. Apkrovos gali būti naudojamos, tikrinant RF kabelių VSWR (angl. *Voltage Standing Wave Ratio*). VSWR parametras apibūdina atspindėtą signalo galią nuo apkrovos, kitaip sakant, matuojant VSWR nustatomas RF kabelio slopinimas;
- Cirkulatorius – tai vienos krypties skirstytuvas, kuris viena kryptimi turi mažą

slopinimą (apie 0.5dB) ir didelį slopinimą priešinga kryptimi (apie 23dB) [1]. Šie pasyvieji komponentai naudojami apsaugoti siųstuvą nuo atspindėtos galios, atjungus anteną. Taip pats cirkulatorius gali būti naudojamas, kaip filtras;



6 pav. Cirkulatorius naudojamas kaip filtras atskiriantis siųstuvo ir imtuvo dažnį iš vienos siųstuvo - imtuvo linijos

- Apjungėjas (angl. *coupler*) – šis elementas susumuoja dviejų skirtingų šaltinių signalus į vieną išėjimą arba išskirsto du susumuotus signalus į du atskirus portus. Tokie pasyvieji elementai labai naudingi diegiant keleto operatorių PAS, kada viena antena naudojama dviems siųstuvams;



7pav. Dviejų TRX sumavimas ir paskirstymas į keletą PAS

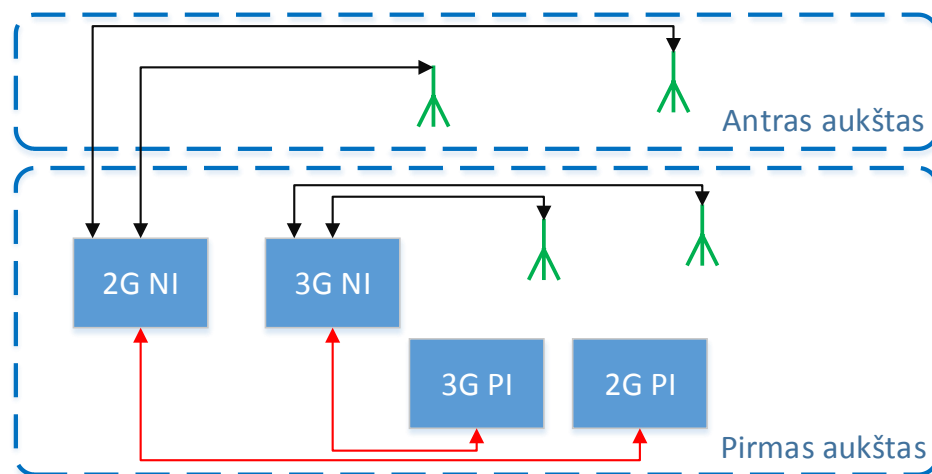
- Filtrai – pasyvieji elementai skirti dažnių filtravimui. Kitaip sakant, filtras gali susumuoti ir atskirti keletą dažnių. Galimi dviejų dažnių filtrai (angl. *diplexer*), trijų dažnių filtrai (angl. *triplexer*) arba siųstuvo ir imtuvo dažnio filtrai (angl. *duplexer*). Priklausomai nuo dažnių skaičiaus, filtras turi atitinkamą išėjimų/įėjimų skaičių. Pvz. dviejų dažnių filtras, 2100 MHz ir 1800 MHz dažnius paduodamus į vieną liniją išskirsto į dvi atskiras 2100 MHz ir 1800 MHz linijas.

Kaip ir kiekviena technologija, pasyvioji paskirstytų antenų sistema turi savų pliusų ir minusų. Teisingai ir kvalifikuotai įvertinus diegiamos sistemos reikalavimus ir sudėtingumą, ši sistema gali užtikrinti reikiamą vidaus ryšio aprėptį ir paslaugos kokybę. Kaip minėta anksčiau, ši sistema puikiai veikia atšiauriomis sąlygomis, lengvai diegiama, o jos pasyvieji, skirtingų gamintojų komponentai nekelia nesuderinamumo problemų. Kadangi PAS naudojami tik pasyvieji elementai prarandama monitoringo galimybė, sistema nelanksti patobulinimas, nemaži signalo slopinimai, įtakojantys paslaugos kokybę. Augantis duomenų perdavimo spartos poreikis lemia dažnių augimą, naudojamų moduliacijų sudėtingumą, kas vis labiau įtakoja signalo

nuostolius pasyviuosiuose elementuose.

2.1.2.2. Aktyvi paskirstytų antenų sistema

Aktyvioji paskirstytų antenų sistema, lyginant su pasyviąja, užtikrina patikimesnį radijo ryšį bei aukštesnes perdavimo spartas projektuojamoms 3G ar 4G sistemoms. Šis privalumas puikiai išnaudojamas aktyviąją paskirstytų antenų sistema diegiant dideliuose pastatuose, kuriuose atstumas tarp klientinių antenų palyginti didelis. Aktyviosios PAS struktūroje pagrindiniai naudojami optiniai ir vytos poros kabeliai, leidžiantys išvengti didelių signalo slopinimų RF kabeliuose. Šiose sistemose projektuojami aktyviniai įrenginiai leidžia kompensuoti signalų slopinimą sąlyginai dideliuose atstumuose. Pagrindiniai sistemos įrenginiai – pagrindinis įrenginys (angl. *Main unit*), nutolęs įrenginys (angl. *Remote unit*) ir išplėtimo įrenginys (angl. *Expansion Unit*).



8 pav. Struktūrinė aktyvios PAS schema

Anksčiau (8 pav.) pateikta supaprastinta aktyvioji paskirstytų antenų sistema, kuomet naudojami tik du aktyviniai įrenginiai. Pagrindinis įrenginys, atitinkantis 2G, 3G ar 4G sisteminius modulius (BS) ir nutolę įrenginiai, atitinkantys radijo modulius. Pagrindiniai įrenginiai (PI) gali būti vadinami sistemos smegenimis, nes jie valdo visus nutolusius įrenginius, atlieka jų monitoringą, generuoja aliarmo signalus ir t.t. Kadangi PI yra prijungti prie bendro bazinių stočių tinklo, jie pasiekiami ir valdomi tiek nuotoliniu, tiek lokaliu būdu. Dažniausiai pagrindiniai įrenginiai su nutolusiais įrenginiais (NI) sujungiami optiniais kabeliais. Diegiant aktyviąją PAS nutolę įrenginiai projektuojami kuo arčiau antenų, kad išvengti didesnių slopinimų jungiamuosiuose kabeliuose, kurie dažniausiai būna nuo 1 iki 5 metrų ilgio. NI paskirtis – konvertuoti optiniais kabeliais perduodamus žemynkrypčius signalus į radijo dažnio signalą ir aukštynkrypčius radijo dažnio signalus į optinius. Sistemoje naudojant didelį skaičių NI tarp PI ir nutolusių įrenginių yra įterpiamas išplėtimo įrenginys, kuris pagrindinio įrenginio

siunčiamus signalus paskirsto po visus, jam priklausančius nutolusius įrenginius. Tokiu būdu išvengiama didelis skaičius jungiamųjų kabelių tarp PI ir NI, o dėl didelio optinių skaidulų pralaidumo pakanka dviejų skaidulų (žemynkrypčiam ir aukštynkrypčiam perdavimui) tarp pagrindinio įrenginio ir išplėtimo įrenginio. Be to, išplėtimo įrenginys gali teikti elektros maitinimą nutolusiems įrenginiams.

Tiek pagrindiniai, tiek nutolę įrenginiai ir visi aktyviniai sistemos komponentai reikalauja dedikuoto elektros maitinimo. Priklausomai nuo jų tipo, jie gali būti maitinami atskiru maitinimo kabeliu arba panaudojant tą patį kabelį, kuris jungia PI su NI. Pastarasis vadinamas PoE (angl. Power over Ethernet). Praktiškai visoms šiuolaikinėms sistemoms tiekti elektros maitinimą naudojama -48V sistema.

Privalumai:

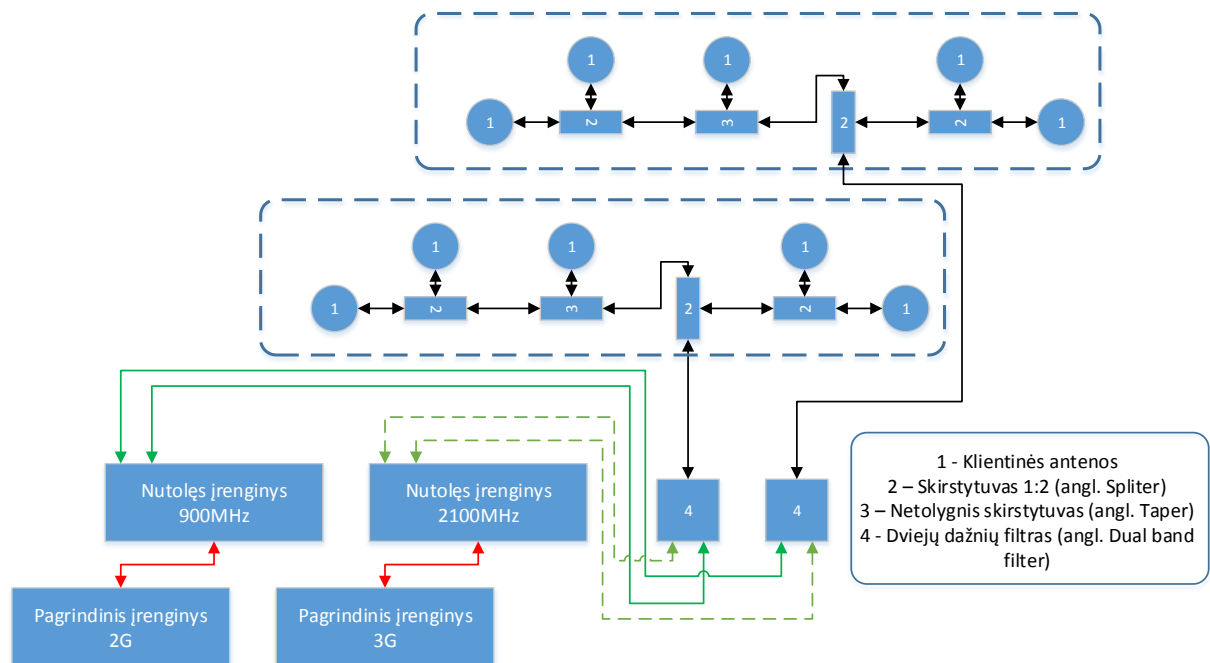
- Projektavimo/planavimo etape gali būti nevertinamas slopinimas kabeliuose;
- Lengvas diegimas lyginant su pasyvia PAS;
- Pilnas sistemos įrenginių monitoringas;
- Nereikalingos didelės galios bazinės stotys, leidžiančios taupyti suvartojamą galią;
- Atskirų NI galios valdymas leidžia užtikrinti paslaugų pateikimo kokybę (aukštas perdavimo spartas ir ryšio aprėptis);
- Aktyvioji PAS pasižymi mažesniu transliuojamu triukšmo lygiu nei pasyvioji.

Trūkumai:

- Aktyviniai komponentai reikalauja maitinimo šaltinio;
- Lyginant su pasyvia PAS, įrangos kaina kur kas didesnė.

2.1.2.3. Hibridinė paskirstytų antenų sistema

Kaip galima suprasti iš pavadinimo suprasti, hibridinė paskirstytų antenų sistema - tai aktyviosios ir pasyviosios PAS kombinacija, kada tinklo architektūroje naudojami tiek aktyvieji, tiek pasyviniai tinklo komponentai. Hibridinėje paskirstytų antenų sistemoje pagrindinis įrenginys konvertuoja radijo dažnio signalą į optinius signalus ir juos perduoda į nutolusius įrenginius, kurie atlieka atvirkštinį vaidmenį. Sekančiai nuo nutolusių įrenginių prijungiama pasyvioji paskirstytų antenų sistema. Tai reiškia, kad radijo dažnio signalo paskirstymui visoms antenoms naudojami seniau aptarti filtrai, skirstytuvai, netolyginiai skirstytuvai, apjungėjai, cirkulatoriai ir t.t.



9 pav. Hibridinė paskirstytų antenų sistema

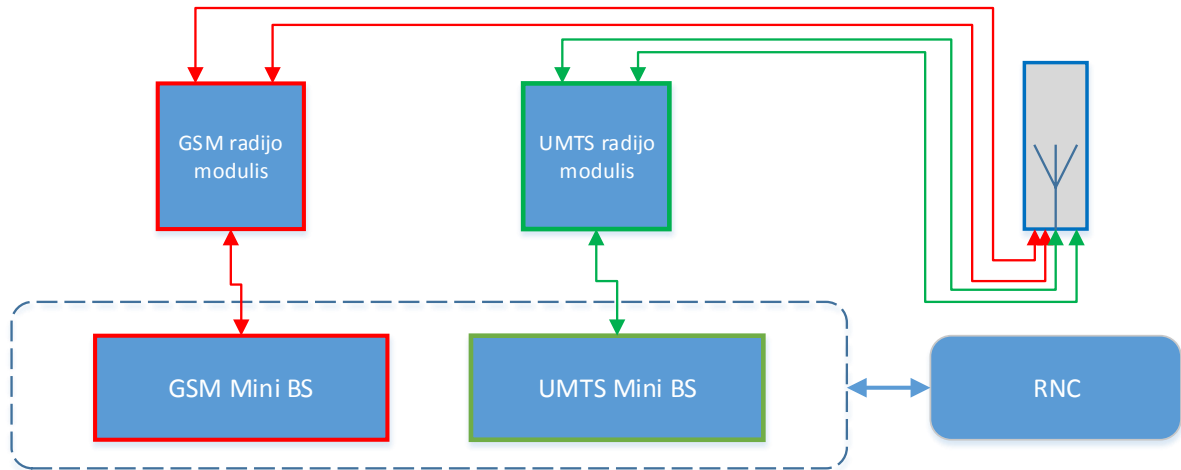
Anksčiau pateiktame 9 pav. pavaizduota hibridinė PAS, kuri gali būti naudojama projektuojamų technologijų aprėpties ir paslaugų kokybės užtikrinimui. Kaip matyti iš 9 paveikslo, panaudojant dviejų dažnių juostų filtrą ir pasyviuosius tinklo komponentus, radijo dažnių signalai paskirstomi daugeliui antenų. Panaudojant šią sujungimo struktūrą nutolę įrenginiai, kurie spinduliuoja aukštą signalo galią, montuojami kuo arčiau pasyviosios tinklo dalies, kad išvengtų didesnių signalo slopinimų kabeliuose ir pasyviuose komponentuose. Didelis signalo slopinimas stipriai įtakoja UMTS, HSPA, bei LTE paslaugų kokybę. Be to, pagrindiniai įrenginiai su nutolusiais įrenginiais jungiami optiniais kabeliais, kas leidžia nevertinti optinio signalo slopinimo ir atstumo tarp jų.

Kaip ir aktyvioje paskirstytų antenų sistemoje, aktyvūs įrenginiai reikalauja dedikuoto elektros maitinimo. Tai turi savų pliusų ir minusų. Aktyviniai nutolę įrenginiai leidžia valdyti jų spinduliuojamą radijo signalo galią atskiriems išėjimo prievadams. Taigi, aukšta išėjimo galia didina radijo ryšio aprėptis, paslaugos kokybę, bet tuo pačiu didina suvartojamą galią. Kita vertus per aukštą spinduliavimo galią padidina triukšmų lygį, didinant interferenciją su išorinių bazinių stočių signalais.

2.1.3. Minibazinės stotys

Minibazinė stotis - tai nedidelės aprėpties, mažo galingumo, korinio ryšio bazinė stotis. Šios bazinės stotys gali būti diegiamos tiek vidaus, tiek lauko sąlygomis, o jų pagrindinis tikslas – padidinti tinklo talpą (vienu metu aptarnaujamų skambučių skaičių ir perduodamų duomenų kiekį). Tokios sistemos dažniausiai instaliuojamos masinio susibūrimo vietose, kuriuose

netenkinami aprėpties ir talpos reikalavimai, o išorinių celių talpos nepakanka. Dėl šių priežasčių radijo ryšio kartotuvų variantas tokiomis sąlygomis yra atmetamas. Didelio susibūrimo vietose kur užtikrinama radijo ryšio aprėptis yra diegiamos papildomos celės, kad sumažinti aplinkinių bazinių stočių apkrautumą.



10 pav. Minibazinės stoties schema

10 pav. pateikta supaprastinta minibazinės stoties schema GSM ir UMTS technologijoms. Schemoje pavaizduota vienos antenos sistema, kitaip sakant vieno sektoriaus, kuomet nutolę radijo moduliai montuojami kuo arčiau antenų. Tačiau norint tokią sistemą panaudoti dideliuose, ne iš vieno aukšto sudarytose pastatuose, galima bazinės stoties ir paskirstytų antenų kombinacija. Tuomet panaudojant pasyvinius komponentus, tas pats radijo signalas gali būti paskirstomas daugeliui antenų. Kita vertus, tokiu atveju atsiranda būtinybė kvalifikuotai įvertinti signalo slopinimą pasyviuose komponentuose. Svarbu paminėti tai, kad bazinei stotiai, kuri generuoja savąją talpą yra būtinas sujungimas su bazinių stočių kontrolieriu RNC (angl. *radio network controller*). Šiuolaikinėse sistemose naudojamos radijo relinės linijos. Reikia paminėti, kad pradama naudoti ir optines linijas, kurios leidžia užtikrinti aukštesnes perdavimo spartas bei mažesnį paketų vėlinimo laiką. Strategiškai svarbios ir korinės bazinės stotys yra apsaugomos papildomu ryšiu, tai reiškia, kad stotis su RNC turi ne vieną sujungimą. Tam panaudojama radijo relinių ir optinių linijų kombinacija.

Vieno mobiliojo ryšio operatoriaus tinkle GSM sistemos talpos padidinimui, galima sujungti keletą celių (minibazinių stočių) į vieną paskirstytą antenų sistemą, kai UMTS ar HSPA technologijoms to atlikti negalima. 3G technologijoms tai sukuria švelnios perkelties (angl. *soft-handover*) zonas ir bendro kanalo (ang. *Co-channel*) interferenciją, kas labai sumažina paslaugos kokybę.[1]

Minibazinių stočių sistemos naudingos ne tik mobiliojo ryšio operatoriui, bet ir paslaugos gavėjui. Operatoriui – užtikrina ryšio padengiamumą vidaus sąlygomis, papildomą talpą, o

klientui – aukštesnes perdavimo spartas, geresnę pokalbių kokybę, bei prailgina telefono aparato baterijos veikimo laiką. Visi paminėti veiksniai priklauso nuo signalo lygio. Kaip žinoma, mobilusis aparatas priimdamas aukšta signalo lygį, tuo pačiu sumažina savo spinduliuojamą galią.

2.2. Opiausios vidaus ryšio diegimo grėsmės

Diegiant vidaus radijo ryšį, dažniausia projektuojami kartotuvai arba mini bazinės stotys, o ryšio aprėpčiai užtikrinti paskirstytų antenų sistemos. Diegiant kiekvieną iš šių sistemų, reikia būti susipažinus su galimomis pagrindinėmis grėsmėmis, kurios įtakoja suprojektuoto ryšio kokybę. Opiausios problemos su kuriomis susiduriama – vidaus ir lauko signalų atskyrimas ir pasyvios intermoduliacijos procesai.

2.2.1. Vidaus ir lauko signalų atskyrimas

Viena iš opiausių problemų su kuria susiduriama diegiant radijo signalo kartotuvus – donorinės ir klientinių antenų spinduliuojamų signalų atskyrimas. Šis atskyrimas apibūdinamas kaip fiksuojamo bazinės stoties signalo lygio skirtumas su kartotuvo sustiprintu signalu, vidaus patalpose. 3GPP TR. 25.956 rekomendacijose apibrėžiama, kad būtinas atskyrimas turėtų būti didesnis kaip 10 – 15dB, nei kartotuvo stiprinimas [4, 8]. Tai gali būti užrašoma 2.1 formule,

$$G_{Kartotuvo} \leq \text{Antenų atskyrimas} - 15dB. \quad (2.1)$$

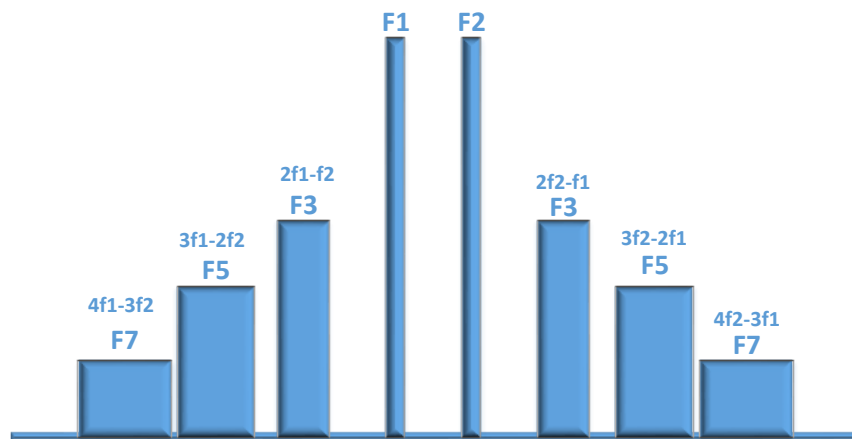
Tinkamas signalų atskyrimas užtikrina efektyvų kartotuvo veikimą, o kartu ir paslaugų kokybę. Kita vertus galimas variantas, kad kartotuvai stiprins paties savo spinduliuojamą signalą, bei interferuos į bazinės stoties spinduliuojamas elektromagnetines bangas.

Tuo atveju jeigu neužtikrinamas atskyrimas vien pastato sienų pagalba ir antenų montavimo vietomis, imamasi papildomų priemonių. Visų pirma galima naudoti antenas su aukštu galinio ir priekinio spinduliavimo lapelio galios santykiu (angl. *back-to-front ratio*). Šis santykis apibrėžiamas - kaip santykis spinduliavimo galios tiesiogine kryptimi su spinduliavimo galia atgaline kryptimi. Kitaip sakant, tai kryptinės antenos, kurių spinduliuotė atgaline kryptimi minimali. Dar vienas būdas padidinti signalų atskyrimą – pastato langų tonavimas metalizuotomis plėvelėmis. Kaip žinoma, metaliniai paviršiai puikiai atspindi elektromagnetines bangas. Metalizuota plėvelė tonuoti langai signalo galią slopina nuo 20dB iki 40dB [1], priklausomai nuo radijo signalo dažnio (kuo aukštesnis signalo dažnis, tuo trumpesnis elektromagnetinės bangos ilgis, todėl tokio signalo skvarba mažesnė)

Apibendrinimui galima pabrėžti, kad signalų atskyrimui užtikrinti ir kartotuvo veikimo efektyvumui padidinti šios priemonės naudojamos kartu, o dažnu atveju, vidaus kryptinės antenos montuojamos ant išorinių pastato sienų.

2.2.2. Pasyvioji intermoduliacija PIM

Projektuojant vidaus radijo ryšį dažniausiai diegiamos paskirstytųjų antenų sistemos, kada vienas koaksialinis kabelis naudojamas siųstuvo ir imtuvo generuojamiems signalams perduoti. Sudėtingos architektūros sistemose vienas magistralinis kabelis ir viena antena gali būti naudojama keleto mobiliojo ryšio operatorių, kurie diegia kelias skirtingas technologijas. Tokiu atveju vienu kabeliu perduodamas nemažas skaičius skirtingų dažnių signalų, kurie sistemoje gali sukelti pasyvosios intermoduliacijos procesus PIM (angl. *Passive Intermodulation*). PIM - tai nepageidaujamos pašalinių dažnių dedamosios, kurios sugeneruojamos netiesiškai sumaišant du arba daugiau dažnių pasyviuosiuose tinklo komponentuose.



11 pav. PIM procesas ir jo produktai

PIM procesas sukuria interferencijos procesus, kai žymiai sumažinamas stoties imtuvo jautrumas. Kitaip sakant, sukuriama pašalinis triukšmo lygis, kuris „paslepia“ naudingą signalą. Dėl šios priežasties sumažėja ryšio kokybė įtakojanti skambučių praradimus, balso kokybę, paketinių duomenų perdavimo spartą ir žemynkrypčio perdavimo aprėptį. Pasyvioji intermoduliacija atsiranda dėl per didelių signalo galių ir nekokybiškų ar neigiamai paveiktų pasyviųjų tinklo komponentų. Aukštos galios signalai gali sugeneruoti PIM signalus didesnės galios nei -80dBm [9].

Jeigu sistemoje naudojami du naudingi signalai, kurių dažniai f_1 ir f_2 , tai pasyvosios intermoduliacijos sukuriama pašaliniai signalai, kurių dažniai gali būti apskaičiuoti sekančiai [9]:

$$\begin{aligned} n \cdot f_1 - m \cdot f_2 \\ n \cdot f_2 - m \cdot f_1 \end{aligned} \quad (2.2)$$

čia f_1 ir f_2 – naudingų signalų dažniai, n ir m – teigiamos konstantos.

Kada $n=1$ ir $m=2$ gaunamas trečios eilės intermoduliacijos produktas, kurio amplitudė yra didžiausia (10 pav. F_3 dedamoji), todėl šios dedamosios daro didžiausią neigiamą poveikį naudingam signalui. Aukštesnės eilės dažniai sukelia žemesnį triukšmo lygį. Sistemose kuriuose

yra didesnis skaičius dažnių, skaičiavimai yra kur kas sudėtingesni. Dėl šios priežasties, tam tikslui naudojama specializuota programinė įranga.

Pagrindinės pasyvios intermoduliacijos atsiradimo priežastys: [10]

- Kabelių jungtys – jungčių sandaroje yra skirtingų metalų sandūros, kurios laikui bėgant oksiduojasi, nors jungtys pagamintos naudojant aukštos kokybės medžiagas. Laikui bėgant jungtys sensta, atsiranda galimybė vandens patekimui, todėl išauga PIM grėsmė;
- Nešvarios ir nepriveržtos jungtys – esant netiksliam plokštumų sujungimui (micro, macro eilės) atsiranda nesuderintas srovės tekėjimas, kas generuoja nehomogeninius elektromagnetinius laukus;
- Oksidacijos procesai tarp skirtingo metalo jungčių ar perėjimų;
- Jungiamieji kabeliai – pasyvios intermoduliacijos procesas gali atsirasti kabelio galuose, t.y sandūroje kabelio su jungtimi, dėl nekokybiško jungties sumontavimo;
- Aukštos signalų galios – generuojant žemo lygio signalus PIM procesas gali būti sunkiai aptinkamas, kadangi jo lygis gali būti žemesnis už terminį triukšmą. Sumažinus siųstuvo galią 1dB, trečios eilės intermoduliacijos dedamoji sumažėja apie 3dB [9].

2.3. Radijo bangų sklidimo, vidaus sąlygomis, prognozavimas

Norint suprojektuoti kokybišką vidaus radijo ryšį būtina įvertinti radijo bangų sklidimą pastatų viduje, kas leidžia prognozuoti radijo signalo stiprumą skirtinguose atstumuose (imtuvo vietoje) nuo siųstuvo. Dažniausiai šiam tikslui naudojama specializuota programinė įranga, kurios veikimas paremtas radijo bangų sklidimo teoriniais ir empiriniais prognozavimo modeliais. Kaip žinoma, empirinių modelių matematinės išraiškos sudarytos remiantis praktiniais matavimais tam tikrose aplinkose. Teoriniai modeliai yra paremti teoriniais elektromagnetinių bangų sklidimo dėsniais, todėl jie yra detalesni, įvertinantys didesnę skaičių faktorių, kurie gali lemti radijo bangų sklidimą. Dėl šios priežasties jų skaičiavimo laikas žymiai ilgesnis, lyginant su empiriniais modeliais, bet pasižymi didesniu tikslumu [12]. Vidaus sąlygomis naudojami teoriniai prognozavimo modeliai apima pastatų išplanavimo aprašymą, kas dažnu atveju yra sudėtingas procesas.

Svarbiausi procesai, kurie lemia radijo bangų sklidimą vidaus sąlygomis ir yra įvertinami prognozavimo modeliais [11]:

1. Atspindžiai ir difrakcija nuo kliūčių pastato viduje;
2. Signalų slopimai radijo bangoms sklindant per sienas, tarp aukštų ir vidaus kliūčių, bei slopimo vertinimas laisvoje erdvėje;
3. Radijo bangų (spinduliuojamos galios) kryptis;
4. Žmonių judėjimas pastato viduje;
5. Daugkartiniai signalų atspindžiai dėl difrakcijos ir refleksijos;
6. Poliarizaciniai nykimai dėl atsitiktinės mobilaus įrenginio orientacijos.

Visi aukščiau aptarti procesai stipriai priklauso nuo naudojamo radijo bangų dažnio, didėjant dažniui didėja negatyvus poveikis į radijo bangų sklidimą.

Yra keletas empirinių ir teorinių prognozavimo modelių, tinkančių radijo bangų sklidimo prognozavimui vidaus sąlygomis. Empiriniai modeliai – eksponentinis slopimo modelis (angl. *path loss exponent*), Ericsson atskaitos taškų modelis (angl. *Ericsson multi breakpoint*) ir Keenan – Motley modelis [12]. Teoriniai modeliai – spindulių sekimo (angl. *ray-tracing*), FDTD (angl. *finite-difference time-domain*) [12].

Prognozavimo modelio pasirinkimas ir jo skaičiavimo tikslumas pagrindinai priklauso nuo keleto svarbių veiksnių – telekomunikacinės sistemos kuriai skaičiuojama aprėptis ir ryšio aplinkos kurioje atliekamas projektavimas. Aptarsime modelius tinkančius radijo signalo stiprumui prognozuoti vidaus sąlygomis.

2.3.1. Anderson 2D prognozavimo modelis

Anderson radijo bangų sklidimo prognozavimo modelis skirtas signalo stiprio prognozavimui dažnių ruože nuo 30 MHz iki 60 GHz [13]. Šis modelis gali būti naudojamas dviem skirtingais būdais, kurie priklauso nuo radijo bangų sklidimo kelio tarp siųstuvo ir imtuvo. Taigi, visų pirma nustatoma ar radijo bangos sklinda tiesioginio ar netiesioginio matomumo sąlygomis [14].

Tiesioginio matomumo sąlygomis Anderson prognozavimo modelis remiasi laisvosios erdvės sklidimo modelio matematinėmis išraiškomis ir papildomai įvertina dar du veiksnius. Laisvoje erdvėje radijo bangų slopimas aptašomas formule:

$$L_{dB} = 32,5 + 20(\log(f)) + (\log(d)), \quad (2.3)$$

čia f – dažnis (MHz), d – atstumas (km).

Visų pirma įvertinamas pirmosios Frenelio zonos „švarumas“. Kitaip sakant, būtina įvertinti ar elektromagnetinių bangų sklidimo kelyje nėra uždengta pirmoji Frenelio zona.

Nustatyta, kad papildomas slopinimas fiksuojamas atsiradus kliūčiai 0,6 pirmosios Frenelio zonos dalyje [14]. Toks slopinimas gali kisti nuo 0 dB iki 6 dB kaip tiesinė funkcija, priklausomai nuo Frenelio zonos uždengimo. Antrasis veiksnys, įtakoiantis signalo slopinimą – atspindžiai nuo žemės paviršiaus, kurie įvertinami nustatant spindulio kampą kiekviename taške tarp siųstuvo ir imtuvo. Remiantis literatūra, slopinimas dėl atspindžių nuo žemės paviršiaus gali kisti nuo -6 dB iki 25 dB [14]. Tai reiškia, kad priklausomai nuo spindulio fazės kampo, atspindėtas signalas gali tiek sustiprinti priimamą signalą, tiek jį slopinti. Praktiškai projektuojant mobilųjį ryšį yra neišvengiamas pirmosios Frenelio zonos uždengimas.

Netiesioginio matomumo sąlygomis Anderson prognozavimo modelis remiasi prielaida, kad ištisą radijo bangų sklaidimo kelyje esančių kliūčių ruožą, galima pakeisti dviem smailiomis kliūtėmis (angl. *knife – edge*), vieną kliūtį naudojant kliūčių ruožo pradžioje, o kitą pabaigoje. Šiuo atveju kliūčių aukščiai naudojami tokie patys, kurie fiksuojami ištisinio kliūčių ruožo pradžioje ir pabaigoje. Nesunku suprasti, kad galimas slopinimas signalo sklaidimo kelyje nuo siųstuvo iki pirmos kliūties ir analogiškai nuo paskutinės kliūties iki imtuvo. Tokiu atveju reiktų įvertinti anksčiau aptartą 0,6 pirmosios Frenelio zonos švarumą.

2.3.2. COST 231 daugelio sienų (angl. *Multi wall*) prognozavimo modelis

COST 231 Multi - Wall prognozavimo modelis taip pat naudojamas radijo signalo stiprio skaičiavimams pastatų vidaus sąlygomis. Šis modelis įvertina elektromagnetinių bangų sklaidimą laisvoje erdvėje ir jų nykimą pereinant sienas. Be to, šis modelis remiasi prielaida, kad spindulio kelias tarp siųstuvo ir imtuvo yra tiesioginis. Modelis neįvertina bangų sklaidimo tarp pastato aukštų, todėl jis gali būti naudojamas tik vieno aukšto pastate. COST 231 Multi – Wall modelio matematinė išraiška [15]:

$$L_{dB} = L_{0,dB} + 20(\log_{10}(d)) + \sum_{i=1}^{k_w} k_{wi} \cdot L_{wi}, \quad (2.4)$$

čia $L_{0,dB}$ – elektromagnetinių bangų slopinimas laisvoje erdvėje (dB), k_{wi} – skirtingos medžiagos sienų skaičius, L_{wi} – atitinkamo sienos tipo slopinimas (dB), d – atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo (m).

Praktikoje skirtingų sienų slopinimas yra suskirstomas į dvi pagrindines grupes [15]. Šiais sienų tipais remiamasi prognozuojant radijo bangų sklaidimą vidaus sąlygomis, kada naudojamas COST 231 Milti – Wall modelis.

2.1 lentelė. Sienų tipai ir jų slopinimai, COST 231 Multi – Wall modeliui [15,16]

<i>Sienos tipas</i>	<i>Apibūdinimas</i>	<i>Slopinimo reikšmė, dB</i>
L_{w1}	Plonos sienos (Gipso sienos, plonesnės nei 10cm betono sienos)	3,4 dB
L_{w2}	Sienos storesnės nei 10 cm (betono, plytų sienos)	6,9 dB

3GPP techninėje specifikacijoje (3G TR 25.951 V0.0.1) apibrėžiama, kad COST 231 vidaus sąlygų modelis gali būti naudojamas ir keleto aukštų pastate, tik šiuo atveju naudojama 2.5 formulė [16]:

$$L_{dB} = 37 + 20(\log_{10}(d)) + \sum_{i=1}^{k_w} k_{wi} \cdot L_{wi} + 18,3 \cdot n^{\frac{(n+2)}{(n+1)} - 0,46}, \quad (2.5)$$

čia d – atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo (m), k_{wi} – skaičius i tipo sienų, L_{wi} – slopinimas i tipo sienos (dB), n – skaičius pereinamų aukštų.

2.3.3. COST 231 sienų vidurkinimo (angl. *Average walls*) prognozavimo modelis

COST231 Average walls bangų sklidimo prognozavimo modelis yra labai panašus į prieš tai aptartą COST 231 Multi – Walls modelį. Šiuo atveju modelyje naudojamas vienas parametras, kuris apibūdina sienų įnešamą slopinimą - L_w . Taigi bendroji COST 231 Average walls modelio išraiška [15]:

$$L_{dB} = L_{0,dB} + 20(\log_{10}(d)) + k_w \cdot L_w, \quad (2.6)$$

čia $L_{0,dB}$ – elektromagnetinių bangų slopinimas laisvoje erdvėje (dB), k_w – pereinamų sienų skaičius, L_w – suvidurkintas visų sienų slopinimas (dB).

Realiomis sąlygomis skirtingos sienos turi skirtingą radijo bangų slopinimą, tačiau COST 231 Average walls modelyje naudojamas vienas parametras L_w , kuris apskaičiuojamas kaip visų sienų slopinimo aritmetinis vidurkis [15].

2.3.4. Motley – Keenan prognozavimo modelis

Sekantis radijo bangų prognozavimo modelis, tinkantis vidaus ryšio planavimui – Motley-Keenan. Panašiai kaip ir ankščiau aptarti modeliai, šis taipogi įvertina radijo bangų sklidimą per sienas ir aukštus, kada jų įnešamas slopinimas priklauso nuo jų storio ir medžiagos. Pagal šį modelį to pačio storio ir tos pačios medžiagos sienos arba lubos/grindys sukelia pastovų slopinimą, nepriklausomai nuo sienų skaičiaus esančių radijo bangų sklidimo kelyje [17].

Motley – Keenan matematinė išraiška [2]:

$$L_{dB} = 32,5 + 20(\log(f)) + 20(\log(d)) + K + P \cdot W(k) + k \cdot F(k), \quad (2.7)$$

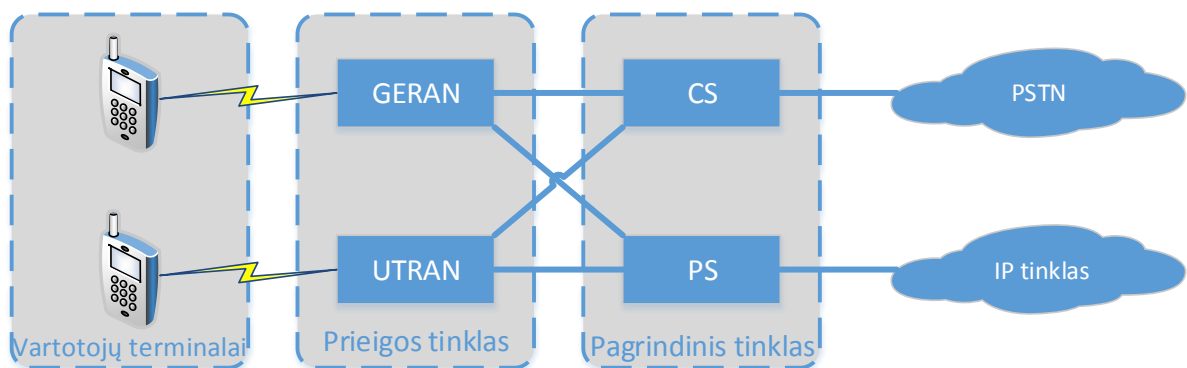
čia f – siųstuvo dažnis (MHz), d – atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo (km), K – tiesioginio spindulio tarp siųstuvo ir imtuvo pereinamų grindų/lubų skaičius, P – tiesioginio spindulio tarp siųstuvo ir imtuvo pereinamų sienų skaičius, W – sienų slopinimo koeficientas, F – grindų/lubų slopinimo koeficientas.

3. JUDRIOJO RYŠIO TECHNOLOGIJŲ APŽVALGA

Šiame poskyryje trumpai apžvelgiamos judriojo ryšio technologijos, pagrindiniai principai ir apibendrintos struktūros. Detaliai technologijos neanalizuojamos, nes atliekamas projektas orientuotas į ryšio aprėpties ir tinklo talpos projektavimą, o ne į detalų technologinio tinklo realizavimą. Kadangi mobilusis vidaus ryšys projektuojamas GSM (angl. *Global System for Mobile Communications*), UMTS (angl. *Universal Mobile Telecommunication System*) ir LTE-A (angl. *Long – Term Evolution Advanced*) technologijoms, jas trumpai apžvelgsime. Kaip žinoma LTE-A technologija neseniai pradėta naudoti mobiliojo ryšio operatorių tinkluose, dėl šios priežasties, išsamiau apžvelgiamos joje naudojamos technikos, kurios leidžia pasiekti aukštas perdavimo spartas.

3.1. GSM ir UMTS technologijų apžvalga

Mobiliųjų tinklų istorijoje matomas hierarchinis technologijų tobulėjimas, kai UMTS technologija išsivystė iš GSM, o LTE technologijos iš UMTS sistemų. Kartu visas šias technologijas galima pavadinti viešuoju antžeminiu telekomunikaciniu tinklu PLMN (angl. *public land mobile network*). GSM ir UMTS technologijoms realizuoti naudojama viena tinklo architektūra (12 pav).



12 pav. Apibendrinta UMTS ir GSM tinklo struktūra

Kaip matyti iš anksčiau pateikto paveikslo, UMTS ir GSM tinklo architektūrą sudaro trys pagrindinės dalys. Be abejo, prieigos ir pagrindinis tinklai gali būti išskaidomi į kur kas sudėtingesnę struktūrą. Pagrindinio tinklo svarbiausios dalys – grandinių komutavimo dalis CS (angl. *circuit switched*) ir paketų komutacijos dalis PS (angl. *Packet switched*).

CS perduoda tinklo vartotojų skambučius to pačio operatoriaus tinkle, į kitų operatorių tinklus bei į PSTN. Grandinių komutavimo metu perdavimo linija dedikuojama dviem vartotojams, todėl informacija perduodama fiksuota sparta su minimaliu vėlinimu.

PS skirtas paketinių duomenų srauto valdymui, kuomet IP duomenys perduodami tarp

tinklo vartotojų ar išorinių IP tinklų. Tam tikslui perduodami duomenys suskaidomi į atskirus paketus, turinčius informacijos antraštes, kurios reikalingos paketų maršrutizacijai ir taisyklingam duomenų atstatymui. Duomenys tinkle į tikslą nukreipiami maršrutizatorių pagalba. Kitaip nei CS, paketų komutacijos tinklo resursais naudojasi visi tinkle esantys vartotojai, todėl perdavimo sparta ir tinklo vėlinimas kinta priklausomai nuo vartotojų skaičiaus.

Prieigos tinklas valdo tinklo vartotojų komunikaciją su pagrindiniu sistemos tinklu. GSM ir UMTS sistemose išskiriami du skirtingi prieigos tinklai – GERAN (angl. *GSM EDGE Radio Access Network*) ir UTRAN (angl. *UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Šiuose prieigos tinkluose naudojamos skirtingos komunikacijos, perdavimo technologijos, tačiau bendras pagrindinis tinklas.

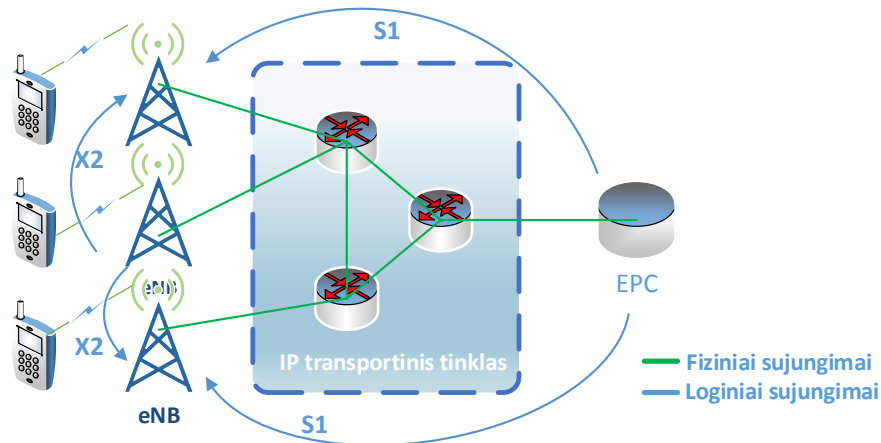
Prieigos tinkle esančios bazinės stotys yra prijungiamos prie bazinių stočių kontrolierio. GERAN tinkle kontrolieris vadinamas BSC (angl. *Base Station Controller*), o bazinės stotys BTS (angl. *Base Transceiver Station*). UTRAN tinkle kontrolieris vadinamas RNC (angl. *Radio Network Controller*), o bazinės stotys Node B. [21] Kontrolierių pagalba balsas ir duomenys yra perduodami tarp BS ir pagrindinio tinklo. Be to, šie įrenginiai signalizacijos signalais valdo komunikaciją tarp mobiliųjų įrenginių ir bazinių stočių.

3.2. LTE-A technologijos apžvalga

LTE-A - tai patobulinta mobiliosios LTE technologijos versija, kurios techniniai reikalavimai buvo standartizuoti 3GPP organizacijos. Pagrindinis reikalavimas, kuris buvo iškeltas 3GPP - tai itin aukšta duomenų perdavimo sparta, kuri turėtų siekti iki 1Gbit/s žemynkryčiam perdavimui ir iki 500Mbit/s aukštynkryčiam perdavimui panaudojant iki 5 nešančiųjų dažnių, kurių dažnių juostos plotis 20 MHz. Tokios perdavimo spartos turėtų būti pasiektos išlaikant esamą LTE radijo dažnio spektrą be neigiamo poveikio esamiems LTE vartotojų įrenginiams, kai LTE UE galėtų veikti LTE-A celėje ir atvirkščiai. Duomenų perdavimo spartos, kurios turėtų siekti iki 1Gbit/s, gali būti realizuojamos dviejų pagrindinių technologijų pagalba – nešančiųjų dažnių sumavimu/apjungimu (angl. *carrier aggregation*) ir MIMO technologija (angl. *multiple input, multiple output*).

3.2.1. Apibendrinta LTE-A tinklo struktūra E-UTRAN

E-UTRAN (angl. *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*) paskirtis – valdyti radijo ryšio sujungimus tarp mobiliųjų įrenginių ir ePC (angl. *evolved Packet Core*). Pagrindinis E-UTRAN tinklo komponentas, LTE-A bazinės stotys, dar vadinamos eNB (angl. *evolved Node B*). 13 paveiksle pateikta supaprastinta LTE tinklo struktūra.



13 pav. Supaprastinta E-UTRAN tinklo schema

Nesigilinant į detalią IP transportinio tinklo ir ePC struktūras, LTE tinklo pagrindinės dalys yra LTE bazinės stotys, IP transportavimo tinklas ir ePC. Bazinių stočių pagrindinė užduotis - valdyti vartotojų terminalus, siunčiant signalizacijos informaciją, kuri skirta perkelties (angl. *handover*) komandoms, bei perduodamų duomenų valdymui. LTE technologijoje, kurią lyginant su UMTS ir GSM technologijomis, nėra švelnios perkelties procesų (angl. *soft handover*), o tai reiškia, kad vienu metu mobilusis įrenginys komunikuoja tik su viena eNB ir viena cele. Kaip matyti iš 13 pav., E-UTRAN naudojamos S1 ir X2 signalizacijos sąsajos. S1 signalizacijos sąsaja naudojama signalizacijos informacijai perduoti tarp bazinių stočių ir ePC, o X2 – signalizacijos perdavimui ir paketinių duomenų peradresavimui perkelties metu tarp gretimų eNB. X2 sąsaja naudojama tik tarp gretimų bazinių stočių, tuo atveju jeigu signalizacija ar duomenys perduodami tarp nutolusių eNB, naudojama S1 sąsaja, kuomet padidėja duomenų perdavimo laikas.

E-UTRAN IP transportinis tinklas naudojamas duomenims perduoti tarp tinklo komponentų, todėl kiekvienas tinkle esantis įrenginys ir kiekviena eNB turi priskirtą IP adresą. Priklausomai nuo konfigūracijos ir protokolų palaikymo gali būti priskirtas tiek IPv4 arba IPv6 adresas. Taigi transportiniame tinkle signalizacijos informacija ir duomenys į tikslą nukreipiami maršrutizatorių pagalba, kuomet inicijuojami loginiai S1 ir X2 sujungimai.

LTE tinklo architektūroje numatytos palyginti labai mažos aprėpties BS, dar vadinamos *namų eNB* (angl. *home eNB*), kurios naudojamos užtikrinti ryšį vidaus sąlygomis. Toks sprendimas ryšio operatoriams leidžia sumažinti išorinių makrocelių apkrovimą. Namų eNB pasižymi mažu galios suvartojimu, gali sukurti tik vieną celę, bei nepalaiko X2 sąsajos. S1 sąsaja ir duomenų perdavimas šioms eNB gali būti realizuojamas tiesioginiu sujungimu su ePC, pasinaudojant interneto tiekėjo linijomis.

3.2.2. Nešančiųjų dažnių apjungimas

Nešančiųjų dažnių apjungimas yra viena svarbiausių technikų, leidžiančių žymiai padidinti duomenų perdavimo spartas LTE-A technologijoje. 3GPP 10 - tame leidime pasiūlytas CA leidžia išnaudoti visą LTE naudojamą dažnių juostą, kuri siekia iki 100 MHz, apjungiant iki 5 nešančiųjų dažnių, literatūroje dar vadinamų sudedamųjų nešlių CC (angl. *Component carrier*). CA gali būti konfigūruojamas skirtingai aukštynkrypčiam ir žemynkrypčiam duomenų perdavimui, su apribojimu, kad aukštynkrypčio perdavimo CC skaičius negali viršyti žemynkrypčio. Sudedamųjų nešlių dažnių juostos pločiai gali būti skirtingi – 1.4, 3, 5, 10, 15, arba 20 MHz [18]. Galimi trys CA būdai – vienos dažnių juostos gretutinių CC apjungimas (angl. *Intra-band contiguous*), vienos dažnių juostos ne gretutinių CC apjungimas (angl. *Intra-band non-contiguous*) ir skirtingų dažnių juostų ne gretutinių CC apjungimas (angl. *Inter-band non-contiguous*). Kaip skirtingos dažnių juostos gali būti naudojami 800 MHz ir 2600 MHz dažniai.

Paprasčiausias būdas – vienos dažnių juostos gretutinių nešlių apjungimas, kada atskyrimas tarp centrinių nešlių dažnių yra 300 kHz. Tačiau dėl operatoriaus turimo spektro apribojimo šis variantas ne visada yra įmanomas. Todėl, dažnai naudojamas vienos dažnių juostos tačiau negretutinių nešlių apjungimas.



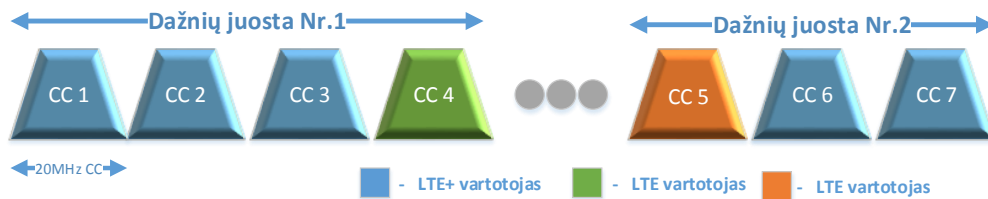
14 pav. Vienos dažnių juostos gretutinių nešlių apjungimas



15 pav. Vienos dažnių juostos ne gretutinių nešlių apjungimas

Kaip matyti iš anksčiau pateiktų paveikslėlių, viena dažnių juosta gali naudotis tiek LTE, tiek LTE-A vartotojai, tačiau jiems priskiriami skirtingi CC. Pvz. iš 14 pav. matyti, kad LTE vartotojas naudoja 20MHz juostą, kai tuo tarpu LTE-A vartotojas naudojasi 100 MHz juosta. Taigi abi technologijos tinkle visiškai suderinamos, o jų perduodamų duomenų sparta priklauso nuo sukuriama kanalo pločio.

16 pav. pateiktas skirtingų dažnių juostų, ne gretutinių CC apjungimas. Kaip matyti iš paveikslo, LTE-A vartotojas gali naudoti sudedamuosius nešlius iš skirtingų juostų, kai jų juostos plotis gali būti skirtingas. Priklausomai nuo perdavimo sąlygų, reikalaujamos duomenų spartos, ir QoS reikalavimų, naudojami skirtingi nešlių skaičiai.



16 pav. Skirtingų dažnio juostų, ne gretutinių CC apjungimas

Nešlių apjungimas LTE-A technologijoje leidžia ne tik padidinti perdavimo spartas, bet ir praplėsti bazinės stoties ryšio aprėptį, kuri apribojama aukštykrypčio perdavimo. Reikia pabrėžti tai, kad aprėptis gali būti padidinama tik ne aukštomis perdavimo spartoms, kadangi reikiamą perdavimo spartą galima pasiekti naudojant žemesnio lygio moduliacijos ir kodavimo schemas, bet naudojant platesnės juostos kanalus. Kaip žinoma, žemesnio lygio moduliacijos ir kodavimo algoritmai leidžia sumažinti galios biudžeto reikalavimus. NOKIA Networks LTE-A tinklo ryšio aprėpties padidinimui siūlo naudoti žemesnio dažnio juostą aukštykrypčiam perdavimui, o žemykrypčiam perdavimui aukštesnio ir žemesnio dažnio juostas [19].

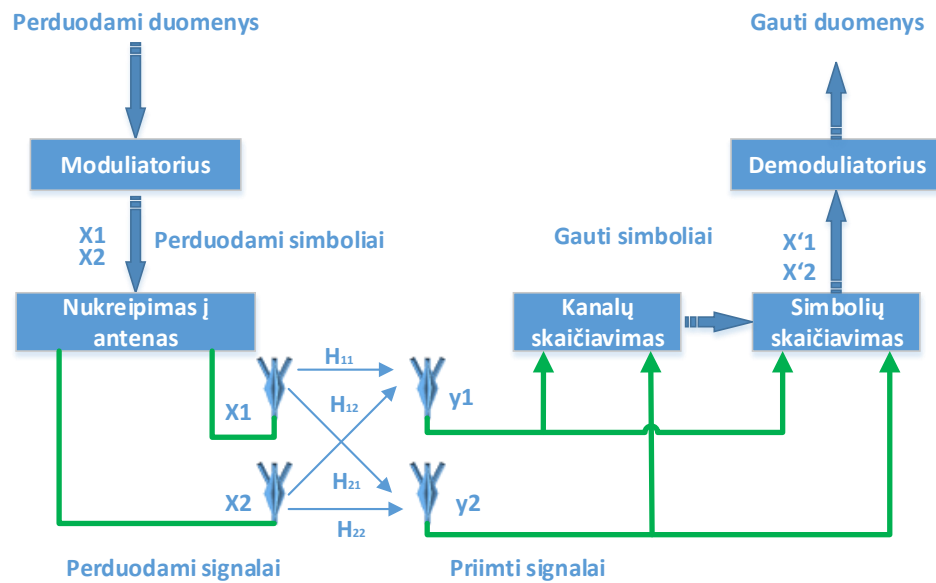
3.2.3. LTE-A naudojama MIMO technologija

LTE-A technologijoje naudojama MIMO (angl. *multiple input multiple output*) technika dažnai vadinama erdvinio signalo multipleksavimu (angl. *Spatial multiplexing*). Tokia MIMO forma naudojama perduodamų duomenų kiekiui padidinti, kai signalų perdavimui siųstuvai ir imtuvai naudoja keletą antenų. Taigi, perdavimo spartos padidinimui duomenų srautas lygiagrečiai siunčiamas tarp atskirų antenų.

17 pav. pateikta apibendrinta MIMO erdvinio multipleksavimo sistema, kai imtuvai ir siųstuvai naudoja po dvi antenas. Siunčiamajame dalyje perduodami duomenys paskirstomi abiem antenoms vienu metu, taip padidinant perdavimo spartą dvigubai. Taigi duomenys perduodami vienu metu skirtingais signalais, o priimti signalai susumuojami. Priimamas signalas matematiškai gali būti užrašomas [21]:

$$\begin{aligned} y_1 &= H_{11}x_1 + H_{12}x_2 + n_1 \\ y_2 &= H_{21}x_1 + H_{22}x_2 + n_2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

čia x_1 ir x_2 - perduodami signalai, y_1 ir y_2 - priimti signalai, n_1 ir n_2 - priimtas triukšmas ir interferencijos lygis. H_{ij} kintamasis aprašo perduodamų simbolių slopinamą ir signalo fazės pasikeitimą juos perduodant iš siųstuvo j į imtuvą i .



17 pav. Apibendrinta MIMO 2x2 erdvinio multipleksavimo schema

Kuomet duomenų perdavimas vyksta tarp vieno UE ir vienos eNB toks MIMO vadinamas – SU-MIMO (angl. *single user MIMO*). Praktikoje mobiliųjų operatorių tinkluose, toks perdavimai beveik nesutinkamas. Dažniausiai fiksuojamas MU-MIMO (angl. *multiple user MIMO*) režimas, kada eNB MIMO naudojasi daugelis UE.

Nereikia pamiršti ir to, kad MIMO technologija gali būti naudojama ryšio aprėpties padidinimui atliekant spindulio formavimą (angl. *beam forming*), bei SNR lygio gerinimui.

4. VIDAUS JUDRIOJO RYŠIO PROJEKTAVIMAS

Vidaus judriojo ryšio projektavimą apima:

1. Telekomunikacinės įrangos ir tinklo komponentų parinkimas;
2. Pasirinkto logistikos sandėlio radijo ryšio padengimo apskaičiavimas, kai nustatomas reikalingas antenų skaičius, padengimui užtikrinti;
3. Detalus tinklo struktūros sudarymas, nurodant tinklo komponentų montavimo vietas;
4. Vartotojų sukuriamų srautų įvertinimas projektuojamoms technologijoms.

4.1. Telekomunikacinės sistemos ir įrangos parinkimas

Vidaus ryšio projektavimo metu yra parenkama telekomunikacijų sistema, kuri reikalinga norint užtikrinti vidaus ryšio aprėptį ir reikalingą sistemos talpą. Atsižvelgiant į augantį poreikį duomenų perdavimo spartoms, didėjantį skaičių vartotojų, naudojančių naujos kartos technologijas, projektui įgyvendinti pasirinkta diegti ir projektuoti vidaus ryšio bazinę stotį. Taigi, pagrindinė priežastis, kodėl pasirinktas BS variantas – savosios talpos generavimas, kuomet papildomai neapkraunama išorinė makrobazinė stotis. Kartotuvo diegimo atveju visas logistikos sandėlyje sugeneruotas srautas, apkrautų išorinę stotį, tuomet pablogėja jos paslaugos kokybė, duomenų perdavimo spartos ir prarandama daugiau skambučių.

Vienas iš nurodytų reikalavimų parenkant projekto telekomunikacinę įrangą – įrangos suderinamumas su jau naudojama UAB „Tele2“ mobiliojo ryšio operatoriaus telekomunikacine įranga. Kadangi šio operatoriaus mobilusis tinklas paremtas „Nokia Networks (NOKIA)“ telekomunikacine įranga [22], šiam projektui įgyvendinti ji ir bus naudojama. „Nokia Siemens Networks“ siūlo platų spektrą bazinių stočių diegimo sprendimų, priklausomai nuo sistemos talpos ir aprėpties reikalavimų.

4.1.1. Projektuojamo vidaus tinklo bazinė stotis

Kaip minėjome anksčiau, vidaus judriojo ryšio tinklo projektui įgyvendinti, pasirinkta projektuoti „Nokia Siemens Networks“ GSM, UMTS, LTE ir LTE-A technologijų bazinę stotį. NOKIA siūlo judriojo ryšio sprendimus tiek mažos aprėpties, tiek plataus diapazono tinklams. Mažiems tinklams diegti NOKIA siūlo UMTS arba LTE *Flexi Zone Indoor Pico BTS*, kur viename modulyje integruota antena ir sisteminis modulis. Tačiau šios BTS skirtos labai siauros aprėpties zonoms padengti, o didesnių pastatų padengimui užtikrinti reikalingas didelis jų skaičius. Be to, *Pico BTS* nepalaiko GSM technologijos, taigi norint suprojektuoti visų

technologijų tinklą, kuris galėtų būti modernizuojamas prijungiant kitus ryšio operatorius, šis variantas yra atmetamas.

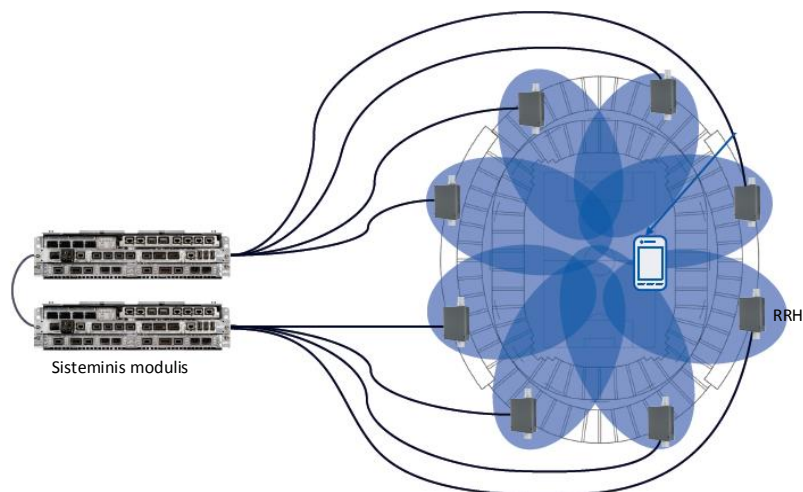


18 pav. „NOKIA Networks“ Flexi Zone Indoor Pico BTS [23]

Projektuojamo tinklo realizavimui pasirinkta naujai „NOKIA“ siūloma *Flexi Multiradio 10* bazinė stotis, kai vienas sisteminis modulis, gali palaikyti GSM/EDGE, WCDMA/HSPA+ ir LTE/LTE-A technologijas [24] vienu metu. Tai modulinės struktūros bazinė stotis, suteikianti itin aukštas duomenų perdavimo spartas, o talpos plėtimui galimas papildomų arba esamų plėtimo modulių keitimas. Ši bazinė stotis komplektuojama su trijų sektorių *Flexi RF Module* arba vienos sektoriaus *Remote Radio Heads (RRH)* radijo moduliais. Šie radijo moduliai dažniausiai montuojami netoli antenų, kad išvengtų didesnių signalo slopimų jungiamuosiuose kabeliuose. Dėl galimų didelių atstumų ir aukštų duomenų perdavimo spartų *RF* ir *RRH* moduliai su sisteminiu moduliu jungiami optiniais kabeliais. Priklausomai nuo naudojamų technologijų, radijo moduliai projektuojami skirtingų dažnių. Šiuo tinklo atveju, bus projektuojami *RRH* moduliai:

- GSM technologijai – *RRH* 900 MHz;
- UMTS technologijai – *RRH* 2100 MHz;
- LTE ir LTE-a technologijoms – *RRH* 800 MHz ir *RRH* 2600 MHz.

Kodėl pasirinkti *RRH* radijo moduliai, o ne *Flexi RF* moduliai? Kadangi vidaus judriojo ryšio tinklo padengiamumui užtikrinti bus projektuojama hibridinė paskirstytų antenų sistema, kurioje panaudojant pasyvinius tinklo komponentus, *RRH* generuojami signalai išvedami į vieną perdavimo liniją. Dėl šios priežasties nėra tikslo projektuoti 3 sektorių *Flexi RF* radijo modulių. 19 pav. pateikta supaprastinta bazinės stoties schema, kai atskiriems sektoriams sukurti yra montuojami atskiri radijo moduliai.



19 pav. Supaprastinta NOKIA Flexi Multiradio 10 BTS struktūra

„Nokia Siemens Networks“ teigia, kad ši bazinė stotis suteikia apie 10 Gbps sistemos talpą [24], kas yra apie dešimt kartų daugiau, nei siūloma ankstesnėse BS kartuose. Svarbu paminėti ir tai, kad sistemos talpos dydis priklauso nuo turimos licencijos ir sumontuotų modulių. Ši naujos kartos *Flexi Multiradio10* BS yra pilnai suderinama su ankstesnės kartos stotimis, todėl tinkama atnaujinant jau esamą bazinių stočių tinklą.

Lentelės pavidalu pateikiamos pagrindinės, projektavimui reikalingos, šios bazinės stoties techninės specifikacijos.

4.1 lentelė. *Flexi Multiradio10* techninė specifikacija [24]

<i>Instaliacijos tipas</i>	Lauko arba vidaus sąlygomis
<i>Galimos dažnių juostos</i>	Tinkama visiems 3GPP nurodomos dažnių juostoms
<i>Radio modulių specifikacija:</i> <i>Trijų sektorių RF modulio išėjimo galia:</i> <i>RRH modulio išėjimo galia:</i>	3 x 60 W ant išėjimo antenos jungties 2 x 40 W ant išėjimo antenos jungties
<i>Didžiausia sistemos talpa</i>	<ul style="list-style-type: none"> • GSM – 216 siųstuvai (angl. <i>transceivers</i>) • WCDMA – apie 13,6Gbps parsuntimas, 3,8 Gbps išsiuntimas ir 18000 kanalo elementų • LTE/LTE-A – 12Gbps parsuntimas, 4 Gbps - išsiuntimas
<i>Energijos tiekimas</i>	40,5 – 57 VDC 0-276 VAC ir 184 – 276 VAC su galios moduliu
<i>Galios suvartojimas</i>	Apie 1kW GSM, WCDMA ir LTE/LTE-A vienu metu
<i>Svoris</i>	Flexi RF modulis – 25 kg RRF modulis – 17 kg Flexi Multiradio sisteminis modulis: Lauko sąlygų nuo 10,1 iki 19,7 kg Vidaus sąlygų nuo 6,3 kg iki 9,7 kg.

4.2. Logistikos sandėlio ryšio padengimo įvertinimas

Logistikos sandėlio vidaus ryšio padengiamumas įvertinamas „Aerohive Networks“ Wi-Fi planavimo įrankiu, kuris radijo signalo sklaidimo sąlygas įvertina 2,4 GHz ir 5 GHz dažnių diapazonuose. Kadangi projektuojamų technologijų dažniai yra artimi arba žemesni 2,4 GHz (GSM – 900 MHz, UMTS – 2100 MHz ir LTE/LTE-A 800 MHz ir 2600 MHz), planavimo metu priimta prielaida, kad šių trijų technologijų ryšio aprėptis yra didesnė arba artima, kuri gaunama skaičiuojant aprėptį prie 2,4 GHz dažnio.

Šis įrankis pasirinktas dėl laisvai prieinamų vidaus radijo ryšio planavimo įrankių stokos, bei dėl „Aerohive Networks“ grafinės sąsajos patogumo. Norint pradėti naudotis šiuo įrankiu pakanka užsiregistruoti <https://cloud-ie.aerohive.com> internetinėje svetainėje. Šis įrankis leidžia panaudojant Google žemėlapi sukurti norimo pastato perimetrą, nustatant tikslus pastato matmenis, jo tipą, bei nurodant sienų ir aukštų slopinimo reikšmes. Ryšio padengiamumo įvertinimui nurodomos prieigos taškų/antenu montavimo vietos ir aukščiai. Šiuo atveju šis įrankis naudojamas tik padengimui įvertinti, bet naudojant „Aerohive Networks“ galimas pilnas Wi-Fi tinklo simuliacija, sukuriant tinklus, konfigūruojant bevielės prieigos taškus, bei atliekant tinklo monitoringą.

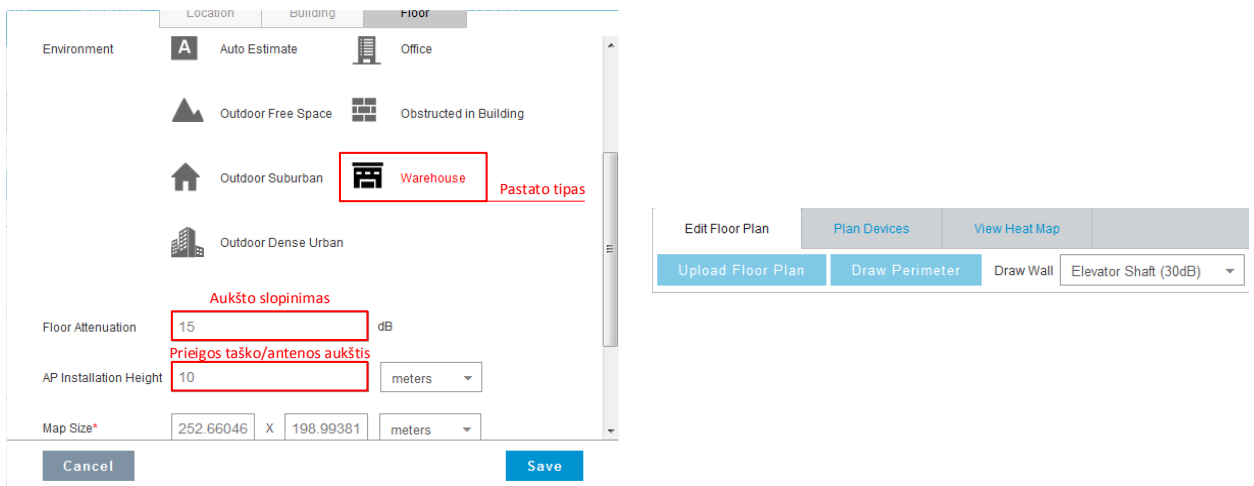
4.2.1. Padengimo įvertinimas „Aerohive“ įrankiu

„Aerohive“ planavimo įrankiu logistikos sandėlio perimetras nustatomas naudojantis Google žemėlapiu. Be to, nurodomi kiti sandėlio parametrai – pastato tipas, antenu montavimo aukščiai, sienų, aukštų slopinimo reikšmės.

4.2 lentelė. Pagrindiniai logistikos sandėlio parametrai

<i>Parametras</i>	<i>Reikšmė</i>
Pastato tipas	Sandėlis
Aukšto slopinimas	15 dB
Antenos montavimo aukštis	10 m
Išorinių sienų slopinimas	30 dB

Ankstesnėje lentelėje nurodytų parametru reikšmių nustatymas „Aerohive“ planavimo įrankyje pateiktas 20 pav. Praktiniais matavimais buvo nustatyta, kad išorinės logistikos sandėlio sienos signalą slopina nuo -53 dBm iki -93 dBm, t.y apie 40 dB. Matavimai atlikti naudojantis „TEMS“ įrenginiu, o signalo stiprumo reikšmės išmatuotos priimant keleto bazinių stočių signalus. „Aerohive“ įrankis numato didžiausią sienų slopinimo reikšmę iki 30 dB.



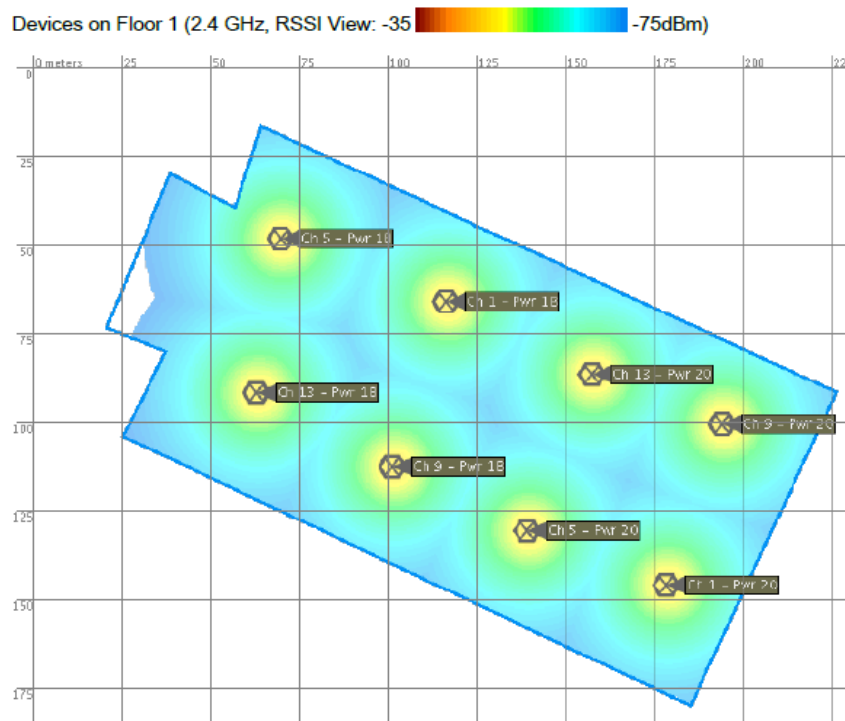
20 pav. Logistikos sandėlio parametrai „Aerohive“ aplinkoje

Modeliuojant radijo ryšio aprėptį pasirenkama tinklo įranga, jos parametrai ir montavimo vietos. Reikia paminėti ir tai, kad šis įrankis leidžia automatinį įrangos išdėstymą, kuomet optimaliausiai užtikrinamas ryšio padengimas. Simuliavimo metu naudojami dviejų tipų prieigos taškai, kurių antenų stiprinimai skiriasi – AP_330, kurio antenų stiprinimas 6 dBi ir AP_121, kurio antenų stiprinimas 4 dBi. Specifikacijos pateikiamos prieduose. Kadangi diegiant ryšį bus naudojamos vienodo stiprinimo KATHREIN visa kryptinės antenos, modeliavimo metu prieigos taškų spinduliavimo galios naudojamos ne vienodos: AP_330 – 18 dBm, o AP_121 – 20 dBm.

4.3 lentelė. Pagrindiniai modeliavimo parametrai

<i>Parametras</i>	<i>Reikšmė</i>
AP_330 prieigos taškų galia	18 dBm
AP_121 prieigos taškų galia	20 dBm
AP_330 prieigos taškų antenų stiprinimas	6 dBi
AP_121 prieigos taškų antenų stiprinimas	4 dBi
Vartotojų terminalų spinduliavimo galia	15 dBm
Vartotojų terminalų antenos stiprinimas	0 dBi

Atlikus modeliavimą pagal užduotus parametrus nustatyta, kad pilnam sandėlio padengimui reikalingos **aštuonios** visa kryptinės antenos.



21 pav. Planuojamas logistikos sandėlio ryšio padengiamumas

Iš modeliavimo rezultatų galima daryti šią išvadą - visoje sandėlio teritorijoje užtikrinamas užsiduotas -75 dBm signalo stiprumo ryšys. Be to, darant prielaidą, kad padengiamumas buvo modeliuotas prie 2,4 GHz dažnio, o aukščiausias projektuojamų sistemų dažnis yra 2,6 GHz, realiomis sąlygomis padengiamumas turėtų būti panašus, o 3G ir 2G sistemoms didesnis. Taip pat, reikia nepamiršti to, kad projektuojamos bazinės stoties spinduliavimo galia gali siekti iki **40W (46 dBm)**, o mobiliųjų įrenginių iki **2W (33dBm)**, kas stipriai viršija modeliavimo parametrus. Galią vatais perskaičiuoti į dBm galima panaudojant matematinę formulę:

$$P_{[dBm]} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{[mW]}}{1 \text{ mW}}\right), \quad (4.1)$$

čia $P_{[dBm]}$ – spinduliavimo galia, dBm, $P_{[mW]}$ – spinduliavimo galia, mW.

4.3. Planuojama vidaus judriojo ryšio tinklo struktūra

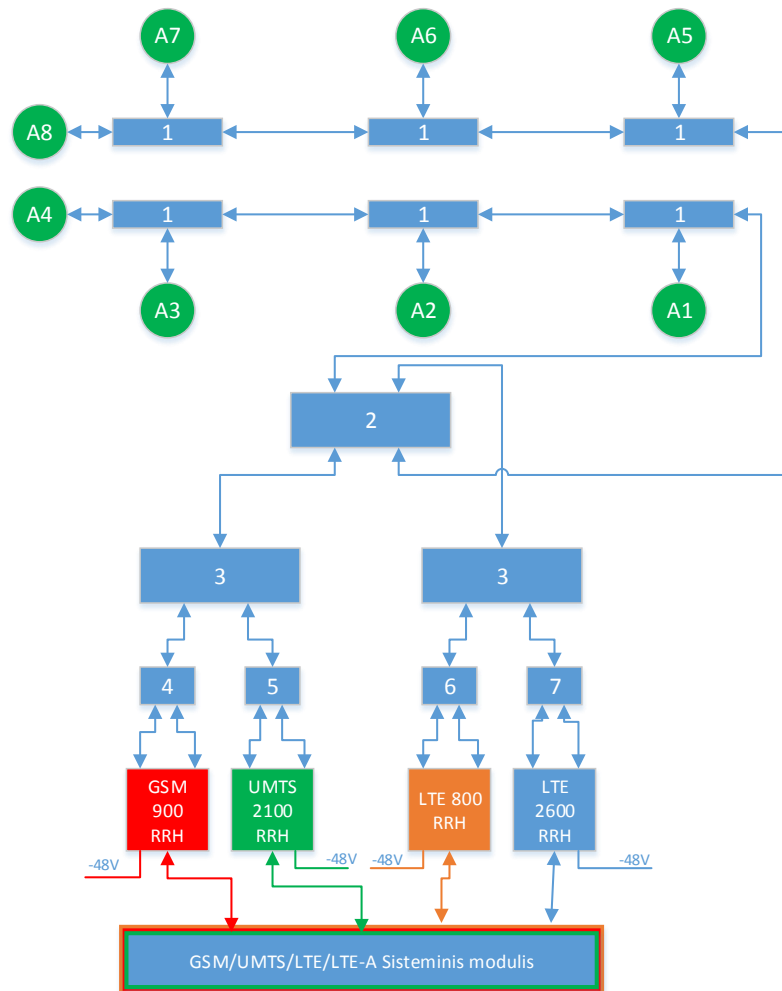
Kaip jau buvo minėta anksčiau, pasirinkto sandėlio vidaus judriojo ryšio projektui įgyvendinti pasirinkta „Nokia Siemens Networks“ Flexi Multiradio 10 bazinė stotis, o radijo dažnio signalui paskirstyti daugeliui antenų, hibridinė paskirstytų antenų sistema. Taip pat, pasinaudojant „Aerohive“ Wi-Fi planavimo įrankiu, buvo nustatyta, kad logistikos sandėlio ryšio padengiamumui užtikrinti, kada signalo lygis nekreta žemiau **-75 dBm** reikšmės, bus reikalingos **8** visa kryptinės antenos. Kiti, projektavimui reikalingi parametrai, pateikti 4.2 ir 4.3 lentelėse.

Tinklo projektavimo metu nustatomi reikalingi pasyviniai tinklo elementai, signalo

perdavimui nuo radijo modulių RRH iki signalą transliuojančių antenų. 22 pav. pateikiama planuojama sandėlio vidaus judriojo ryšio tinklo struktūra. Pateikta tinklo struktūra skirta tik vienam mobiliojo ryšio operatoriui, tačiau įterpus papildomų pasyviųjų tinklo elementų, tinklas nesunkiai gali būti modernizuojamas ir pritaikomas keliems mobiliojo ryšio tiekėjams. Lentelėje pateikiamas tinklui reikalingų pasyviųjų komponentų sąrašas.

4.4 lentelė. Tinklo pasyviniai komponentai

Nr.	Pavadinimas	Kiekiai
1	Taperis 1:2, Kathrein 860 10150	6 vnt.
2	3 dB apjungėjas, Kathrein 782 10524	1 vnt.
3	Dviejų dažnių sumatorius, Kathrein 782 10660	2 vnt.
4	Dviejų dažnių filtras, Kathrein 782 10167	1 vnt.
5	Dviejų dažnių filtras, Kathrein 782 10192	1 vnt.
6	Dviejų dažnių filtras, Kathrein 782 10215	1 vnt.
7	Dviejų dažnių filtras, Kathrein A30051	1 vnt.
A1..A8	Visa kryptinė antena, Kathrein 800 10249	8vnt.



22 pav. Planuojama logistikos sandėlio vidaus judriojo ryšio tinklo struktūra

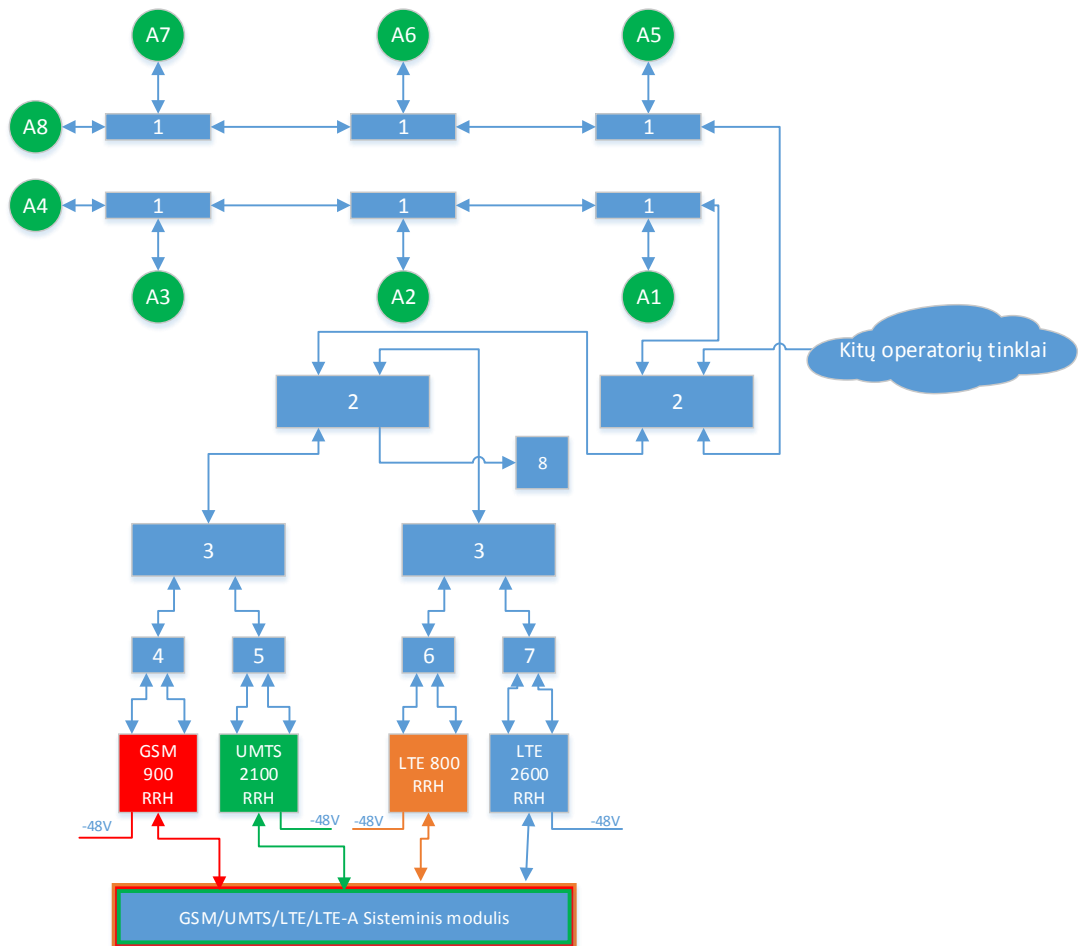
Pateiktoje planuojamoje tinklo struktūroje naudojami pasyviniai tinklo komponentai ir jų reikšmė:

- 4,5,6,7 pozicijos – dviejų dažnių filtrai (angl. *duplexer*), kurie skirti susumuoti/išskirti siųstuvo ir imtuvo dažnių signalus į/iš vieną bendrą perdavimo liniją ar anteną. Kiekvienai dažnių juostai naudojami skirtingos dažnių diapazono filtrai;
- 3 pozicija – Dviejų dažnių juostų sumatorius (angl. *Dual - Band combiner*), naudojamas susumuoti dviejų įėjimų Tx/Rx signalus į vieną bendrą išėjimą. sumatorius taip pat parenkamas, pagal naudojamas dažnių juostas.
- 2 pozicija – 3 dB apjungėjas (angl. *3 dB Coupler*), įėjimo jungtyse (2 ir 3 jungtys) paduotus signalus, paskirsto į du išėjimus (1 ir 4 jungtys), t.y į du įėjimus paduoti signalai gaunami viename ar abiejuose išėjimuose. Tuo atveju jei naudojamas tik vienas išėjimas, būtina laisvą išėjimą apkrauti 50 Ω varža.
- 1 pozicija – Netolyginis skirstytuvas 1:2 (angl. *tapper 1:2*) – naudojamas įėjime paduotam signalui netolygiai paskirstyti dviejuose išėjimuose.
- A1...A8 pozicijos – Visa kryptinės vidaus sąlygų antena, veikianti visuose dažnių ruožuose vienu metu.

Kad išvengtų intermoduliacijos procesų, visi projektuojami pasyviniai elementai yra suderinti prie 50Ω varžos. Išskyrus visa kryptines antenas, visi elementai turi 7-16 *female* jungtis, o antenos N *female* tipo jungtis. Jungiamiesiems fideriams planuojama naudoti žemo slopinimo ½ Andrew 50Ω koaksialinius kabelius. Galios pasiskirstymo skaičiavimo metu galimas kabelių ir pasyvinių elementų koregavimas.

4.3.1. Projektuojamo tinklo struktūra, kitų operatorių prijungimui

Kadangi, sandėlio vidaus judriojo ryšio tinklas projektuojamas, su galimybe tinklą praplėsti, prijungiant kitus mobiliojo ryšio operatorius, pasiūlysimė galimą tinklo struktūrą.



23 pav. Galima tinklo modernizacija, prijungiant kitus mobiliojo ryšio operatorius

Kaip matyti iš 23 pav., tinklas gali būti modernizuojamas, į esamą tinklo struktūrą įterpiant dar vieną 3 dB apjungėją. Tuo atveju, esamo tinklo 3 dB apjungėjo likęs laisvas 4 prievadas, privalo būti apkrautas 50 Ω 80 W apkrova. Tam tikslui gali būti panaudota Kathrein 782 10474 tipo apkrova, be abejo, apkrovą reikia parinkti tinkamos galios, priklausomai nuo paduodamų signalų galios. Negalima pamiršti to, kad paskirstytoje antenų sistemoje padidintas signalų skaičius ir padidėjusi perdavimo galia, potencialiai gali padidinti intermoduliacijos procesų grėsmę.

4.4. Išėjimo galios skaičiavimas (antenų spinduliavimo galia)

Projektuojant radijo ryšio tinklą tikslinga įvertinti paskirstytų antenų sistemos spinduliuojamą galią, kuria remiantis, galima įvertinti ar spinduliuojamos galios pakanka užtikrinti ryšio padengiamumui. Tam tikslui, reikalingi šie parametrai:

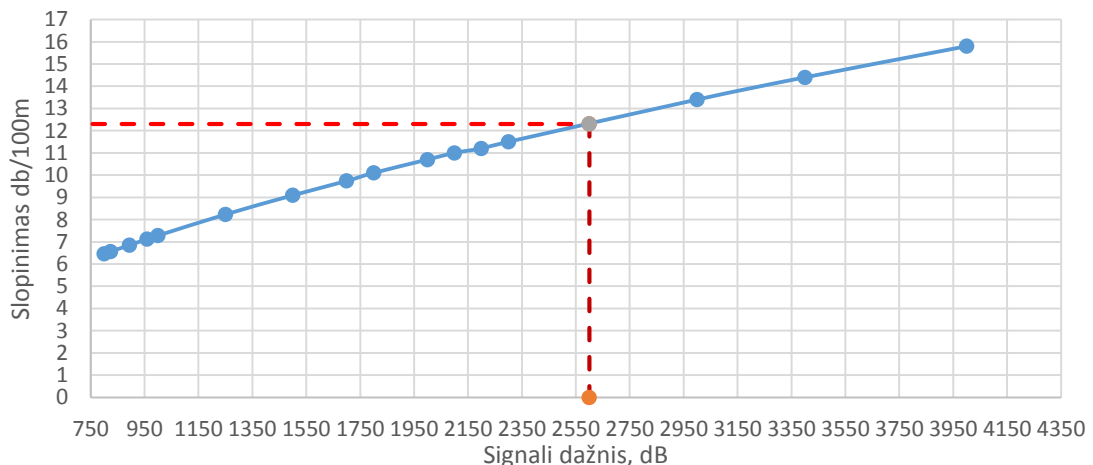
- Projektuojamų Flexi RRH modulių maksimali siųstuvo galia;
- Pasyvinių tinklo komponentų įnešamas slopinimas;
- Projektuojamų kabelių slopinimo reikšmė, tam tikram dažniui;

- Atstumas tarp tinklo elementų;
- Antenų stiprinimo reikšmė.

Kaip matyti iš 4.1 lentelėje pateiktos Flexi Multiradio 10 bazinės stoties specifikacijos, RRH maksimali spinduliuojama galia yra **40 W**. Skaičiavimo patogumui galią, kuri yra išreikšta vatais, perskaičiuojama į galią išreikštą dBm. Tam tikslui naudojama 4.1 išraiška:

$$P_{[dBm]} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{[mW]}}{1 \text{ mW}}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{40 \cdot 10^3}{1}\right) = 10 \cdot 4,602 = 46 \text{ dBm}$$

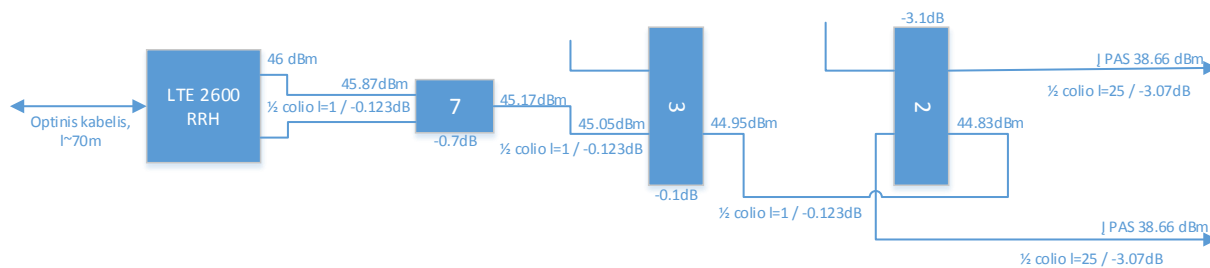
Kaip žinoma, didėjant signalo dažniui, didėja slopinimas, dėl šios priežasties, antenų spinduliuojama galia įvertinama aukščiausiam projektuojamos sistemos dažniui, kuris yra **2600 MHz**. Kaip minėta anksčiau, komponentų sujungimams, projektuojamas $\frac{1}{2}$ Andrew 50 Ω koaksialinis kabelis, kurio slopinimo priklausomybę nuo dažnio atvaizduosime grafiniu pavidalu (24 pav.). Kadangi, šio kabelio techninėje specifikacijoje nenurodyta slopinimo reikšmė prie 2600 MHz dažnio, ji nustatoma iš grafinės priklausomybės. Kaip matyti iš 24 paveikslo, slopinimo reikšmė prie **2600 MHz** yra apie **12,3 dB/100 m** arba **0,123 dB/m**.



24 pav. $\frac{1}{2}$ Andrew LDF4-50A kabelio slopinimo priklausomybė nuo dažnio [Specifikacija prieduose]

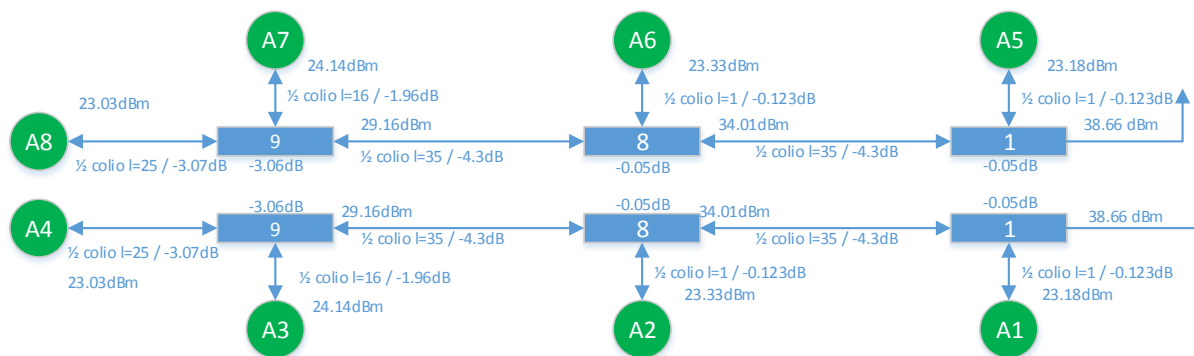
Skaičiavimo ir grafinio atvaizdavimo patogumui, planuojamo tinklo struktūra suskaidoma į dvi dalis – paskirstytą antenų sistemos ir signalo išvedimo į vieną perdavimo liniją dalis.

Skaičiavimai pradami nuo aktyvinės tinklo dalies. Sujungimams tarp tinklo komponentų, išskyrus sujungimus tarp 3 dB apjungėjo ir pirmųjų netolyginių galios skirstytuvų, projektuojami **1 m**. ilgio jungiamieji kabeliai. Toliau skaičiavimų metu nustatomi kitų jungiamųjų kabelių ilgiai. Visi skaičiavimai atliekami atsižvelgiant į sandėlio išmatavimus.



25 pav. Signalo išvedimo į vieną perdavimo liniją dalies, galių skaičiavimas

Skaičiuojant signalo slopinimą pasyvinuose tinklo elementuose, remtasi naudojamų komponentų techninėmis specifikacijomis (specifikacijos pateiktos prieduose). Iš 24 pav. pateiktų rezultatų matyti, kad signalą transformuojant į vieną perdavimo liniją, gaunamas apie **7,3 dB** signalo susilpnėjimas.



26 pav. Paskirstytų antenų sistemos dalies, signalo galių skaičiavimas

Signalų galių paskirstytoje antenų sistemoje skaičiavimo metu paaiškėjo, kad pradiniam planavime numatyti pasyviniai tinklo komponentai nėra tinkami. Visoje PAS naudojami vienodi netolyginiai galios skirstytuvai Kathrein 860 10150 (22 pav. 1 pozicija) per daug nuslopina signalo galią ir netolygiai ją paskirsto projektuojamose antenose. Skaičiavimo metu, buvo nustatyti tinkami pasyviniai tinklo komponentai ir projektuojamų 1/2 colio kabelių ilgiai. Reikalingi pasyviniai tinklo komponentai ir jungiamųjų kabelių ilgiai tarp jų nurodomi lentelėse.

4.5 lentelė. Projektuojami PAS pasyviniai komponentai (pagal 26 pav.)

Nr.	Pavadinimas	Kiekiai
1	Netolyginis galios skirstytuvas ($P_1=-0.3\text{dB}$, $P_2=-15.3\text{dB}$), Kathrein 860 10152	2 vnt.
8	Netolyginis galios skirstytuvas ($P_1=-0.5\text{dB}$, $P_2=-10.5\text{dB}$), Kathrein 860 10151	2 vnt.
9	Skirstytuvas 1→2 Kathrein 860 10101	2 vnt.
A1..A8	Visa kryptinė antena, Kathrein 800 10249	8vnt.

Kaip žinoma, skirstytuvas įėjimo galią paskirsto tarp išėjimo prievadų, o signalo slopinimas pereinant skirstytuvą apskaičiuojamas pagal šią išraišką [1]:

$$L_{[\text{skirstytuvo}]} = 10 \cdot \log(n) + A, \quad (4.2)$$

čia $L_{[\text{skirstytuvo}]}$ – signalo slopinimas pereinant skirstytuvą, dB, n – skirstytuvo išėjimų

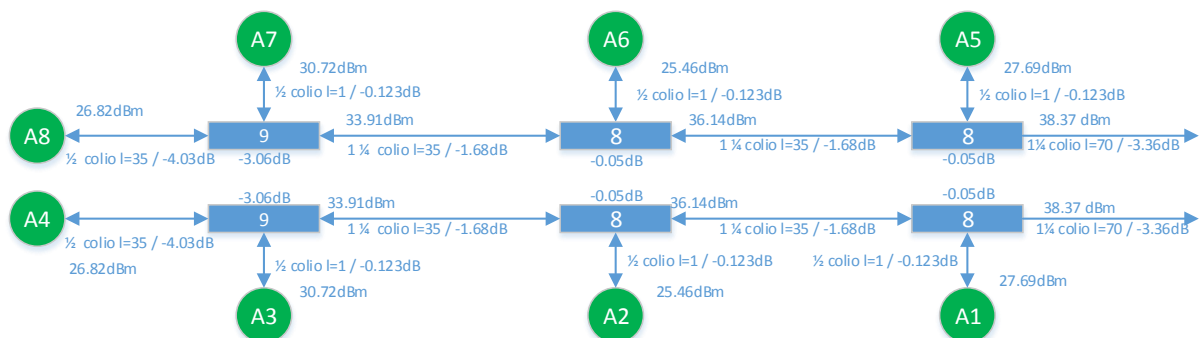
skaičius, A – įterpimo slopinimas.

4.6 lentelė. ½ colio jungiamųjų fiderių ilgiai (pagal 25.pav ir 26 pav.)

Tarp pozicijų	1-2	1-8	8-9	1-A5	8-A6	9-A7	9-A8	9-A4	9-A3	8-A2	1-A1
Ilgis, m	25	35	35	1	1	16	25	20	16	1	1

Iš skaičiavimų rezultatų (26 pav.) matyti, kad signalo galia tarp projektuojamų antenų pasiskirsčiusi daugmaž vienodai ir nenukrenta žemiau **25 dBm (EIRP)** ribos. Naudojantis „Aerohive“ įrankiu, aprėpties modeliavimo metu buvo nustatyta, kad padengiamumui užtikrinti reikalingos 8 visa-kryptinės antenos, kurių stiprinimas **4 dBi**, o spinduliavimo galia nemažesnė kaip **20 dBm**. Tinklui projektuojamos **2 dBi**, Kathrein 800 10249 antenos, o signalo galia prieš anteną turėtų būti didesnė nei **23 dBm**. Taigi, galima daryti išvadą, kad projektuojamas vidaus judriojo ryšio tinklas turėtų užtikrinti reikalaujamą padengimą.

Pagal aukščiau pateiktus 25 ir 26 paveikslus matyti, kad RRH moduliai ir signalų išvedimo sistema į vieną perdavimo liniją turėtų būti montuojama netoli PAS (apie 25m atstumu), kas gali apsunkinti montavimo, bei sistemos aptarnavimo darbus. Kad to išvengti, galimas kitas variantas - panaudoti didesnio skersmens koaksialinius kabelius paskirstytų antenų sistemoje, pavyzdžiui 1 ¼ colio. Tokio kabelio slopinimas siekia tik **4,8 dB/100 m**. Tokiu atveju, RRH radijo modulius ir išvedimo sistemą galima montuoti didesniu atstumu nuo PAS, tam patogioje vietoje. Pateikiame šiam instaliacijos variantui atliktus skaičiavimus grafiniu pavidalu.



27 pav. Signalų galių skaičiavimas, panaudojant 1 ¼ colio kabelius

27 pav. pateikta PAS sujungimo struktūra, sudaryta remiantis 4.5 lentelėje pateiktų komponentų techninėmis specifikacijomis.

Palyginus šiuos du signalo galios skaičiavimus galima padaryti išvadą, kad panaudojant 1 ¼ colio kabelius, sistemos slopinimas perduodamiems signalams sumažėja, o tuo pačiu padidėja projektuojamų antenų spinduliavimo galia, kas leidžia sumažinti bazinės stoties galią ir suvartojamą energijos kiekį. Be to, didesnės spinduliavimo galios užtikrina didesnę ryšio padengiamumą.

4.5. Detalizuoto projekto aprašas

Remiantis ankstesniuose skyreliuose atliktų padengiamumo modeliavimo ir išėjimo galių skaičiavimais, sudarytas detalus atliekamo projekto planas, kuriame nurodomos tikslios konstrukcijų ir įrangos montavimo vietos. Minėtas projekto planas pateiktas sekančiame šio darbo lape.

Kaip matyti iš pateikto plano, ant pasirinkto logistikos sandėlio išplanavimo nurodyti detalūs sistemos diegimo taškai, nurodomi tikslūs įrangos ir tinklo komponentų tipai, jų kiekiai. Aptarsime pagrindinius ir svarbiausius sistemos diegimo aspektus:

1. Plane nurodytos antenų sistemos montavimo vietos, jungiamųjų kabelių tipai, ilgiai, bei jų klojimo trajektorijos. Skirstytuvai (angl. *Spilter*) ir netolyginiai galios skirstytuvai (angl. *Tapper*) sumontuojami ant projektuojamų kabelinių kopėtelių (h~10m.);
2. Plane nurodyta telekomunikacinės spintos ir radijo modulių bei signalo išvedimo į vieną perdavimo liniją montavimo vieta. Be to, ši vieta detalizuojama toliau;
3. Kadangi sistemos gedimas dažniausiai pasitaiko aktyvinėje tinklo dalyje, RRH radijo moduliai montuojami lengvai prieinamoje vietoje;
4. Kadangi, kaip ir daugeliui telekomunikacinių sistemų, projektuojamai „NOKIA Networks“ tinklo bazinei stočiai reikalingas -48 V el. maitinimas, telekomunikacijų spintoje sumontuojamas -48 V maitinimo šaltis. Šis maitinimo šaltinis paduodamą trijų fazių 230V įtampą keičia į -48V;
5. Telekomunikacijų spintoje montuojami 4 vnt. 12V akumuliatorių, kurie reikalingi nepertraukiamam elektros tiekimui bazinei stočiai. Dingus elektros tiekimui logistikos sandėlyje, bazinė stotis veikia akumuliatorių dėka.

Tokiu būdu ant logistikos centro plano pateiktas projektas labai naudingas sistemą diegiančiam personalu, kada aiškios kiekvieno komponento montavimo vietos.

DETALIZUOTAS PLANAS

4.6. HSDPA ir LTE vartotojų sukuriamų srautų įvertinimas

Kaip žinoma, 3G ir 4G technologijų vartotojų duomenų perdavimo greitaveika priklauso nuo bazinės stoties talpos (pralaidumo) ir vienu metu paslaugomis besinaudojančių klientų skaičiaus. Tai reiškia, kad didėjant vartotojų skaičiui perdavimo sparta tenkanti vienam klientui mažėja. Vartotojų prieiga prie tinklo apribojama tik tuo atveju, jei netenkinami signalo kokybės reikalavimai, kurie nusakomi signalo lygio ir interferencijos arba triukšmo santykiais. Dažniausiai ryšio kokybės parametrai netenkinami aukštynkrypčiam duomenų perdavimui.

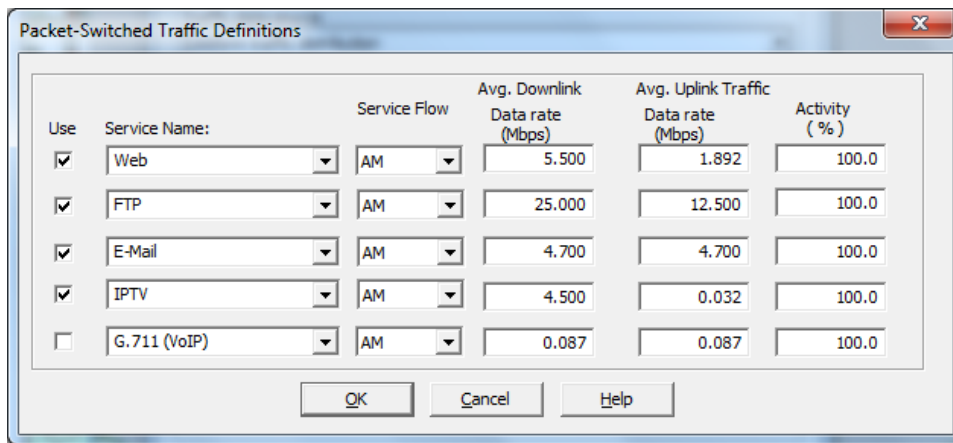
Balso ir realaus laiko RT (angl. *real time*) paslaugų sukuriamas srautas yra skaičiuojamas remiantis Erlang B formule, o ne realaus laiko NRT (angl. *non-real time*) paslaugų srautai įvertinami pralaidumo skaičiavimais. Įvertinant srautus balso perdavimui priimama, kad linijos blokavimo tikimybė yra 2%. NRT paslaugos aukštynkrypčio ir žemynkrypčio perdavimo srautai paprastai skiriasi (žemynkrypčiam ir aukštynkrypčiam srautui 1:10). [31]

4.6.1. LTE vartotojų sukuriamų srautų įvertinimas

LTE/LTE-A vartotojų sukuriami srautai įvertinami EDX SignalPro programiniu įrankiu. Kadangi LTE technologija yra pilnai pagrįsta IP tinklu (angl. *all-IP network*), vartotojų sukuriamiems srautams įvertinti nurodomos paketų komutavimo paslaugos. Dažniausios ir labiausiai tikėtinos paslaugos – internetinių puslapių naršymas (angl. *web browsing*), failų perdavimas FTP (angl. *file transfer protocol*) ir elektroninio pašto paslauga. Esant dideliame tinklo apkrautume, šių tipų paslaugų paketai nėra nuolat blokuojami, bet užlaikomi kol sumažėja tinklo apkrautumas. VoIP, vaizdo konferencijų ar IPTV paslaugų duomenų paketai yra blokuojami tuo atveju, jeigu jie negali būti perduoti su maža vėlinimo trukme.

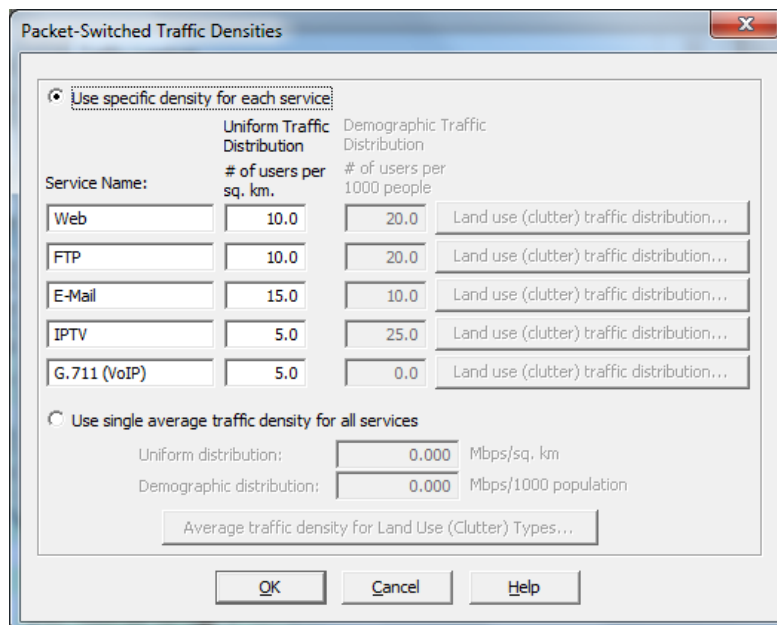
Įvertinant LTE/LTE-A vartotojų sukuriamus srautus EDX SignalPro įrankiu yra nurodomi paslaugų tipai, jų vidutinė duomenų perdavimo sparta (angl. *Data rate*) aukštynkrypčiam ir žemynkrypčiam ryšiui, bei jų aktyvumas (angl. *activity percentages*). Atliekant srauto įvertinimą priimta, kad vartotojai yra tolygiai pasiskirstę projektuojamos bazinės stoties aprėpties zonoje.

Pateikiamos atskirų paslaugų duomenų perdavimo spartos bei jų aktyvumo procentinės reikšmės.



28 pav. LTE/LTE-A technologijoje teikiamų paslaugų vidutinės duomenų perdavimo spartos ir aktyvumas

Toliau nurodomas LTE/LTE-A vartotojų pasiskirstymas pagal teikiamas paslaugas, kuris išreikštas vartotojų skaičiumi tenkančiu kvadratiniam kilometrui. Dėl šios priežasties EDX SignalPro sukurtas LTE bazinių stočių tinklas yra koreguojamas – sukuriamų srautų įvertinimui naudojamas vienos BS vienas sektorius, kurio aprėptis vienas kvadratinis kilometras. Tokiu būdu galima įvertinti vartotojų sukuriamus srautus, kurių skaičius pateiktas tinklo talpos reikalavimuose.



29 pav. LTE/LTE-A vartotojų pasiskirstymas pagal paslaugas

Turint teikiamų paslaugų tipus ir vartotojų pasiskirstymą joms, apskaičiuojama vidutinė LTE/LTE-A srauto apkrova tenkanti bazinės stoties sektoriui. Apskaičiuotas paketinis duomenų srautas aukštynkrypčiam ir žemynkrypčiam perdavimui išreikštas Mbps.

4.7 lentelė. LTE/LTE-A vartotojų sukuriamas srautas

<i>Žemynkryptis perdavimas</i>	<i>Aukštynkryptis perdavimas</i>
392,91 Mbps	211,83 Mbps

4.6.2. HSDPA ir GSM vartotojų sukurtų srautų įvertinimas

Kaip ir LTE/LTE-A, HSDPA ir GSM vartotojų sukurti srautai įvertinami EDX SignalPro įrankiu. Kaip žinoma, 3G tinklas gali apimti tiek grandinių komutavimo, tiek paketų komutavimo paslaugas. Dėl šios priežasties šiais skaičiavimais nustatomos HSDPA, 3G skambučių perdavimo grandinių komutavimo metu ir GSM vartotojų sukurtos apkrovos.

Grandinių komutavimo metu sukuriama apkrova yra matuojama Erlg (angl. Erlangs). Erlangas nusako srauto intensyvumą, kurį sukuria vienas vartotojas kalbėdamas vieną valandą. Skambučius perduodant grandinių komutavimo metu, vartotojų sukurtos apkrovos dydis priklauso nuo keleto pagrindinių parametrų – skambučių blokavimo tikimybės, vidutinės pokalbių trukmės, atliekamų skambučių intensyvumo, kalbėjimo intensyvumo ir vartotojų skaičiaus.

Įvertinama vartotojų sukuriama apkrova skambučius perduodant grandinių komutavimo metu. Šiais skaičiavimais įvertinama GSM vartotojų (35 vartotojai) ir 3G grandinių komutavimo metu (60 vartotojų) sukurtos apkrovos. Pateikiamos parametrų reikšmės, kurios naudojamos skaičiavimuose.

The screenshot shows a dialog box titled "Circuit-Switched Traffic Density". It contains the following parameters:

- Average call duration: 2.00 minutes
- Use Erlang B (selected)
- Use Erlang C (unselected)
- Circuit blocking percentage: 2.00 %
- Forward link (base-to-mobile) voice activity factor: 0.45
- Reverse link (mobile-to-base) voice activity factor: 0.45
- Uniform distribution: 95.00 calls/hour/sq. km.
- Demographic distribution: 0.00 calls/hour/1000 persons

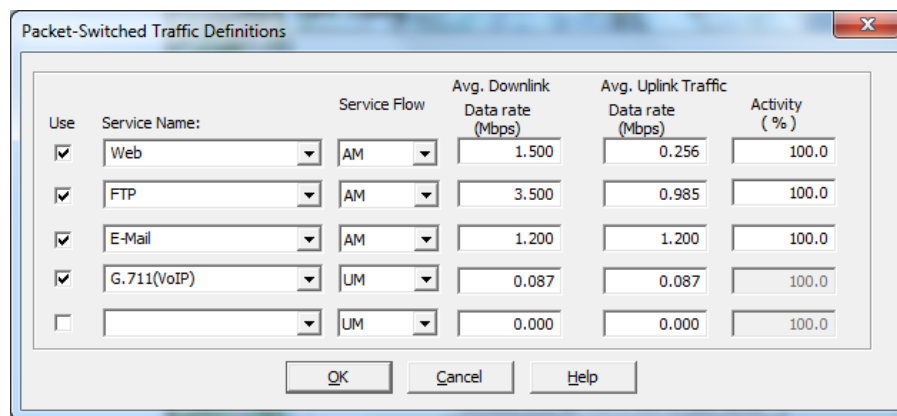
Below these fields are buttons for "OK", "Cancel", and "Help". To the right, there is a table for "Land use (clutter) distribution" with values in "calls/hour/sq. km.":

Land use (clutter) distribution:	calls/hour/sq. km.
Open Water	100.00
Perennial Ice/Snow	100.00
Developed Open Space	100.00
Developed Low Intensity	100.00
Developed Medium Intensity	100.00
Developed High Intensity	100.00
Bare Rock/Sand/Clay	100.00
Deciduous Forest	100.00
Evergreen Forest	100.00
Mixed Forest	100.00
Dwarf Scrub	100.00
Shrub/Scrub	100.00
Grassland/Herbaceous	100.00
Sedge/Herbaceous	100.00
Lichens	100.00
Moss	100.00
Pasture/Hay	100.00
Cultivated Crops	100.00
Woody Wetlands	100.00
Emergent Herbaceous Wetlands	100.00

30 pav. Grandinių komutavimo metu sukurtos apkrovos

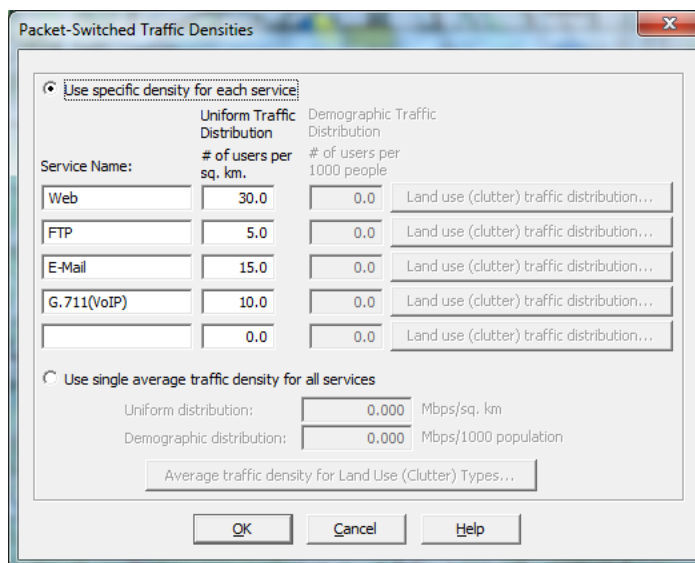
Pastaba. Nurodyti parametrai parinkti remiantis EDX SignalPro aprašymais, kuriuose teigiama, kad šios reikšmės yra labiausiai tikėtinos.

Kaip ir LTE/LTE-A skaičiavimų atvejų, HSDPA vartotojų sukurtas srautas įvertinamas analogiškai, tik šiuo atveju nurodomos žemesnės perdavimo spartos atskiroms paslaugoms, kadangi maksimali teorinė HSDPA perdavimo sparta gali siekti iki 14,4 Mbps. HSDPA tinkle naudojamos tos pačios paslaugos, kaip ir LTE/LTE-A tinkle. Pateikiamos perdavimo spartos ir aktyvumo procentinės reikšmės.



31 pav. HSDPA technologijoje teikiamų paslaugų vidutinės duomenų perdavimo spartos ir aktyvumas

Pateikiamas HSDPA vartotojų pasiskirstymas pagal teikiamas paslaugas. Talpos reikalavimuose nurodytas vartotojų skaičius paskirstomas atskiroms paslaugoms.



32 pav. HSDPA vartotojų pasiskirstymas pagal paslaugas

Atlikto HSDPA ir GSM vartotojų sukuriamų srautų įvertinimo rezultatai pateikiami lentelėje.

4.8 lentelė. GSM ir 3G vartotojų sukuriamas srautas

<i>Grandinių komutavimo metu sukuriama apkrova</i>	<i>Reikalingas ryšio linijų skaičius</i>	<i>HSDPA vartotojų sukuriamas srautas</i>
3056,78 mErlg	8	83,72 Mbps

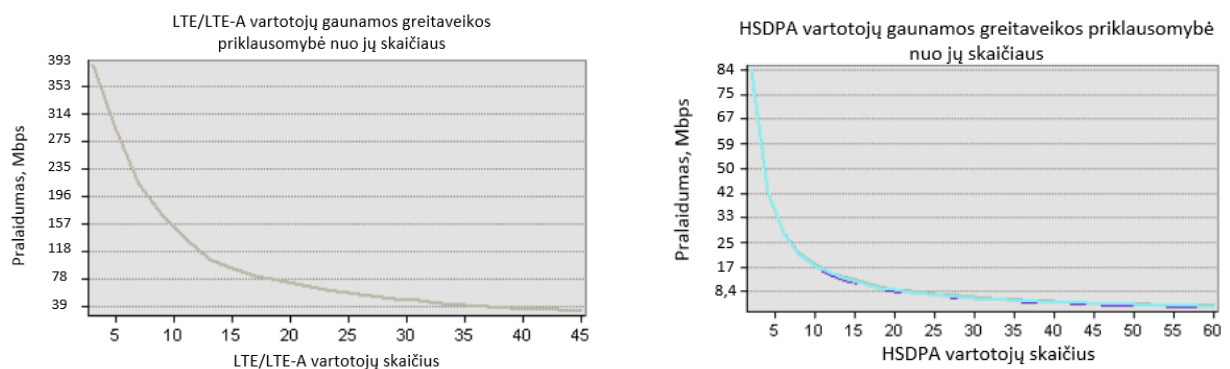
4.6.3. Vartotojų gaunamos greitimeikos kitimo įvertinimas

Projektuojamo 3G ir LTE/LTE-A tinklo vartotojų gaunamos greitimeikos priklausomybės nuo jų skaičiaus prognozavimas atliktas *Monte Carlo* metodu, o skaičiavimams atlikti naudojamas „Cellular Exper“ (CE) programinis įrankis. Monte Carlo metodas – tai tiksliausiai srautus įvertinantis [27] ir dažniausiai naudojamas metodas HSDPA ir LTE technologijose

sukuriamiems srautams prognozuoti. Šis tikslus ir greitas srautų įvertinimo būdas naudojamas ne tik CE, bet ir EDX SignalPRO, WIZARD [27], AWE programiniuose įrankiuose [29].

Atliekant vartotojų sukurtų srautų simuliaciją Monte Carlo metodu, sugeneruojamas pasirinktas skaičius scenarijų, imituojančių atsitiktinį sistemos vartotojų elgesį. Kitaip sakant, skaičiavimų metu atliekamas didelis skaičius iteracijų, kada sugeneruojami atsitiktiniai mobiliųjų vartotojų pasiskirstymai, skirtingas naudojimas paslaugomis, skirtingi aktyvumo koeficientai ir t.t. Monte Carlo srautų simuliacijos rezultatas - tai suvidurkintos visų skaičiavimų reikšmės. Sukurtų srautų analizės trukmė priklauso nuo atliekamų skaičiavimų ir mobiliųjų vartotojų skaičiaus.

CE programiniame įrankyje UMTS, HSDPA ir LTE srautų simuliacija paremta statistine analize, kuomet atsitiktinai sugeneruojami sistemos vartotojų parametrai. Skaičiavimų scenarijai sugeneruojami pagal užduotus sistemos parametrus, jos veikimą ir mobiliųjų įrenginių pralaidumą. Atliktų skaičiavimų rezultatai yra pateikiami grafinėmis priklausomybėmis. Be to, gautus rezultatus galima atvaizduoti ryšio aprėpties žemėlapiuose, kuomet patogų įvertinti mobiliųjų vartotojų gaunamą pralaidumą priklausomai nuo įrenginio buvimo vietos, signalo lygio ar E_b/N_0 parametro.



33 pav. Vartotojų gaunamos greitaveikos priklausomybė nuo vartotojų skaičiaus (kairėje – LTE/LTE-A, dešinėje – HSDPA)

Iš 33 pav. pateiktų grafinių priklausomybių galima patvirtinti faktą, kad 3G ir 4G technologijų vartotojai dalinasi bazinės stoties turimais resursais - didėjant vartotojų skaičiui, klientų duomenų (aukštynkrypčio ir žemynkrypčio) perdavimo sparta sparčiai mažėja.

4.6.4. Sukurtų srautų įvertinimo apibendrinimas

Remiantis talpos reikalavimuose pateiktais vartotojų skaičiais ir pasinaudojant EDX SignalPro programiniu įrankiu buvo įvertinti logistikos sandėlyje esančių vartotojų sukurti srautai. Iš gautų rezultatų galima padaryti šią išvadą - mobiliojo ryšio operatorius diegiantis vidaus judriojo ryšio tinklą, pagal užduotus talpos reikalavimus, turėtų projektuoti bazinę stotį,

kuri užtikrintų šiuos pralaidumus:

- LTE/LTE-A technologijoms – 393 Mbps žemynkrypčiam perdavimui ir 212 Mbps aukštynkrypčiam perdavimui;
- HSDPA technologijai – 84 Mbps (aukštynkrypčiam/žemynkrypčiam perdavimui) ir grandinių komutacijai (skambučių perdavimas GSM ir 3G sistemose) 8 ryšio linijas (3056,78 mErlg).

Kadangi, vidaus judriojo ryšio tinklo realizavimui naudojama NOKIA bazinė stotis, kurios pralaidumas priklauso nuo įdiegtos licencijos, operatoriui reiktų nusipirkti anksčiau pateiktus pralaidumas tenkinančias licencijas.

5. EKONOMINIS PROJEKTO ĮVERTINIMAS

Pagrindinis ekonominių skaičiavimų tikslas – įvertinti ir prognozuoti operatoriaus diegiamo vidaus judriojo ryšio tinklo logistikos sandėlyje, galimą investicijų atsipirkimo laiką. Kadangi korinio ryšio sistema diegiama operatoriaus lėšomis, skaičiavimais tikslinga įvertinti sistemos diegimo kaštus, įrangos kainą bei projekto sudarymo išlaidas. Priimta, kad projekto diegimo ir projektavimo darbus atlieka viena telekomunikacijų įmonė (rangovas).

5.1. Ryšio sistemos diegimo ir projektavimo kaštai

Kaip buvo minėta anksčiau, vidaus ryšio sistemą projektuoja ir diegia ta pati telekomunikacijų įmonė, todėl įvertinamos galimos operatoriaus išlaidos tinklo projektavimui ir diegimui. Šių kaštų skaičiavimas paremtas projekto apimtimi, kai nustatomas dienų ir darbuotojų skaičius, kuris reikalingas sistemai įdiegti. Taigi, įvertinus tinklą diegiančios įmonės išlaidas darbuotojams ir transportui, prognozuojama, ryšio operatoriui pateikiama diegimo ir projektavimo kaina.

Remiantis darbo praktika, galima numatyti darbuotojų ir dienų skaičių, kuris gali būti reikalingas šio projekto įdiegimui. Lentelėje pateikiami jų skaičiai.

5.1 lentelė. Reikalingas darbuotojų skaičius

<i>Pareigos</i>	<i>Reikalingas darbuotojų skaičius</i>	<i>Darbo dienų skaičius</i>
Inžinierius	2	21
Technikas – montuotojas	4	21

Pastaba. Į lentelę neįtrauktas įmonės personalas, kuris menkai įtakoja darbų sąnaudas.

Rangovo išlaidos darbuotojams įvertinamos apskaičiuojant darbuotojo darbo vietos kainą, pagal atskirus kvalifikacijos laipsnius.

5.2 lentelė. Vidutiniai darbuotojų atlyginimai „Ant popieriaus“

<i>Kvalifikacijos laipsnis</i>	<i>Atlyginimas „Ant popieriaus“</i>
Inžinierius	1000 EUR
Technikas – montuotojas	850 EUR

Apskaičiuojant darbuotojo visos darbo vietos kainą įvertinami darbdavio mokami mokesčiai [32]:

1. Socialinis draudimas (mokamas Sodrai) – 30.98 %;
2. Įmokos į garantinį fondą – 0,2 %.

Įvertinus pateiktus mokesčius vienos inžinieriaus darbo vietos kaina:

$$K_{inžinierius} = (A^{Ant\ popieriaus} \cdot Soc.\ draud) + (A^{Ant\ popieriaus} \cdot \text{Įmk. grn. fond}) =$$

$$\left(1000 \cdot \frac{30,98}{100}\right) + \left(1000 \cdot \frac{30,98}{100}\right) = 1311,80\ EUR, \quad (4.1)$$

čia $K_{inžinierius}$ – inžinieriaus darbo vietos kaina, $Soc.draud$ – socialinio draudimo dydis, $A^{Ant\ popieriaus}$ – gaunamas atlyginimas „Ant popieriaus“, Įmk. grn.fond – įmokų į garantinį fondą dydis.

Analogišku būdu apskaičiuojama ir techniko – montuotojo darbo vietos kaina. Rangovo išlaidos darbuotojams, įvertinus darbo dienų ir darbuotojų skaičių, pateikiamos lentelėje.

5.3 lentelė. Rangovo išlaidos darbuotojams

<i>Kvalifikacijos laipsnis</i>	<i>Darbo vietos kaina, EUR/mėn</i>	<i>Darbo dienų skaičius</i>	<i>Darbuotojų skaičius</i>	<i>Išlaidos, EUR</i>
Inžinierius	1311,80	21 (1 mėn)	2	2623,60
Technikas – montuotojas	1115,03	21 (1 mėn)	4	4460,12

Pastaba. Priimta, kad vidutinis darbo dienų skaičius per mėnesį yra 21 d.

Ryšio operatoriaus rangovas į tinklo diegimo kainą įtraukia ir išlaidas transportui. Transportavimo išlaidos apima rangovo išlaidas kurui, transporto nusidėvėjimo ir eksploatavimo kaštus. Priimta, kad kasdieninėms kelionėms į darbo objektą yra nuvažiuojama apie 140 km. Transporto išlaidos pateikiamos lentelėse.

5.4 lentelė. Išlaidos kurui

<i>Nuvažiuojamas atstumas km/1d.d</i>	<i>Automobilių skaičius</i>	<i>Kelionių skaičius</i>	<i>Vidutinės kuro sąnaudos l/100km</i>	<i>Kuro kaina l/EUR</i>	<i>Išlaidos, EUR</i>
140	1	21	7,5	1	220,5

Nusidėvėjimo ir eksploatacijos kaštai skaičiuojami įvertinant transporto priemonės tipą, naudojimo laiką, bei pravažiuojamą atstumą. Rangovo išlaidos transporto eksploatavimui ir nusidėvėjimui pateikiamos lentelėje.

5.5 lentelė. Transporto nusidėvėjimo ir eksploatacijos išlaidos

<i>Kelių mokesčiai, EUR</i>	<i>Išlaidos lizingui, EUR</i>	<i>Išlaidos remontui, EUR</i>
25,25	195 EUR	100 EUR

Taigi, susumavus rangovo išlaidas transportui, gauname **540,75 EUR**.

Ryšio operatoriaus tinklo diegimo ir projektavimo kaina yra skaičiuojama kaip tam tikra procentinė vertė nuo rangovo išlaidų darbuotojų darbo vietoms ir transportavimui. Priimta, kad telekomunikacijų įmonė uždirba apie 40% tinklo diegimui ir apie 15% tinklo projektavimui nuo

darbo vietų ir transportavimo kainos. Įvertinus rangovo išlaidas, randama sąskaitos suma, kuri pateikiama ryšio operatoriui.

$$K_{diegimas\ ir\ projektavimas} = (I_{darbuotojai} + I_{transportas}) \cdot D + (I_{darbuotojai} + I_{transportas}) \cdot P, \quad (4.2)$$

čia, $K_{diegimas\ ir\ projektavimas}$ – mobiliojo ryšio operatoriaus kaštai projekto diegimui ir projektavimui, $I_{darbuotojai}$ – rangovo išlaidos darbuotojų darbo vietoms, $I_{transportas}$ – rangovo išlaidos transportavimui, D – rangovo uždirbama procentinė dalis projekto diegimui, P – rangovo uždirbama procentinė dalis projektavimui.

$$K_{diegimas\ ir\ projektavimas} = (7083,72 + 540,75) \cdot 1,40\% + (7083,72 + 540,75) \cdot 1,15\% \\ = \mathbf{19442,40\ EUR},$$

Taigi, mobiliojo ryšio operatoriaus išlaidos tinklo diegimui ir projektavimui yra **19442,40 EUR**.

5.2. Išlaidos konstrukciniams elementams ir kabelinei infrastruktūrai

Konstrukcinius įrangos montavimo komponentus ir kabelius, reikalingus sistemai paleisti, pagal pateiktą projektą perka pats operatorius. Prie konstrukcinių elementų priskiriamos – kabelinės kopėtėlės, jų tvirtinimo detalės bei smulkių medžiagų komplektas. Kabeliniai infrastruktūrai priskiriama – antenų jungiamieji kabeliai, elektros maitinimo kabeliai, elektros srovės atjungikliai ir t.t. Reikalingos medžiagos, bei jų kiekiai ir numatomos kainos pateikiamos lentelėje.

5.6 lentelė. Projektui įgyvendinti perkamos medžiagos

<i>Pavadinimas</i>	<i>Kiekiai</i>	<i>Vieneto kaina su PVM</i>	<i>Viso kaina su PVM</i>
Kabelinės kopėtėlės L=6m.	59 vnt.	7,71 EUR	454,89 EUR
Kopėtėlių tvirtinimo detalės	1 kompl.	100 EUR	100 EUR
Smulkių medžiagų komplektas	1 kompl.	100 EUR	100 EUR
Smulkių tvirtinimo detalių komplektas	1 kompl.	30 EUR	30 EUR
Juodas gofruotas vamzdis D40	60m.	1,67 EUR	100,2 EUR
Automatinis srovės atjungiklis 6A	1 vnt.	4,20 EUR	4,20 EUR
Automatinis srovės atjungiklis 50A	4 vnt.	6,61 EUR	26,44 EUR
Automatinis srovės atjungiklis 16A, trijų fazių	1 vnt.	16,25 EUR	16,25 EUR
El. maitinimo kabelis 2x10mm ²	30 m.	5,46 EUR	163,8 EUR
El. maitinimo kabelis 2x6mm ²	2 m.	1,92 EUR	3,84 EUR
El. maitinimo kabelis 3x2,5mm ²	60 m.	0,91 EUR	54,6 EUR
Jungiamasis fideris L=1m. ½ colio	14 vnt.	23 EUR	322 EUR

5.6 lentelės tęsinys. Projektui įgyvendinti perkamos medžiagos

<i>Pavadinimas</i>	<i>Kiekiai</i>	<i>Vieneto kaina su PVM</i>	<i>Viso kaina su PVM</i>
Fideris 1 ¼ colio	280 m.	12,00 EUR	3360 EUR
Fideris ½ colio	76 m.	4,00 EUR	304 EUR
Jungtis N tipo ½ colio Male	6 vnt.	6,22 EUR	37,32 EUR
Jungtis 7/16 ½ colio Male	8 vnt.	11 EUR	88 EUR
Jungtis 7/16 1 ¼ colio Male	12 vnt	40 EUR	480 EUR
		Viso:	5645,54 EUR

Lentelėje pateiktos tik numatomos medžiagos, kurios reikalingos projektuojamai sistemai įdiegti. Instaliacijos eigoje medžiagų sąrašas turi būti koreguojamas.

5.3. Reikalingos investicijos telekomunikacinei įrangai įsigyti

Sekančiai, įvertinant projektuojamo vidaus judriojo ryšio tinklo atsipirkimo laiką, apskaičiuojami mobiliojo operatoriaus investuojami kaštai į telekomunikacinę įrangą. Telekomunikacinės įrangos pirkimą apima – visi pasyviniai tinklo komponentai, NOKIA sisteminis ir radijo moduliai, maitinimo šaltinis bei spinta įrangai montuoti.

5.7 lentelė. Telekomunikacinė įrangos kainos ir kiekiai

<i>Pavadinimas</i>	<i>Kiekiai</i>	<i>Vieneto kaina su PVM</i>	<i>Viso kaina su PVM</i>
Visa kryptinė antena, Kathrein 800 10249	8 vnt.	25 EUR	200 EUR
Skirstytuvas (spliteris), Kathrein 860 10101	2 vnt.	35 EUR	70 EUR
Netolyginis galios skirstytuvas, Kathrein 860 10151	4 vnt.	59 EUR	236 EUR
Dviejų dažnių filtras, Kathrein 782 10167	1 vnt.	125 EUR	125 EUR
Dviejų dažnių filtras, Kathrein 782 10192	1 vnt.	130 EUR	130 EUR
Dviejų dažnių filtras, Kathrein 782 10215	1 vnt.	129 EUR	129 EUR
Dviejų dažnių filtras, Kathrein A30051	1 vnt.	145 EUR	145 EUR
Sumatorius, Kathrein 782 10524	2 vnt.	185 EUR	370 EUR
3 dB apjungėjas, Kathrein 782 10524	1 vnt.	225 EUR	225 EUR
Flexi RRH 900 MHz	1 vnt.	895 EUR	895 EUR
Flexi RRH 2100 MHz	1 vnt.	852 EUR	852 EUR
Flexi RRH 800 MHz	1 vnt.	980 EUR	980 EUR
Flexi RRH 2600 MHz	1 vnt.	900 EUR	900 EUR
NOKIA Networks Flexi Multiradio10 BS	1 vnt.	2499 EUR	2499 EUR
Akumuliatorius 12V NorthStar	4 vnt.	195 EUR	780 EUR

5.7 lentelės tęsinys. Telekomunikacinė įrangos kainos ir kiekiai

<i>Pavadinimas</i>	<i>Kiekiai</i>	<i>Vieneto kaina su PVM</i>	<i>Viso kaina su PVM</i>
Optinis kabelis LC-LC	4 vnt.	99 EUR	396 EUR
Maitinimo blokas -48V (PSU)	1 vnt.	599 EUR	599 EUR
Telekomunikacijų spinta	1 vnt.	568 EUR	568 EUR
		Viso:	10099 EUR

Kaip matyti iš lentelėje pateiktų skaičiavimų, operatoriaus investicijos telekomunikacinei įrangai siekia **10099 EUR**.

5.4. Prognozuojamas projekto atsipirkimo laikas

Projekto atsipirkimo laikas prognozuojamas įvertinant logistikos sandėlyje esančių vartotojų skaičių, jų mėnesinį mokestį ryšio operatoriui ir operatoriaus išlaidas sistemos diegimui.

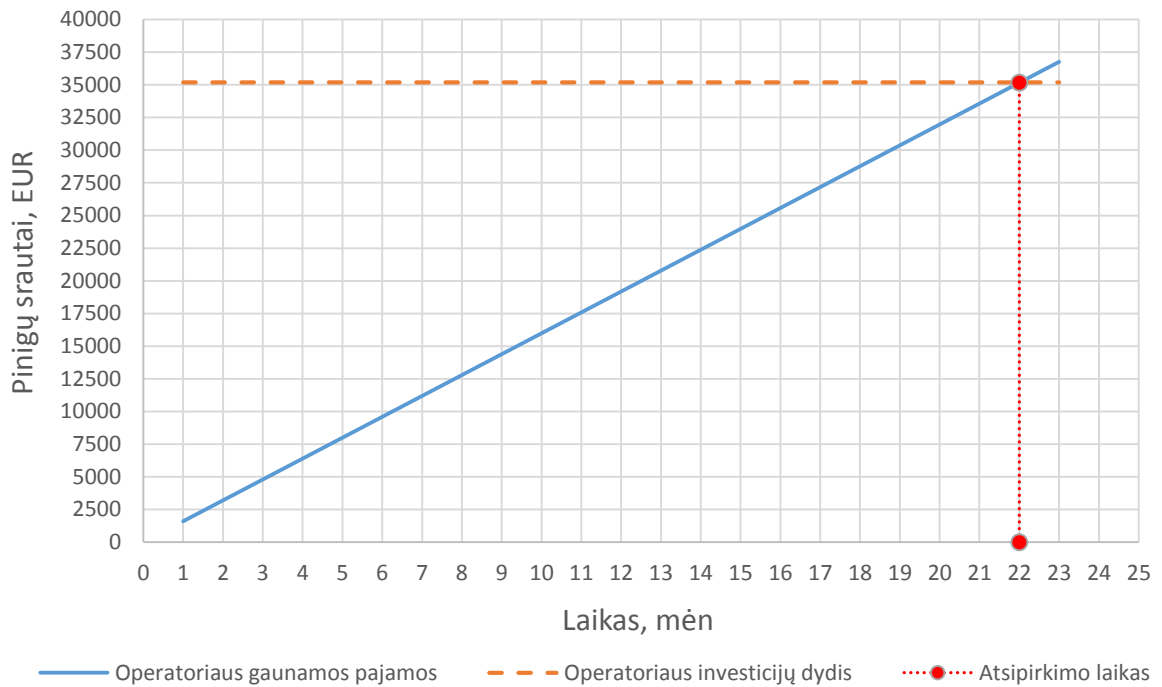
Iš anksčiau pateiktų skaičiavimų gauname, kad operatoriaus išlaidos sistemos diegimui ir projektavimui yra lygios **35186,94 EUR**. Įvertinant operatoriaus pajamas yra priimta, kad tinklo vartotojai ne vienodai pasiskirstę pagal naudojamas technologijas (5.8 lentelė), dėl šios priežasties skaičiavimams naudojamas vidutinis mėnesinis mokestis tinklo operatoriui.

5.8 lentelė. Vartotojų skaičius skirtingoms technologijoms

<i>GSM vartotojų skaičius</i>	<i>UMTS vartotojų skaičius</i>	<i>LTE/LTE-A vartotojų skaičius</i>
35	60	45

Atsižvelgiant į tai, kad vartotojų terminalai gali persijungti iš vienos technologijos į kitą, lentelėje pateikti skaičiai nurodyti įvertinant didžiausią vartotojų pasiskirstymo tikimybę. Tai reiškia, kad pateikti skaičiai nurodo mobiliųjų terminalų kiekį palaikančių atskiras technologijas (pvz. GSM vartotojai neturi galimybės persijungti į UMTS technologiją).

Atsipirkimo lako skaičiavimuose priimta, kad vidutinis kliento mėnesinis plano mokestis, įvertinus visų tipų vartotojus yra apie **10 EUR**. Grafiniu pavidalu pateikiami skaičiavimo rezultatai.



34 pav. Projekto atsipirkimo laikas

Kaip matyti iš aukščiau pateikto paveikslo, prognozuojamas projekto atsipirkimo laikas yra apie 22 mėnesiai su sąlyga, kad vidutinis mėnesinis plano mokestis yra apie 10 EUR. Ankstesniam atsipirkimui pasiekti galima pasiūlyti šiuos variantus:

- Padidinti mėnesinį plano mokestį;
- Projektuoti ir diegti paprastesnę sistemą (pvz. kartotuvą);
- Mažinti projektuojamų technologijų skaičių;
- Investicijas padalinti tarp ryšio operatoriaus ir logistikos sandėlio savininko.

IŠVADOS

1. Logistikos sandėlio vidaus judriojo ryšio tinklo realizavimui pasirinkta naudoti „NOKIA Networks“ bazinę stotį, kurios talpa priklauso nuo turimos programinės įrangos licencijos ir sumontuotų plėtimo modulių tipo.
2. Atlikus ryšio padengiamumo įvertinimą aukščiausiam sistemos dažniui nustatyta, kad pilnam sandėlio padengiamumui užtikrinti reikalingos aštuonios visa kryptinės antenos, kai kiekvienos antenos EIRP nemažesnė kaip 24 dBm.
3. Sudaryti du galimi tinklo struktūros realizavimo variantai - vienam mobiliojo ryšio operatoriui ir keliems operatoriams. Suprojektuotas tinklas gali būti lengvai modernizuojamas į tą pačią paskirstytųjų antenų sistemą, įterpian kitus mobiliojo ryšio operatorius.
4. Apskaičiavus aukščiausio dažnio signalo galios slopinimą pereinant pasyvinis tinklo elementus nustatyta, kad tinklo struktūroje naudojant $\frac{1}{2}$ koaksialinius kabelius, antenų spinduliavimo galia neturėtų nukristi žemiau 25 dBm ribos. Sistemoje naudojant $1\frac{1}{4}$ colio kabelius EIRP padidėja iki 27 dBm.
5. Įvertinus vartotojų sukuriamus srautus atskiroms technologijoms nustatyta, kad LTE/LTE-A sistemos pralaidumas turėtų siekti 393 Mbps žemynkrypčiam ir 212 Mbps aukštynkrypčiam perdavimui, HSDPA technologijai 84 Mbps.
6. Įvertinus sistemos diegimo ir projektavimo kaštus, operatoriaus išlaidas konstrukciniams elementams, bei kabelinei infrastruktūrai, investicijas telekomunikacinei įrangai ir vidutinį kliento mėnesinį mokestį nustatyta, kad prognozuojamas projekto atsipirkimo laikas yra 22 mėnesiai.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Morten Tolstrup. Indoor radio planing. „Practical guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE“, 2011, p. 71-170.
2. Radio Communication System Group, KTH. „Outdoor to Indoor Radio Wave Propagation for Wireless In Building Solutions“, 2011, p. 19-30.
3. Kimmo Hiltunen. „Using RF repeaters to improve WCDMA HSDPA coverage and capacity inside buildings“, 2006, p.342.
4. Jukka Lempiainen, Matti Manninen. „UMTS Radio Network Planning, Optimization and QoS Management“, 2004.
5. Chunglong He, Bin Sheng, Pengcheng Zhu, Xiaohu You, Geoffrey Ye Li, „Energy – and Spectral – Efficiency Tradeoff of Distributed Antenna Systems with Proportional Fairness“, 2013, p. 1-7.
6. Azah Syafiah Mohd Marzuki, Amir RazifAbd Rahim, Benyazwar Mohmd, Khaidir Khalil, Amran Naemat and Azlinda Tee. “Antenna Isolation Considerations in WCDMA Repeater Deployment”, 2006.
7. Marek Neruda, Jaroslav Vrana, Robert Bestak. “Femtocells in 3G mobile networks”, 2009, p. 1-4.
8. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) repeater planning guidelines and system analysis (3GPP TR. 25.956 version 12.0.0 Release12), 2014.
9. PIM Testing – Anritsu America. „Understanding PIM“. [žiūrėta 2015-10-27]. Prieiga per internetą: http://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/solutions/en-us/Understanding_PIM#.
10. PIM Testing, Test Equipment Analyzer, Passive Intermodulation. [žiūrėta 2015-10-27]. Prieiga per internetą: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/passive-intermodulation-pim/testing-equipment.php>.
11. Recommendation ITU-R P.1238-2. „Propagation data and prediction methods for planing of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900MHz to 100GHz, 2007.
12. Yuhao Wang, Bo Kong, An Li, Siyue Chen, „A New Integral Propagation Model for Radio Coverage Prediction in Indoor Environments“, 2011.
13. TAI TR8 Working Group 8.8 Technology Compatibility. „ A report on technology independent methodology for the modeling, simulation and empirical verification of wireless communication system performacne in noise and inference limited systems operating on

- frequencies between 30 and 1500 MHz“. [žiūrėta 2015-10-18]. Prieiga per internetą: http://w3.antd.nist.gov/wctg/manet/docs/TIAWG88_20.pdf.
14. Journal of Engineering Research and Studies. Kiran Ahuja, Manoj Kumar. „Significance of empirical and physical propagation models to calculate the excess path loss“, 2011, p. 1-6.
 15. Cassio Bento Andrade, Roger Pierre Fabris Hoefel. „On Indoor Coverage Models for Industrial Facilities“, 2010, p. 1-4.
 16. 3G TR 25.951 v0.0.1. „3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network“, 2000.
 17. Matthias Lott, Ingo Forkel. „A Multi-Wall-and-Floor Model for Indoor Radio Propagation“, 2011, p. 4.
 18. Jeanette Wannstrom, for 3GPP. „Carrier Aggregation explained“. [žiūrėta 2015-10-21] Prieiga per internetą: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>.
 19. Nokia Networks. „LTE-Advanced Carrier Aggregation Optimization“. [žiūrėta 2015-10-21] Prieiga per internetą: <http://networks.nokia.com/videos/nokia-lte-advanced-carrier-aggregation>.
 20. Ian F.Akyildiz, David M.Gutierrez-Estevez, Elias Chavarria Reyes. „The evolution to 4G systems: LTE – Advanced“, 2010, p. 28.
 21. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex. „An Introduction To LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications“, 2014, p. 449.
 22. „Tele2“ ryšio tinklo įrangą keis modernesne ir taupesne - DELFI Mokslas. [žiūrėta 2015-11-18]. Prieiga per internetą: <http://www.delfi.lt/mokslas/technologijos/tele2-ryσιο-tinklo-iranga-keis-modernesne-ir-taupesne.d?id=58544969>.
 23. NOKIA flexi Zone Indoor Pico BTS. [žiūrėta 2015-11-18]. Prieiga per internetą: http://networks.nokia.com/system/files/document/nsn_flexi_zone_indoor_pico_bts_datasheet.pdf.
 24. BTS | Flexi Multiradio 10 Base Station | Nokia Networks. [žiūrėta 2015-11-18]. Prieiga per internetą: <http://networks.nokia.com/ru/portfolio/products/mobile-broadband/single-ran-advanced/flexi-multiradio-10-base-station>.
 25. Enterprise Wi-Fi for K-12 and Higher Education | Aerohive Networks. [žiūrėta 2015-11-15]. Prieiga per internetą: <http://www.aerohive.com/solutions/industry/education.html>.
 26. Tinklapis apie elektros taupymą ir teisingą naudojimą [žiūrėta 2015-11-22]. Prieiga per internetą: <http://www.220v.lt/lentas.html>
 27. Agilent Technologies. „Deployment, Optimization and Maintenance of UMTS Networks with WIZARD“, 2001, p.16.

28. Fourat Haider, Erol Hepsaydir, Nicola Binucci. „Performance Analysis of a Live Mobile Broadband – HSDPA Network“, 2008, p. 5.
29. AWE Communications. „An Introduction to 3G Monte – Carlo simulations within ProMan“, 2006, p. 11.
30. Cellular Expert Professional- Mobile Network Planning | Cellular Expert [žiūrėta 2015-12-01]. Prieiga per internetą: <http://www.cellular-expert.com/products/desktop/professional>.
31. Nokia Siemens Networks, System Library, v. 1.. „Dimensioning WCDMA RAN“, 2007, p. 33-53.
32. Darbo vietos skaičiuoklė. [žiūrėta 2015-11-23]. Prieiga per internetą: http://www.sodra.lt/lt/skaiciuokles/darbo_vietos_skaiciuokle .

PRIEDAI