

MYKOLO ROMERIO UNIVERSITETAS
SOCIALINIŲ TECHNOLOGIJŲ FAKULTETAS
SKAITMENINIŲ TECHNOLOGIJŲ INSTITUTAS

NERIJUS BLAŽYS

(Verslo informatika)

INTERNETO TINKLO PROJEKTAVIMAS
MIESTELIO ZONAI

Magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas:

Lekt. V. Dubovskaja

Vilnius, 2013

MYKOLO ROMERIO UNIVERSITETAS
SOCIALINIŲ TECHNOLOGIJŲ FAKULTETAS
SKAITMENINIŲ TECHNOLOGIJŲ INSTITUTAS

INTERNETO TINKLO PROJEKTAVIMAS

MIESTELIO ZONAI

Verslo informatikos magistro baigiamasis darbas

Studijų programa 621I13005

Vadovas:

Lekt. V. Dubovskaja

2013–12–17

Recenzentas

Atliko:

Stud. Nerijus Blažys, VImns2–01

2013–12–17

Vilnius, 2013

Turinys

Sutrumpinimai.....	4
Įvadas ir užduoties analizė.....	5
1. Interneto rinkos analizė pasirinktame miestelyje.....	7
2. Analitinis interneto technologijų tyrimas.....	14
2.1. Wi-Fi technologija.....	14
2.1.1. Wi-Fi standartai.....	14
2.1.2. Wi-Fi vietinio tinklo modelis ir technologinio sprendimo kaina.....	16
2.2. WiMAX technologija.....	18
2.2.1. WiMAX 802.16 d/e/m standartai.....	19
2.2.2. WiMAX tinklo schema ir technologinio sprendimo kaina.....	21
2.3. xDSL technologija.....	24
2.3.1. xDSL standartai ir jų veikimo principas.....	25
2.3.2. ADSL technologija.....	25
2.3.3. ADSL tinklo schema ir technologinio sprendimo kaina.....	27
2.4. Interneto technologijos pasirinkimas.....	31
3. Interneto prieigos taškų projektavimas.....	34
3.1. Galinė vartotojų įranga.....	34
3.2. Bazinio belaidės prieigos prietaiso ryšio aprėpties zona.....	35
3.3. Vartotojų zonos.....	38
3.3.1. Pirmasis interneto prieigos taškas.....	38
3.3.2. Antrasis interneto prieigos taškas.....	41
3.4. Prieigos zonų sujungimas.....	43
3.5. Projekto ekonominis vertinimas.....	46
Išvados.....	50
Literatūros sąrašas.....	51
Santrauka (lietuvių kalba).....	54
Santrauka (anglų kalba).....	55

Sutrumpinimai

DNS (angl. Domain Name System) – srities vardų struktūra, naudojama IP adreso simboliniam vardui.

Eternetas (angl. Ethernet, FastEthernet) – kompiuterinių tinklų technologija, skirta vietiniams tinklams (LAN) formuoti, standartizuota IEEE 802.3 standartu, duomenų srautą skaidanti į individualius kadrus, kuriuose nurodomi duomenų siuntėjo ir gavėjo adresai (IP), klaidų tikrinimo duomuo.

IP adresas (angl. Internet Protocol address) – kompiuterio identifikatorius interneto tinkluose.

Kokybiška paslauga – paslaugos savybės neturi būti blogesnės, nei yra numatyta tai paslaugai taikomame techniniame reglamente ir paslaugų teikimo sutartyje.

MAC adresas (angl. Media Access Control address) – unikalus identifikatorius, kurį turi kiekviena tinklo sąsaja komunikacijai tinklo fiziniame lygmenyje.

MAN (angl. Metropolis Area Network) – kompiuterių tinklas, apimantis tam tikrą geografinę teritoriją (miesto, miestelio zoną).

NAT (angl. Network Address Translation) – vidinių IP adresų priskyrimas ir keitimas išoriniais IP adresais.

OFDM (angl. Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – ortogonalinių signalų dažnių tankinimo technologija.

SSH (angl. Secure Shell) – tinklo protokolas, aprašantis saugųjį kliento prisijungimą prie serverio aplinkos ir komandų vykdymą.

VLAN (angl. Virtual Local Area Network) – virtualusis vietinis tinklas.

WEB (angl. World Wide Web) – žiniatinklis.

Wi-Fi (angl. Wireless Fidelity) – belaidės ryšio technologijos prekinis ženklas, kuris priklauso Wi-Fi aljansui.

WiMAX (angl. Worldwide Interoperability for Microwave Access) – belaidės ryšio technologija, leidžianti duomenis perduoti radijo ryšiu.

WLAN (angl. Wireless Local Area Network) – belaidės interneto tinklo topologijos modelis.

WPA/WPA2 (angl. Wi-Fi Protected Access) – Wi-Fi apsaugos mechanizmai.

VoIP (angl. Voice over IP) – duomenų perdavimo tinklais (naudojant interneto protokolą) perduodami balso duomenys.

Įvadas ir užduoties analizė

Šiandieniniame pasaulyje žmogus savo dienos nebeįsivaizduoja be interneto, jis suteikia galimybę naudotis elektroniniu paštu (gauti, siųsti elektroninius laiškus), surasti reikiamą informaciją pasauliniuose duomenų masyvuose, sužinoti apie pasaulyje vykstančius įvykius, susijusius su tam tikrų šalių ekonomika, kariniais veiksmais, vykdoma politika. Internetas – tai terpė, kuri leidžia dalintis ne tik tam tikrais failais, bet ir informacija, diskutuoti su kitais žmonėmis virtualioje erdvėje vienu ar kitu klausimu. Internetas tarsi sujungia įvairias informacines sistemas, kuriose gali būti žmogaus sveikatos istorija, banko sąskaita, elektroninė parduotuvė su tam tikromis prekėmis ar paslaugomis, su naudotojais, atverdamas galimybę neišėjus iš namų atlikti elektroninius bankinius pavedimus, pasirašyti sutartis, parduoti ar pirkti prekes ir paslaugas, deklaruoti pajamas.

Suprantant interneto svarbą žmogui – kaip įrankį, palengvinantį gyvenimą – ir buvo pasirinkta interneto tinklo projektavimo tema. Nuspręsta surasti miestelį, esantį ežerų, poilsio zonoje (vartotojų skaičiaus pagausėjimas priklauso nuo metų laiko – vasarą atvyksta daugiau turistų, atostogauja nuolatinių gyventojų giminaičiai), išanalizuoti miestelyje teikiamas interneto paslaugas, palyginti šių paslaugų kainas, gaunamą interneto greitaveiką, ir aptarti, kiek gyventojų neturi prieigos prie interneto, bet norėtų turėti – taip suformuojama esama rinkos situacija. Jei paaiškėtų, kad trūksta interneto prieigos paslaugų arba vartotojai nepatenkinti teikiamomis paslaugomis, būtų siekiama išspręsti šią problemą aptariant vartotojų poreikius, nustatant interneto naudojimosi tikslus, reikalingą spartą. Atrinkus esminius punktus, kuriuos turėtų tenkinti interneto prieigos paslauga, bus pereinama prie interneto technologijos pasirinkimo.

Atlikus analitinį, plačiai taikomų interneto technologijų Wi-Fi, WiMAX, xDSL tyrimą ir nustačius vieno vartotojo naudojamą greitaveiką, sutankinimą, tai pritaikius prie esamos situacijos ir įvertinus galimą tinklo plėtimą 4 metams į priekį, bus sprendžiama, kokia technologija remiantis turi būti atliekamas interneto tinklo projektavimas, parenkant prietaisus bei nurodant geografinį jų išdėstymą, sujungimą miestelio zonoje bei apskaičiuojant reikiamas lėšas projekto įgyvendinimui, pateikiant ekonominį įvertinimą.

Šio darbo tikslas – išanalizavus pasirinkto miestelio gyventojų interneto poreikius ir plačiai taikomas šiuolaikines interneto technologijas, suprojektuoti interneto tinklą aptartame miestelyje.

Darbo uždaviniai:

1. Pagal nustatytus kriterijus pasirinkti miestelį ir išanalizuoti esamą interneto rinką ir gyventojų poreikius.
2. Pagal nustatytus reikalavimus palyginti plačiai naudojamas interneto technologijas.

3. Įvertinus miestelio gyventojų poreikius ir pasirinkus pigiausią ir kokybiškiausią interneto prieigos technologiją, pateikti interneto prieigos taškų modelį.

4. Apskaičiuoti reikiamas lėšas ir projekto atsiperkamumą – pateikti ekonominį įvertinimą.

Darbą sudarys trys dalys: pirmojoje dalyje pasirinkus miestelį bus atliekama esama interneto prieigos paslaugų rinkos analizė, nustatomi vartotojų poreikiai, interneto naudojimo tikslai, greitaveika, antrojoje – palyginamos plačiai taikomos interneto prieigos technologijos ir nustatomas tinkamiausias variantas, tada pereinama prie trečiosios dalies – pagal tinkamiausios technologijos topologiją projektuojami interneto prieigos taškai miestelyje ir apskaičiuojama interneto paslaugos kaina vartotojui pagal pasirinktą vartotojų skaičiaus augimo modelį.

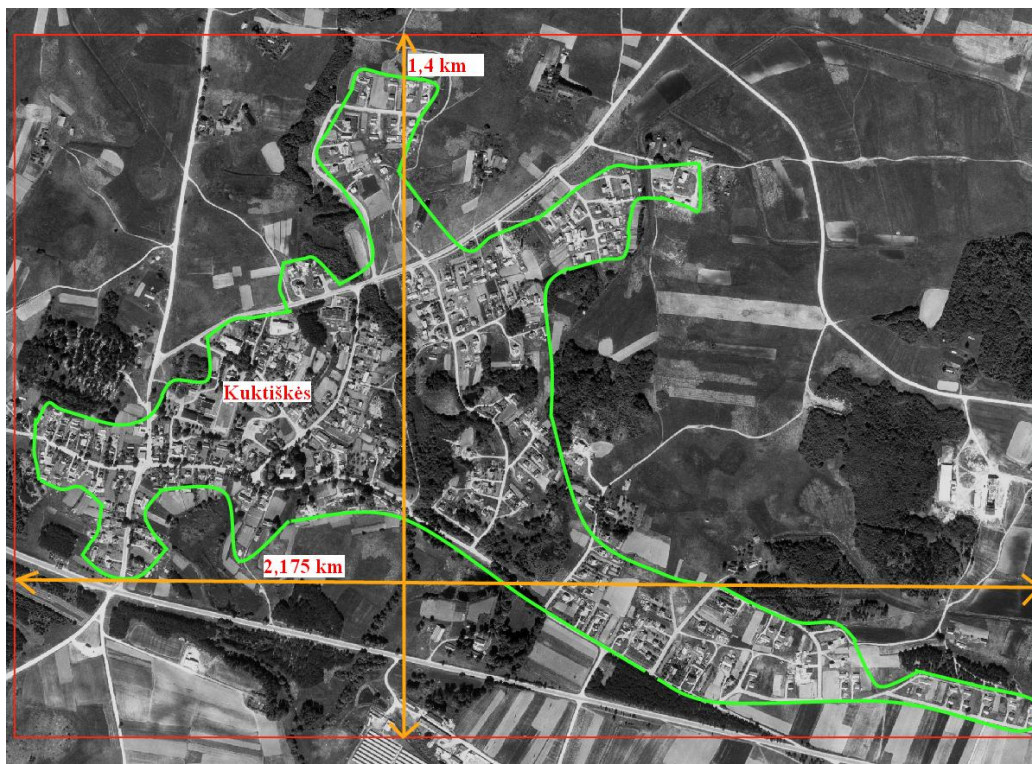
Pabaigoje pateikiamos išvados bei literatūros sąrašas.

1. Interneto rinkos analizė pasirinktame miestelyje

Lietuvoje galima pastebėti tendenciją, jog daugelio miestų zonų yra plačiai išvystytas interneto tinklas, didelis interneto tiekėjų pasirinkimas, kai užmiesčio zonose, miesteliuose yra ribotas pasirinkimas: telefonų linijomis teikiamos interneto paslaugos (dalyje miestelių telefono linijos techniškai netinka internetui, o kai kuriuose net nėra jų) arba judriojo ryšio operatorių teikiamos paslaugos. Pasirinkus judriojo ryšio interneto paslaugą, susiduriama su problema, kad teikiama interneto greیتaveika nepastovi, netenkina vartotojų poreikių, ryšio kokybė labai priklauso nuo oro sąlygų, judriojo ryšio operatorių teikiamos paslaugos dažniausiai palaiko EDGE (angl. Enhanced Data Rates for GSM) standartą, kurio sparta 150–170 Kb/s. Žvelgiant iš vartotojų pusės, pagal Informacinės visuomenės plėtros komiteto prie Susisiekimo ministerijos pateiktą Informacinės visuomenės plėtros 2011–2019 m. programos vertinimo ataskaitą už 2012 metus [1], dažniausiai internetu naudojamosi nuotolinio mokymosi tikslais (nuotoliniai vaizdo kursai, tam tikrų studijų modulių elektroninė medžiaga), elektroniniu būdu teikiamomis viešosiomis ir administracinėmis paslaugomis (pajamų deklaravimas, nekilnojamo turto kadastras, adresų registras, elektroninė bankininkystė), el. prekyba – šioms operacijoms atlikti nereikalingas didelės spartos internetas. Šioje ataskaitoje nebuvo aptarti vartotojų laisvalaikio leidimo būdai, pvz., filmų žiūrėjimas (vaizdo srautas), pokalbiai naudojant „Skype“ programą arba VoIP technologiją (balso srautas), šie srautai sudaro nemažą dalį interneto turinio, užima didelį kiekį duomenų, todėl norint greitai juos persiųsti iš vieno taško į kitą, reikalingas spartus interneto ryšys.

Kadangi aptartoje ataskaitoje buvo įvardyti tik interneto panaudojimo tikslai ir nebuvo analizuojama informacija apie Lietuvos interneto operatorių siūlomas interneto spartas, todėl Ryšių reguliavimo tarnyba 2012 m. atliko tyrimą [2], kurio metu siekė išsiaiškinti, kokių interneto operatorių paslaugomis Lietuvos gyventojai dažniausiai naudojasi, kokios spartos internetu naudojamosi ir ar yra patenkinti paslaugos greیتaveika. Pagal atlikto tyrimo ataskaitą, t. y. apklausiant TEO AB, LT klientus (didžiausia dalis Lietuvos miestelio gyventojų naudojasi šios bendrovės paslaugomis), nustatyta, kad didžioji dalis vartotojų naudojasi interneto sparta nuo 2 iki 10 Mbit/s ir jos pakanka bendriesiems, anksčiau išvardintiems gyventojų poreikiams internete patenkinti. Didžiausias interneto greیتaveikos poreikis reikalingas tiesioginiai filmų peržiūrai, rekomenduotina 480–720p (standartinės ir aukštos kokybės, 480 ir 720 horizontalių aktyvių taškų linijų) kokybės filmo peržiūrai interneto greیتaveika nuo 2 iki 5 Mbit/s, kad vartotojas nepatirtų nuolatinių vaizdo trukdžių. Remiantis šiais duomenimis bei apsibrėžta sąlyga, jog vasarą miestelyje gyventojų skaičius turėtų padidėti, žiemą – sumažėti, bet besinaudojančių internetu bazinis skaičius išliktų pastovus, nustatomi kriterijai renkantis miestelį ir interneto greیتaveikos ribinius taškus. Įvardintas sąlygas atitinka miesteliai, esantys ežerų, poilsio zonose, kadangi vasarą turistai ar

vietiniai Lietuvos gyventojai mėgsta praleisti laiką prie ežerų, rekreacinėse zonose, todėl tikslinga pasirinkti plačiai žinomą ežerų kraštą – Aukštaitiją. Šiame regione didžiausia ežerų koncentracija bei poilsiaviečių gausa pasižymi Utenos rajonas, kurio pakraščiuose išsidėstę daug miestelių, bet renkantis pagal labiausiai išplėtotas poilsio, turizmo zonas bei nedidelį atstumą iki Utenos centro yra keletas miestelių, vienas iš jų Kuktiškės. Jis yra šalia kelio 111 Utena–Kaltanėnai–Švenčionys, 12 km į pietryčius nuo Utenos. Šio miestelio geografinis išsidėstymas pateiktas 1.1 paveiksle (žalios spalvos linija) [3].



1.1 pav. Kuktiškių miestelio geografinis žemėlapis

Pagal 2011–05–20 atliktą Lietuvos gyventojų surašymą, Kuktiškėse yra registruoti 805 gyventojai [4]. Šis gyventojų skaičius nuolatos kito, tai rodo apibendrinta histogramos lentelė:

1.1 lentelė. Kuktiškių gyventojų demografinė raida nuo 1979 m. iki 2011 m.

1979 m.	1985 m.	1989 m.	2001 m.	2005 m.	2008 m.	2011 m.
445	485	580	485	519	623	805

Išanalizavus lentelėje pateiktus skaičius, galima pastebėti, jog kasmet gyventojų skaičius didėjo.

Nagrinėjant Kuktiškių miestelio bustus, svarbu akcentuoti, kad didžioji dalis gyventojų yra įsikūrę nedideliuose vieno ar dviejų aukštų mūriniuose namuose. Šių pastatų skaičius miestelyje yra 220, taip pat yra ir 3 dviejų aukštų mūriniai daugiabučiai namai, juose įrengta 18 butų.

Miestelyje yra vidurinė mokykla, seniūnija (joje įsikūrusi viešoji biblioteka), kiekvienoje iš šių įstaigų yra galimybė pasinaudoti viešosios interneto prieigos tašku [5, p. 108–124], šią paslaugą teikia VĮ Infostruktūra ir Lietuvos mokslo ir studijų institucijų kompiuterių tinklas (LITNET). Yra sudaryta galimybė Kuktiškių gyventojams, neturintiems interneto prieigos namuose, pasinaudoti bibliotekoje esančiais kompiuteriais ir atlikti norimus veiksmus.

Dalis Kuktiškių miestelio gyventojų turi galimybes pasirinkti įmonės TEO LT, AB teikiamas paslaugas: turintiems telefono liniją naudotojams (jie sudaro apytiksliai dešimt procentų gyventojų) įmonė gali pasiūlyti ADSL paslaugas – naudojant šią technologiją yra galimybė teikti naudotojui ne tik interneto, bet ir fiksuotojo telefono ryšio paslaugą. Naudotojas gali užsisakyti šią paslaugą, jeigu iki jo būsto yra atvesta telefono linija. Jei tokios linijos nėra, ją gali įrengti įmonė, jei yra tokia techninė galimybė. Už linijos atvedimą iki būsto (telefono linijos įvadą) naudotojas privalo sumokėti tam tikrą mokestį arba šį mokestį įmonė gali išskaidyti dalimis, pridėdama prie abonentinio mokesčio, bet už tai naudotojas privalo pasirašyti tam tikros trukmės paslaugų naudojimo sutartį, kurioje įsipareigotų (TEO LT, AB atveju) visą sutarties laikotarpį mokėti už mėnesinius įvadą, pokalbių bei interneto planus. Telefono linijos įvado įrengimo kaina priklauso nuo jau įmonės išplėto tinklo miestelyje, atstumo iki artimiausio galimo sujungimo taško su esama tinklo infrastruktūra. Ši kaina gali svyruoti nuo 3000 iki 5000 Lt (jei yra techninės galimybės).

Naudotojams, kurių būstuose yra telefono linijos įvadas, teikiamos interneto ir fiksuotojo telefono ryšio paslaugos, pagal tam tikrus planus [6,7]:

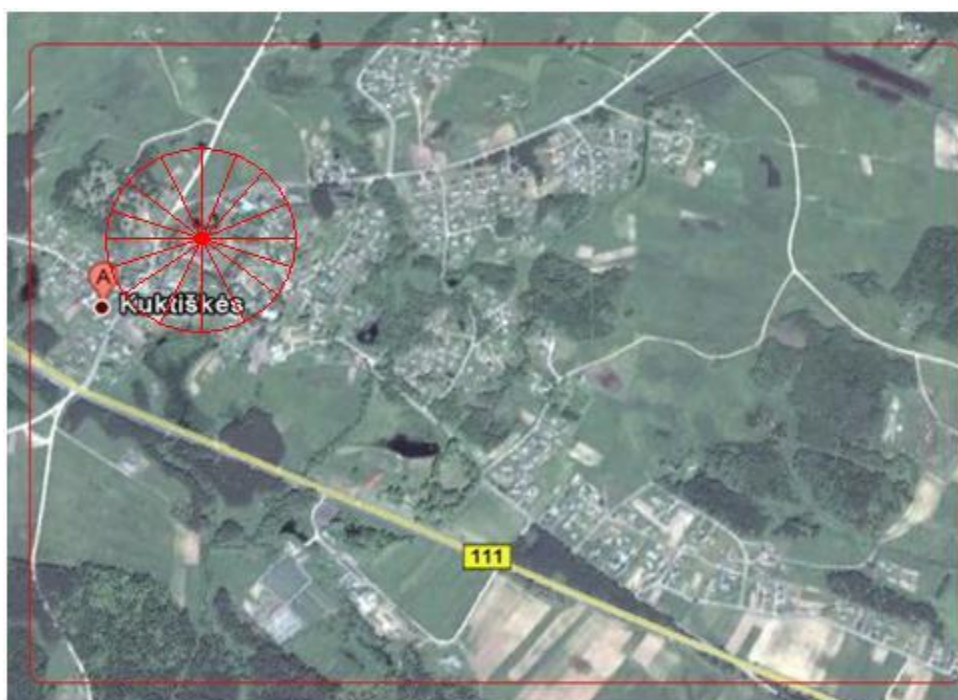
1.2 lentelė. Pokalbių ir interneto paslaugų planai ir jų kainos

Planas	Įrengimo mokestis, Lt	Įrangos mokestis, nuoma	Mėnesinis mokestis, Lt/mėn	Sparta Lietuvoje ir užsienyje
Interneto planai				
Startas	59,90	Nuo 200 Lt, 3Lt/mėn.	29,90	Iki 2 Mbit/s
Bazinis plius			39,90	Iki 4 Mbit/s
Optimalus plius			49,90	Iki 8 Mbit/s
Pokalbių planai				
Minutės	59,90	–	23,90	–
Valandos		–	29,90	–
Paros		–	36,90	–

Kadangi TEO LT, AB neteikia tik interneto paslaugos, todėl papildomai privaloma užsakyti ir tam tikrą pokalbių planą arba mokėti mėnesinį įvado mokestį (18 Lt/mėn.). Pagal 1.2 lentelę, pigiausias pokalbių planas – 23,90 Lt/mėn., o pasirinkus ir pigiausią interneto planą „Startas“, kurio mėnesinis mokestis 29,90 litai, sparta Lietuvoje ir užsienyje iki 2 Mbit/s. Tokio greičio pakanka anksčiau įvardintiems bendriems interneto naudotojų tikslams pasiekti (laikant, kad Kuktiškių miestelio gyventojų poreikiai nesiskiria nuo bendros Lietuvos gyventojų poreikių tendencijos), bet duomenų failų siuntimui, tiesioginei vaizdo peržiūrai greitis per mažas. Tarkim, 1000 MB (tiek užima vidutinės kokybės filmas) užtruktų atsisiųsti iš Lietuvoje esančių duomenų saugyklų per 1 valandą ir 5 minutes, kuomet vidutinis atsisiuntimo greitis 256 kB/s. Kaip išėitis egzistuoja galimybė pasirinkti kitą interneto planą su dvigubai didesne greitaveika, bet mokestis kas mėnesį 39,90 Lt.

Daugelis žmonių naudojami judriojo ryšio operatorių paslaugomis, ne išimtis ir Kuktiškių gyventojai, todėl judriojo ryšio abonentams nereikalingas fiksuotojo ryšio pokalbių planas, tuomet susiduriama su problema, kad tik interneto paslaugos TEO LT, AB neteikia. Naudotojai, norintys užsisakyti tik interneto paslaugą, praranda galimybę turėti tik interneto ryšį, o užsisakę interneto ir pokalbių paslaugas, privalo sumokėti kas mėnesį apie 50–80 litų, o jei kaina netenkina, tuomet jie priversti ieškoti pigesnės alternatyvos.

AB Lietuvos radijo ir televizijos centras Kuktiškėse (ant mokyklos kamino) turi įsirengę Wi-Fi technologijos pagrindu veikiančią bazinę stotį, kuri teikia interneto prieigą gyventojams. Šios stoties belaidės interneto prieigos ryšio aprėpties zona padengia apie dešimt procentų miestelio ploto (raudonos spalvos apskritiminė zona) [8]:



1.2 pav. Belaidės interneto prieigos aprėpties zona

Kaip matyti iš 1.2 paveikslo, tik labai nedidelė Kuktiškių miestelio gyventojų dalis, įsikūrusi centre, gali naudotis belaidė interneto prieiga, jie gali užsisakyti internetą, pasirinkdami vieną iš planų [8]:

1.3 lentelė. Interneto planai

Planas	Maksimali greitis Lietuvos ir užsienio tinkluose	Mėnesio mokestis, Lt su PVM
Erdvės 1	nuo 128 kbit/s iki 1 Mbit/s	47
Erdvės 2	nuo 256 kbit/s iki 2 Mbit/s	67
Erdvės 3	Nuo 512 kbit/s iki 5 Mbit/s	99

Kad naudotojas galėtų turėti internetą namuose, jam reikalinga galinė įranga „Nanostation 2“. Šios įrangos komplektą sudaro lauko antena ir modemas, kaina 299 litai. Įrangos sumontavimo darbų kaina priklauso nuo laikotarpio, kurį abonentas įsipareigoja naudotis interneto paslauga. Jei pasirašoma neterminuota sutartis, tuomet bazinė įrangos kaina – 442 litai. Ši įranga, pasibaigus sutarties terminui, lieka naudotojui.

Naudotojams, kurie gyvena toliau nuo mokyklos ir nėra techninių galimybių turėti internetą, yra siūlomas ganėtinai brangus, bet iš dalies efektyvus planas – paslauga „Vienkiemiai“. Įrengiama ant namo arba aukščiausioje vietoje antena, kuri nukreipiama į bazinę stotį ir sudaro „taškas – taškas“ sujungimą. Tokių paslaugų kainos svyruoja, priklausimai nuo greičio, nuo 47 Lt/mėn. iki 99 Lt/mėn. [8].

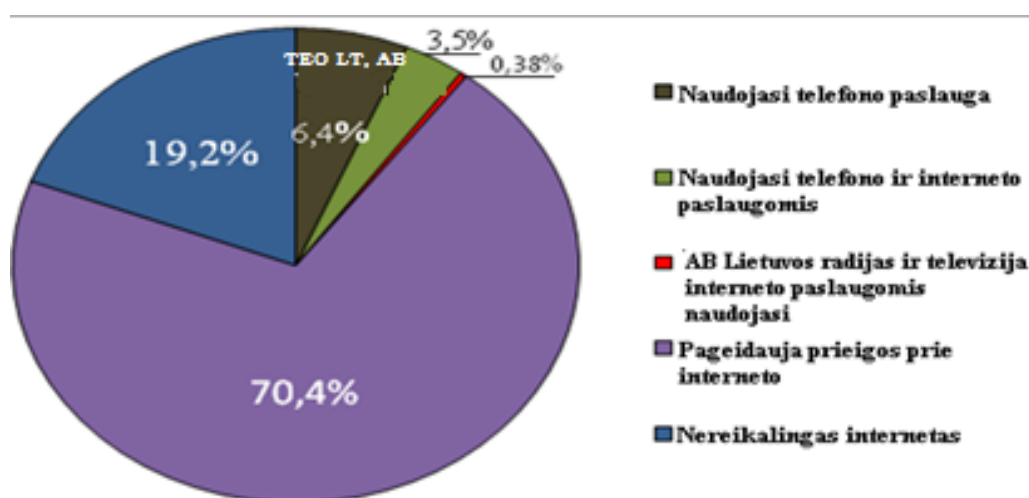
Kaip alternatyva įvardintų paslaugų tiekėjų interneto paslaugoms, galėtų būti judriojo ryšio „Bitė“, „Omnitel“, „Tele2“ tinklais teikiamas internetas, bet svarbu paminėti, jog šių paslaugų neigiamas aspektas – suteikiamas ribotas duomenų kiekis, kurį vartotojas gali parsisiųsti per mėnesį, ir labai nepastovi greitis. Siekiant nuspręsti, kokia vieno interneto vartotojo gaunama optimali greitis šiame miestelyje galėtų būti (tenkintų bendruosius poreikius), reiktų atkreipti dėmesį ir į Lietuvos Respublikos ryšių reguliavimo tarnybos pateiktą 2012 metų belaidės interneto prieigos paslaugų kokybės rodiklių įvertinimo ataskaitą [2], kurioje nurodytos įvairiuose Lietuvos regionuose užfiksuotos judriojo ryšio operatorių teikiamų interneto paslaugų greičio vertės. Utenos regione buvo užfiksuotos tokios vertės:

1. „Bitė“ tinkle iki 3 Mbit/s;

2. „Omnitel“ tinkle iki 5 Mbit/s;
3. „Tele2“ tinkle iki 3,5 Mbit/s.

Akivaizdu, jog optimaliausia parinkti vienam vartotojui tekstinčią interneto spartą nuo 2 iki 4 Mbit/s ribose, taip būtų užtikrinta galimybė tenkinti visus bendruosius interneto vartotojų poreikius. Nusistatomas 4 metų laikotarpis, per kurį tik minimaliai pakeitus tinklą būtų teikiamos paslaugos. Tiksliau apsibrėžiant, galima laikyti, kad pasirenkama maksimali greitis iki 4 Mbit/s, taip orientuojantis į mažesnę paslaugos mėnesinę kainą, nei kad dabar gali pasiūlyti interneto tiekėjai.

Paaiškėjus, kad Kuktiškėse yra potencialių naudotojų, kurie norėtų turėti internetą, ir siekdamas pagrįsti šį poreikį, 2012 m. kovo mėnesį TEO LT, AB atliko gyventojų apklausą. Apklausos metu buvo siekiama išsiaiškinti, kiek būsto savininkų arba juos besinuomojančių gyventojų turi interneto, fiksuotojo telefono ryšio paslaugas, kokių operatorių paslaugomis naudojasi, kiek potencialių naudotojų užsisakytų tik interneto paslaugas. Pasibaigus apklausai, buvo suskaičiuoti respondentai, jų iš viso buvo apie du šimtus (90 % Kuktiškių gyventojų). Apibendrinus gautus duomenis, buvo nubraižyta gyventojų, besinaudojančių ar norėsiančių naudotis interneto paslaugomis, skritulinė diagrama, pateikta 1.3 paveiksle.



1.3 pav. Kuktiškių gyventojų paslaugų naudojimo pasiskirstymas

Pagal pateiktą diagramą galima teigti, kad apytiksliai 70 procentų apklaustų respondentų neturi interneto prieigos namuose, bet norėtų turėti. Šios problemos atsiradimo priežastys gali būti labai įvairios: gal operatoriai neturi techninių galimybių įrengti internetą, galbūt siūlomos interneto paslaugos per brangios (kainuoja apie 50 litų per mėnesį ir daugiau). Kaip viena iš daugelio galimybių išspręsti šią problemą – suprojektuoti interneto tinklą:

1. pritaikytą šio miestelio poreikiams, demografiniam išsidėstymui;

2. išanalizuojant plačiai taikomas interneto technologijas: Wi-Fi, WiMAX, xDSL, ir pasirenkant optimaliausią variantą pagal reikiamos techninės įrangos kainą, nuo kurios priklausys interneto paslaugos kaina naudotojui;

3. tenkinantį gyventojų poreikius: suprojektuotas tinklas turėtų padengti interneto ryšiu ne mažiau 70 % miestelio būstų (tai sudaro 154 būstus), interneto sparta vienam vartotojui turėtų būti iki 4 Mbit/s.

Po projekto įgyvendinimo per 4 metų laikotarpį būtų galima tik minimaliai keisti interneto tinklą, siekiant prisitaikyti prie padidėjusių vartotojų poreikių. Suprojektuoto tinklo savininku galėtų būti tiek seniūnija, tiek tam tikras interneto tiekėjas, kuris laikytų suprojektuotą miestelio tinklą kaip jau esamo savo tinklo praplėtimą. Jei savininkas būtų seniūnija, tuomet tikslinga orientotis į atskirą, nuo nieko nepriklausomą tinklą, kuriam išėjimą į internetą galėtų teikti keletas interneto tiekėjų. Prieš pasirenkant, kokią interneto technologiją taikyti, reiktų apžvelgti šiuolaikines interneto technologijas plačiau.

2. Analitinis interneto technologijų tyrimas

Išanalizavus interneto rinką Kuktiškėse ir palyginus interneto operatorių siūlomų paslaugų kainas, paaiškėjo, kad reikalingas sprendimas pigiai ir kokybiškai interneto prieigai, kuri bus projektuojama atlikus analitinį Wi-Fi, WiMAX, xDSL technologijų palyginimą. Jį sudarys bendra informacija apie technologijas, jų standartus, kiekvienai technologijai savitus tinklo modelius, privalumus ir trūkumus bei technologinių sprendimų kainą, ir bus pasirenkamas optimaliausias variantas pagal išvardintus kriterijus.

2.1. Wi-Fi technologija

1999 m. įsikūrė ne pelno siekianti organizacija Wi-Fi aljansas, kurios pagrindinis tikslas – testuoti įvairių gamintojų belaidžius vietinio tinklo (angl. LAN) įrenginius, siekiančius atitikti IEEE 802.11 standarto reikalavimus ir rekomendacijas, užtikrinant šių bei kitų gamintojų prietaisų tarpusavio sąveiką. Ženkliukas **Wi-Fi** ant įrenginio tik parodo, kad šis prietaisas atitinka ankščiau įvardintus reikalavimus – gaminys sertifikuotas.

Wi-Fi aljansas per pastaruosius 14 metų atlikto įvairius IEEE 802.11 a/b/g/n standartų tyrimus, pateikė rekomendacijas IEEE organizacijai dėl su prisijungimų prie belaidės prieigos prietaiso protokolų algoritmų tobulinimo, duomenų šifravimo, naujo IEEE 802.11 ac standarto aprobavimo [9].

2.1.1. Wi-Fi standartai

Keli belaidės interneto prieigos prietaisai, pažymėti Wi-Fi ženklu, gali būti sujungiami tarpusavyje tiek kabeliu, tiek per belaidę prieigą, siekiant praplėsti interneto ryšio padengimo zoną, taip sudarant vietinį tinklą (angl. WLAN). Prijungus kelis tokius tinklus prie maršruto parinktuvo, kuris atlieka paketų maršruto parinkimą tarp tinklų, gaunamas miesto zonos tinklas (angl. MAN), kuriam išėjimą, sujungimą su likusiais tinklais suteikia interneto paslaugų teikėjas.

Siekiant sužinoti, kokių maksimalių atstumu Wi-Fi naudotojas gali būti nuo Wi-Fi prieigos prietaiso, reikia atsižvelgti, kokiems standartams atitinka, tiek naudotojo, tiek prieigos prietaiso įrenginiai, ar naudotojas gali tiesiogiai matyti prieigos prietaiso antenas, ar jas kažkas užstoja, kokie radijo trukdžiai vyrauja aplinkoje (mikrobangų krosnelių sukeltos radijo bangos, netoliese esančių gamyklų įrenginių keliami radijo virpesiai, toje pačioje dažnių juostoje veikiantys analogiški prietaisai). Be šių esminių dalykų, svarbu yra ir kokios galios siųstuvai bei kokio jautrumo imtuvai yra naudojami, kokio stiprinimo antenos įmontuotos naudotojo ir belaidės prieigos prietaisuose. Kuo signalą veikiančių aplinkos sąlygų poveikis didesnis, tuo signalo stipris

ir kokybė naudotojo prietaise mažesnė, todėl atstumas tarp dviejų Wi-Fi įrenginių gali būti nuo kelių metrų iki kelių kilometrų.

Jei Wi-Fi naudotojo prietaise yra fiksuojamas didesnis belaidės prieigos prietaiso signalo stipris, tuomet yra galimybė pasiekti didesnę duomenų siuntimo spartą, t. y. kuo signalo stipris mažesnis, tuo duomenų siuntimo sparta mažesnė. Maksimali duomenų siuntimo sparta priklauso ir nuo naudojamo Wi-Fi standarto [10]:

2.1 lentelė. IEEE 802.11 standartai

IEEE 802.11 standartas	Dažnių juosta	Duomenų priėmimo sparta
802.11a	5 GHz	54 Mbit/s
802.11b	2,4 GHz	11 Mbit/s
802.11g	2,4 GHz	54 Mbit/s
802.11n ¹	2,4 GHz arba 5 GHz	450 Mbit/s
802.11ac ^{1,2}	5 GHz	1Gbit/s
¹ – siųstuvas ir imtuvas turi daugiau nei po vieną anteną (angl. Multiple Input Multiple Output). ² – tiek siunčiantis, tiek priimantis įrenginiai palaiko aukšto dažnio moduliacijas (iki 256 QAM).		

Pagal 2.1 lentelėje pateiktą informaciją, matoma, jog IEEE 802.11b/g/n standartuose aprašomų duomenų perdavimui naudojamas 2,4 GHz dažnio signalas, kuris kiekvieno standarto atveju nustato maksimalų duomenų perdavimą. Reiktų atkreipti dėmesį, kad 2,4 GHz dažnių juostoje aptinkami pakankamai didelės galios ir įvairūs triukšmo šaltiniai, kuriuos sukelia mikrobangų krosnelės, radijo bangomis valdomi žaislai. Kadangi tiek triukšmo, tiek radijo ryšio signalai kelia trukdžius tarpusavyje, taip slopindami, iškraipydami vienas kitą, Wi-Fi naudotojo imtuve gautas signalas nebegali būti konvertuojamas į informaciją (be klaidų), kurią jis bandė perduoti. Jei būtų naudojamas 5 GHz dažnio signalas (pagal IEEE 802.11a/n/ac standartus), tuomet sumažėtų interneto ryšio aprėpties zona, kadangi šio dažnio signalas yra lengviau absorbuojamas sienų, metalinių konstrukcijų, palyginti su 2,4 GHz dažnio signalu. Pasirenkant reikiamą standartą, privaloma atsižvelgti į aplinkos keliamus triukšmus, reikiamą interneto ryšio padengimo zonos dydį.

Šiuo metu plačiausiai naudojama yra IEEE 802.11 g/n standartus palaikanti įranga, tiek belaidės ryšio prieigos prietaisuose, nešiojamuose, planšetiniuose kompiuteriuose, mobiliuosiuose telefonuose.

Wi-Fi interneto ryšys leidžia kiekvienam naudotojui būti mobiliam – nereikia kabelio ar stacionarios interneto prieigos vietos. Naudotojas gali judėti kartu su savo įrenginiu (asmeniniu

kompiuteriu ar mobiliuoju telefonu) neprarasdamas susijungimo su internetu Wi-Fi prieigos zonose išėjus iš vienos zonos ir įžengus į kitą galima automatiškai prisijungti prie šioje zonoje veikiančių belaidžių prieigos prietaisų, bet su sąlyga, jei šios zonos tarpusavyje komunikuoja.

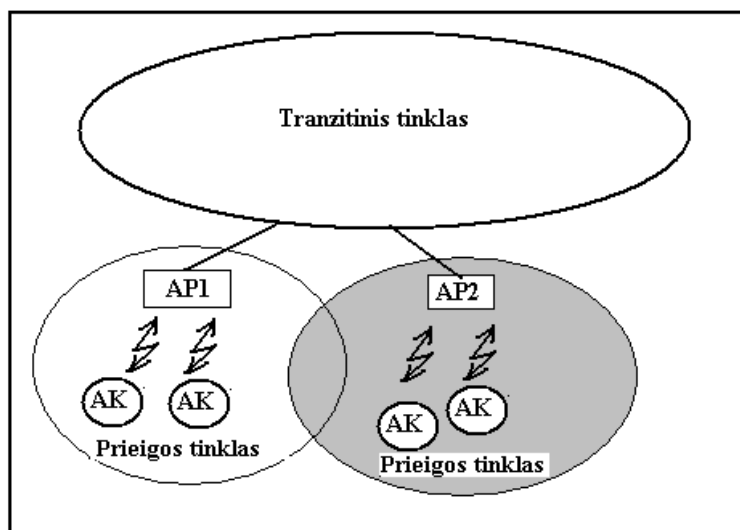
Kadangi Wi-Fi belaidis ryšys veikia nelicencijuojamoje radijo dažnių juostoje, dėl to Wi-Fi interneto teikėjams neatsiranda papildomų išlaidų licencijai įsigyti, nereikalingas LR ryšių reguliavimo tarnybos leidimas naudoti dažnį, bet šioje dažnių juostoje labai daug triukšmo šaltinių, kas apsunkina galimybę užtikrinti kokybišką interneto ryšį [11].

2.1.2. Wi-Fi vietinio tinklo modelis ir technologinio sprendimo kaina

Wi-Fi vietinio tinklo modelio sudedamosios dalys yra aprašytos IEEE 802.11 standarte [10] nurodant, jog tinklo modelį sudaro:

1. belaidės prieigos taškas (angl. Access Point);
2. naudotojo galinė įranga.

Tinklo modelis pavaizduotas 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Tinklo modelis, pateiktas IEEE 802.11 standarte

Vienas ar keli sujungti belaidžiai prieigos taškai (angl. AP), leidžiantys naudotojų asmeniniams, planšetiniams kompiuteriams (AK), mobiliams telefonams, turintiems Wi-Fi tinklo plokštę, prisijungti prie interneto resursų – **prieigos tinklas**. Būtina sąlyga, kad šis tinklas visapusiškai funkcionuotų – prieigos taškai turi būti prijungti prie tranzitinio tinklo. Aptartus belaidžius prieigos taškus galima skirstyti pagal tai, kokius IEEE 802.11 standartus jie palaiko (IEEE802.11 a/b/g/n/ac), pagal šių prietaisų lokalizaciją (vidaus, lauko sąlygoms pritaikyti), pagal antenų modifikacijas (integruotos, lauko antenos), pagal tai, kiek radijo dalių turi (vieną ar daugiau radijo siųstuvų, imtuvų). Kadangi projektuojant interneto tinklą Kuktiškių miesteliui bus

formuojamas tinklas lauke, todėl reikės rinktis iš prietaisų, pritaikytų įvairioms gamtos sąlygoms: šalčiui, drėgmei, vėjui, karščiui, t. y. bus renkamasi iš lauko sąlygoms skirtų prietaisų. Dėl vis tobulėjančių galutinių naudotojų įrenginių tikslinga orientuotis į naujausius standartus, veikiančius 2,4 GHz dažnių juostoje (IEEE 802.11g/n), taip užtikrinant galimybę turėti didesnes interneto ryšio aprėpties zonas nei kad 5 GHz dažnių juostoje. Peržiūrėjus rinkoje siūlomus įvairių gamintojų belaidžio ryšio taškus, keletas jų pateikiami 2.2 lentelėje [12].

2.2 lentelė. Prietaisų specifikacija

Prietaisas	Standartų palaikymas IEEE 802.11	Dažnių juosta, GHz	Duomenų siuntimo spartos (Mbit/s) ir signalo lygio santykis	Išeinančio signalo stipris	Eterneto sąsajos sparta, Mbit/s	PoE	Kaina, Lt
EnGenius ENS200 EXT	n	2,412 –2,472	150 (<–63dBm), 135 (<–65dBm), 120 (<–69dBm), 90 (<–74dBm).	26 dBm	2x100	Taip	230,00
MikroTik Metal 2SHPn	n	2,412 –2,472	150 (<–63dBm), 135 (<–65dBm), 120 (<–69dBm), 90 (<–74dBm).	32 dBm	100	Taip	256,00
Teletronic TT2400	b/g	2,412 –2,472	54(< –72dBm), 48(< –73dBm), 36, 23, 18, 12, 11, 9, 6, 5,5(< –90dBm), 1(< –95dBm)	22 dBm	100	Taip	640,00
Tranzeo 6000				23 dBm	100	Taip	934,00
MAP–330 with Dual Radios	b/g			22dBm	2x100	Ne	1813,00

Pagal pateiktas prietaisų kainas ir technines charakteristikas visi prietaisai turi panašumų: visi prietaisai turi vieną radijo dalį (siųstuvą ir imtuvą), išskyrus MAP–330, veikia tame pačiame dažnių diapazone bei duomenų siuntimo spartos ir signalo lygio santykis panašus kiekvienu atveju, skiriasi tik išeinančio signalo stipris, palaikomi standartai ir kaina. Orientuojantis į naujausius standartus (IEEE 802.11n naujesnis nei IEEE 802.11g) nes ilgai senesnių standartų bus imta atsisakyti, ir kainas, tikslingiausia rinktis prietaisą EnGenius ENS200E XT, kuris tiek kainos, tiek techninėmis charakteristikomis yra geresnis nei kiti prietaisai, esantys 2.2 lentelėje. Į šio prietaiso komplektaciją įeina POE skirstytuvai, skirtas per interneto kabelį tiekti elektros energiją prietaisui, 5dBi lauko antena (ji nebus naudojama dėl per mažo stiprinimo), todėl reikės papildomai įsigyti lauko anteną (su didesne signalo stiprinimo verte). Keletas pasirinkimo variantų pateikiama 2.3 lentelėje [13].

2.3 lentelė. Wi-Fi lauko antenų specifikacija

Tipas	Vienakryptės			Daugiakryptės
Pavadinimas	GNS-1403	HAI15SC	GNS-1419	GNS-1455
Veikimo dažnis	2412–2472 MHz	2412–2472 MHz	2412–2472 MHz	2412–2472 MHz
Stiprinimas	13 dBi	15 dBi	14 dBi	12 dBi
Poliarizacija	Linijinė (vertikali arba horizontali)	Vertikali arba horizontali	Vertikali arba horizontali	Vertikali
Horizontalaus lapelio plotis	60°	90°	120°	360°
Varža	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω
Maksimali įėjimo signalo galia	300 W	–	300 W	100 W
Atsparumas vėjui	< 56 m/s	<58 m/s	< 59 m/s	< 67 m/s
Kaina, Lt	154,00	166,00	684,00	275,00

Pateiktos antenos skiriasi tik stiprinimo dydžiu, horizontalaus lapelio pločiu ir kaina, vieną iš jų bus galima rinktis, kai bus projektuojamos konkrečios zonos, žinant aprėpties spindulį. Lyginant kainos atžvilgiu, šių antenų kainos svyruoja nuo 154 iki 684 Lt, todėl bendra komplekto kaina, belaidžio ryšio prieigos prietaiso su antena iš 2.3 lentelės, gali kisti nuo 384 Lt iki 914 Lt.

Kaip alternatyva Wi-Fi technologijai, skirtai perduoti informaciją oru, – WiMAX technologija.

2.2. WiMAX technologija

Sąvoką WiMAX įteisino ne pelno siekianti organizacija WiMAX forumas, kuris sertifikuoja ir skatina suderinamumą bei sąveiką tarp įvairių gamintojų belaidžio ryšio įrenginių, palaikančių IEEE 802.16 standartą. Šią organizaciją sudaro labai įvairūs dalyviai: tiek interneto operatoriai, tiek WiMAX bazinių stočių gamintojai, tiek WiMAX interneto naudotojai, kurie dalinasi sukaupta geriausia patirtimi, išryškindami esminius tuo metu aptinkamus trūkumus ir privalumus [14].

2.2.1. WiMAX 802.16 d/e/m standartai

WiMAX (angl. Worldwide Interoperability for Microwave Access) – belaidžio ryšio technologija, leidžianti duomenis perduoti radijo ryšiu. Ši technologija buvo sukurta remiantis Wi-Fi ryšio principais, kuriuos reglamentuoja IEEE 802.11a/b/g/n/ac standartai. WiMAX technologijos pagrindas yra IEEE 802.16 standartų grupė, kuri išsprendė prieš tai buvusius Wi-Fi trūkumus, susijusius su signalo kokybės didele kaita, saugumo spragomis. WiMAX vienas svarbiausių pranašumų, palyginti su Wi-Fi technologija, – efektyvesnis energijos panaudojimas, kuris pasiekiamas panaudojant dažnių dalijimo (angl. OFDM technologija) metodą – signalo galia paskirstoma visame naudojamame spektre, todėl perdavimui reikalinga mažesnė galia, tai lemia mažas energijos sąnaudas. Dėl šios priežasties aplink bazinę stotį sukuriamo elektromagnetinio lauko spinduliuotė yra daug mažesnė nei analogiškose sistemose. Taip pat WiMAX technologijoje realizuotas lankstus kokybės valdymas, sukurtos skirtingos paslaugų klasės, siuntimo planavimą, srautų prioritetus aprašantys algoritmai, dėl kurių tame pačiame prieigos tinkle skirtingos paslaugos naudotojai yra diferencijuojami, užtikrinami individualūs kokybiniai paslaugų rodikliai. Paslaugų kokybė įgyvendinta suteikiant prioritetus tam tikriems paslaugų srautams (angl. Quality of Service), kurie yra apibūdinami individualiais QoS parametrais ir yra vienakrypčiai. Prieš pradėdant konkretaus duomenų srauto siuntimą, bazinė stotis ir abonto stotelė sudaro vienpusį loginį sujungimą. Siuntėjo pusėje tam tikras duomenų srautas susiejamas su konkrečiu paslaugų srautu, taip gaunamas konkrečiam duomenų srautui individualus QoS parametras. Juo bei prioritetų lentele vadovaujantis atliekamas siuntimo į fizinį lygmenį planavimas. QoS leidžia tiksliai kontroliuoti fizinį perdavimą. Paslaugų srautų parametrai gali būti valdomi ir dinamiškai, MAC žinutėmis, kad prisitaikytų prie kintančių abonentinės stotelės poreikių [15].

Aptariant IEEE 802.16 standartų grupę, svarbu akcentuoti, kad šiuo metu plačiausiai naudojami WiMAX standartai:

- IEEE 802.16d, skirtas 2–11 GHz fiksuotam belaidžiam perdavimui;
- IEEE 802.16e, skirtas dažnių juostai iki 6 GHz, fiksuotajam ir judriajam ryšiui;
- IEEE 802.16m, skirtas fiksuotajam ir judriajam ryšiui.

Šiuos standartus galima suskirstyti ir pagal belaidžio ryšio prieigos tipą – WiMAX techninės charakteristikos priklauso nuo naudojimo pobūdžio ir yra skirstomos į judriąją ir fiksuotąją prieigą.

IEEE 802.16d standarte (dar kitaip vadinamas 802.16–2004) aprašomas fiksuotojo plačiajuosčio belaidžio ryšio prieigos modelis, o IEEE 802.16e standartas skirtas ne tik fiksuotajai, bet ir judriajai prieigai. Tarpusavyje šie standartai nėra suderinami, tačiau yra galimybė operatoriams, išplėtojus 802.16–2004 tinklo prieigos modelį, įdiegti ir 802.16e programinę priemonę, kuri leistų

naudoti tiek fiksuotąją tiek judriąją ryšio priegą, aišku, šiuos standartus turi palaikyti bazinės stotys. Visa tai atlikus, gaunamas persidengiantis tinklas, kuriame veikia dvigubo režimo galutinio naudotojo įrenginiai, programiškai atnaujinamos dvigubo režimo bazinės stotys.

Detaliau analizuojant IEEE 802.16e standartą, jo fiziniame lygmenyje realizuotas dažnių dalijimo metodas (OFDMA modelis), leidžiantis keleto naudotojų informacijos kadrus (duomenų srautus) sutalpinti tame pačiame dažnių kanale. Tai leidžia pasiekti didelį spektro panaudojimo efektyvumą, išspręsti signalų kėlimo vienas kitam trukdžius, nykimo problemas. Ši technologija įgyvendinama panaudojant daugelio įėjimų–daugelio išėjimų (angl. Multiple Input Multiple Output; MIMO) antenas, pritaikius dvi tokio tipo antenas siuntimui ir dvi priėmimui, gaunama dviguba sparta toje pačioje dažnių juostoje. Naudojant dar didesnę jų skaičių, gaunama technologija, aprašoma IEEE 802.16m standarte, skirtame judriajai plačiajuosčiai belaidžio ryšio prieigai, kurios duomenų sparta siekia 100Mbit/s, o fiksuotosios prieigos – 1Gbit/s. Ši technologija dar vadinama Mobile WiMAX Release 2 arba WirelessMAN–Advanced. Apibendrinta standartų 802.16 d/e/m informacija pateikiama 2.4 lentelėje [15].

2.4 lentelė. 802.16d, 802.16e ir 802.16m standartų palyginimas

Technologija		WiMAX (802.16d)	Mobile WiMAX R1(802.16e)	Mobile WiMAX R2 (802.16m)
Veikimo dažnis		2,5 GHz, 3,5 GHz	2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3–3,8GHz	2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3–3,8 GHz
Multipleksavimo režimas		TDD*/ FDD**	TDD*	TDD*, FDD**/HFDD
Dažnių kanalo plotis		3,5, 7, 14, 28 MHz	3,5, 5, 7, 8,75, 10 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
Duomenų sparta	Gavimo	25 Mbit/s	64 Mbit/s	>350 Mbit/s
	Siuntimo	6,7 Mbit/s	28 Mbit/s	>200 Mbit/s
	Kanalo plotis	10 MHz	10 MHz	20 MHz
Judrumas		nėra (fiksuotas)	60–120 km/val.	350 km/val.
MIMO konfigūracijos		nėra	Gavimo 2x2 MIMO Siuntimo 1x2 MIMO	Gavimo 2x2, 2x4, 4x2, 4x4 MIMO Siuntimo 1x2, 1x4, 2x2, 2x4 MIMO
Padengiamumas (km)		10	1/5/30	1/5/30 (optimali kokybė 5 km)
*TDD technologija – dvipusio laiko atsikyrimo technologija, naudojant vieną dažnį, bet skirtingus laiko intervalus, įterpiama išsiunčiama ir gaunama informacija. **FDD technologija – dažninio atskyrimo technologija, naudojant du dažnių kanalus, vienu kanalu išsiunčiama informacija, kitu – gaunama.				

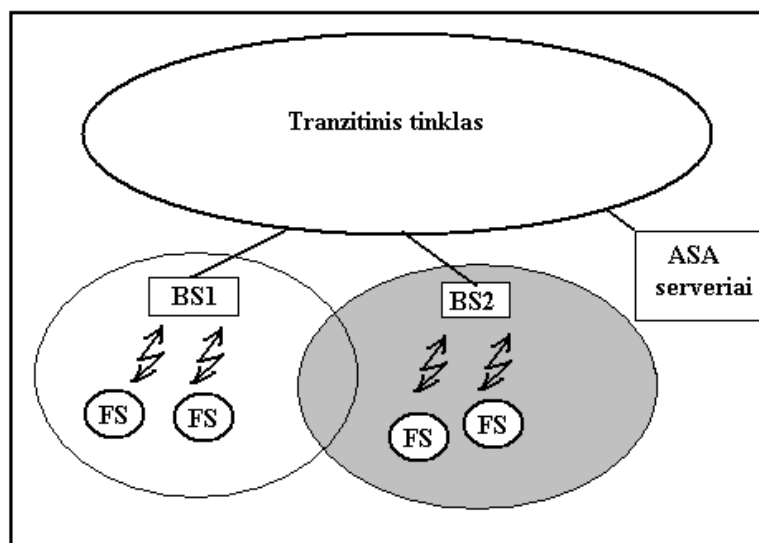
Kaip matyti iš 2.4 lentelės, tiek 802.16d, tiek 802.16e, tiek 802.16m naudoja tuos pačius dažnius informacijai siųsti, bet skirtingus siuntimo būdus, kaip kad 802.16m HFDD (angl. Half Frequency Division Duplex) technologiją – siuntimo ir gavimo informacija yra siunčiama skirtingais dažnių kanalais, bet kartu ir skirtingais laiko intervalais. Priėmimo stotys gali tik siųsti arba tik gauti signalą tam tikru laiko momentu, todėl siuntimo ir gavimo srautai turi būti suplanuoti, kad būtų išvengta nereikalingų stoties prastovų. Lyginant duomenų siuntimo ir gavimo spartas jos skiriasi penkis kartus, judrumas – leidžia greitas perjungtis tarp bazinių stočių, todėl galima išlaikyti duomenų sesijas ir netgi realaus laiko srautines paslaugas, tokias kaip vaizdo, balso perdavimo, šios savybės neturi 802.16d standartas. Kadangi mūsų atveju planuojamos fiksuotosios interneto prieigos zonos, todėl 802.16d standartas tenkina vieną iš svarbiausių sąlygų ir jo ryšio padengimo zonos dydis taip pat yra pakankamai didelis – 10 km, o WiMAX R2 optimali ryšio kokybė, apibūdinanti duomenų spartą, yra gaunama esant nedidesnei nei 5 km padengimo zonai.

2.2.2. WiMAX tinklo schema ir technologinio sprendimo kaina

WiMAX tinklo modelio sudedamosios dalys aprašytos IEEE 802.16d standarte. Šį tinklą sudaro [16]:

1. FS – fiksuota stotis;
2. BS – bazinės stotys, teikiančios tinklo paslaugas aprėpties zonose esantiems autorizuotiems vartotojams;
3. ASA serveriai (neprivalomi) – paslaugų teikimo, tinklo valdymo, autentifikavimo ir kitas funkcijas atliekantys serveriai.

WiMAX tinklo modelis pavaizduotas 2.2 paveikslėlyje.



2.2 pav. Tinklo modelis, pateiktas IEEE 802.16d standarte

2.2 paveiksle pateiktos ovalo formos sritys, kuriose pažymėtos bazinės stotys (BS1; BS2), jos formuoja prieigos tinklą, prie kurio gali prisijungti naudotojai (FS). Bazinės stotys privalo būti prijungtos prie tranzitinio tinklo, kad naudotojai galėtų naudotis interneto resursais. ASA (angl. Authentication and Service Authorization) tinklo modelyje sudaro esminę grandį – autorizuoja vartotoją, suteikia jam adresą (IP), kad tik tam tikra vartotojų grupė, kuri užsisakė interneto paslaugą, galėtų naudotis ja. Šių serverių gali būti nuo vieno iki keleto vienetų, taip pat gali būti vykdomas centralizuotas valdymas, atsisakant prie kiekvienos bazinės stoties turėti po serverį.

Bazines stotis galima išskirstyti į tam tikras grupes, turinčias minimalią komplektaciją ir standartines galimybes. Tokio tipo stotys tenkina minimalius reikalavimus – radijo signalo spinduliavimo galia atitinka minimalią įrangos specifikaciją, nėra siuntimo ir priėmimo signalų atrinkimo, taip pat nėra erdvinio ir laiko kodavimo, subkanalų sudarymo, kainos atžvilgiu šios stotys yra pigiausios. Taip pat bazines stotis galima klasifikuoti:

- skirtos makro narveliams (sudarytos iš atskirų radijo, tinklo modulių, antenų);
- skirtos mikro narveliams (į vieną įrenginį integruotas radijo ir tinklo modulis, antena prijungiama atskirai)
- skirtos piko narveliams (viename įrenginyje integruoti radijo, tinklo ir antenos moduliai)

Pagal šią klasifikaciją peržiūrėjus rinkoje esančias „WiMAX Forum“ sertifikuotas bazines stotis, pateikiamas įrangos sąrašas ir techninė specifikacija 2.5 lentelėje [17].

2.5 lentelė. „WiMAX Forum“ sertifikuotų bazinių stočių prietaisų specifikacija

Modelis	Standartų suderinamumas	Naudojami dažniai, GHz	Išsiančio signalo stipris	Įrangos tipas ir galimas sektorių skaičius, vnt.	Greitaveika	Kaina, Lt
PacketM AX 3000	IEEE 802.16d	3,3–3,4; 3,4–3,6; 3,65; 5,15–5,35; 5,47–5,72; 5,72–5,92;	20 dBm (3; 5 GHz)	Mikro, 1	–	14562,00
Pheenet WLO 3505B		3,5–3,56	24 dBm	Mikro, 1	22 Mbit/s	6051,00
RedMax AN 100U		3,3–3,5 3,4–3,6 3,6–3,8	23 dBm	Mikro, 1	35 Mbit/s	10831,00
StarMAX 4120 3,5 G		3,3–3,4 3,4–3,6	30 dBm	Mikro, 2	–	12942,00

Kadangi renkantis Wi-Fi prieigos tašką buvo aptarti tik vieną radijo modulį turintys prietaisai, tai norint lygiavertiškiau įvertinti skirtingų technologijų prieigos taškų kainas, WiMAX atveju irgi renkamasi tik iš vieną radijo modulį turinčių prietaisų. Atsižvelgus į jų specifikacijoje aprašomą standartų palaikymą bei suteikiamą greitaveiką, kainos santykį, tikslinga rinktis Pheenet WLO 3505 B prietaisą, kurio kaina 6051 Lt. Į jo rinkinį neįeina lauko antena, todėl privaloma nusipirkti atskirai. Keletas pasirinkimo variantų, aptiktų rinkoje, pateikiama 2.6 lentelėje [13].

2.6 lentelė. WiMAX lauko antenų specifikacija

Tipas	Vienakryptė antena	Daugiakryptė antena
Pavadinimas	GNS–1504	GNS–1505
Veikimo dažnis	3,3–3,8 GHz	3,4–3,7 GHz
Stiprinimas	18,5 dBi	11 dBi
Poliarizacija	Linijinė (vertikali arba horizontali)	Vertikali
Varža	50 Ω	50 Ω
Maksimali įėjimo signalo galia	6 W	150 W
Atsparumas vėjui	< 61 m/s	< 27 m/s
Kaina, Lt	524,00	210,00

Priklausomai nuo antenos tipo bei reikiamo signalo stiprinimo, antenų kainos svyruoja nuo 210 Lt iki 524 Lt, todėl bendra belaidės prieigos taško kaina gaunama susumavus prieigos prietaiso bei antenos kainas – nuo 6261 Lt iki 6575 Lt.

Dar reikėtų atsižvelgti ir į galutinių naudotojų įrangą, kuri būtina ryšiui su bazine stotimi. Keletas prietaisų variantų pateikta 2.7 lentelėje [18].

2.7 lentelė. „WiMAX Forum“ sertifikuotų galutinių naudotojų prietaisų specifikacija

Modelis (gamintojas)	Standartų suderinamumas	Tipas	Antenos stiprinimas, dBi	Stiprintuvo galia, dBm	Greitaveika	Kaina, Lt
BreezeMAX PRO-S (Alvarion)	IEEE 802.16d	Išorinis	17	20	–	1436,00
ZTE AX326	IEEE 802.16d/e	Vidinis	2	–	Atsisiuntimo 29 Mbit/s Išsiuntimo 5 Mbit/s	199,00
UM6225 (Teltonika)		Vidinis	2	–	Atsisiuntimo 30 Mbit/s Išsiuntimo 10 Mbit/s	199,00
ExcelMAX Full Duplex FDD (FD– FDD) CPE 3210	IEEE 802.16d	Išorinis	19	18	>40 Mbit	2360,00

Priklausomai nuo galutinio naudotojo įrangos tipo, ji yra skirstoma į lauko ir vidaus. Didžioji dalis vidinės įrangos turi integruotą vidinę anteną, kurios stiprinimas 2 dBi. Šio tipo modemų kainos yra vienodos, tik skiriasi maksimalios duomenų atsisiuntimo ir išsiuntimo spartų vertės. Lyginant vidaus bei lauko modemų technines charakteristikas, reiktų atkreipti dėmesį, kad lauko tipo modemuose į komplektą įeina išorinė antena, kurios stiprinimas 17dBi arba 19dBi, kas leistų sustiprinti radijo signalą, padidinti interneto ryšio kokybę. Kitas svarbus aspektas – lauko modemai pritaikyti žymiai didesnei duomenų atsisiuntimo ir išsiuntimo greitaveikai. Be abejo, atsižvelgiant į kainas, aptarti išoriniai įrenginiai kainuoja nuo 1436 iki 2360 Lt – devynis kartus daugiau nei vidiniai.

Kaip priešprieša aptartoms Wi-Fi, WiMAX technologijoms, kurios radijo ryšiu perduoda duomenis bei gali sudaryti atskirus tinklų modelius, prie kurių išėjimą į internetą galima užsisakyti iš įvairių interneto tiekėjų, yra DSL technologija, ryšiui sukurti naudojanti kabelius. DSL technologijos atveju aptariama alternatyva, kuomet tinklo savininku galėtų būti interneto teikėjas, kuris, praplėsdamas savo esamą tinklą, aprėpia naują teritoriją interneto ryšiu.

2.3. xDSL technologija

Skaitmeninių abonentinių linijų technologija (angl. Digital Subscriber Line, DSL) yra interneto ryšio technologija, skirta duomenims perduoti tarp naudotojo ir telefonų stoties. Ši technologija sudaromo galimybę žymiai praplėtus naudojamų telefono kabelių linijų dažnio juostą

teikti interneto paslaugas, kurios įgyvendinamos skaitmeniniu duomenų perdavimu per vytos poros kabelį. xDSL technologija yra DSL technologijos atmaina, leidžianti naudoti žymiai didesnę dažnių juostą nei tradicinės telefoninės stotys, kad padidintų duomenų gavimo ir siuntimo greičius.

2.3.1. xDSL standartai ir jų veikimo principas

Skaitmeninių abonentinių linijų technologija yra skirta perduoti duomenis, panaudojant plačią dažnių juostą, abonentams per įprastas varines telefono linijas. Ši technologija skiriasi nuo jau aptartų WiMAX ir Wi-Fi technologijų, kurių signalo perdavimo terpė – oras. Kai naudotojas yra tam tikru atstumu iki automatinės telefonų stoties (ATS), kuri palaiko DSL technologiją. Tinklo operatorius gali perduoti abonentui duomenis Lietuvoje iki 12 Mbit/s spartos, teikdamas vaizdo, garso – **plačiajuostes paslaugas** [19, p. 135–141].

xDSL technologija yra skirstoma į:

1. ADSL (asimetrinė skaitmeninė abonto linija);
2. HDSL (angl. High Bit Rate Digital Subscriber Line);
3. RADSL (angl. Rate Adaptive Digital Subscriber Line);
4. SDSL (angl. Symmetric Digital Subscriber Line) – technologija, prisitaikanti prie duomenų persiuntimo greičio bei varijuojanti kartu su duomenų kadrtais: T1 tipo duomenų kadras (Amerikoje, Japonijoje – duomenų perdavimo sparta 1,544 Mbit/s), E1 tipo duomenų kadras (Europoje – 2,048 Mbit/s), negalinti kartu veikti su pokalbių paslaugomis per tą pačią dvilaidę liniją, nes siuntimo ir gavimo duomenų signalai naudoja visą dažnių juostą, įskaitant ir balso kanalo dažnių diapazoną nuo 0–4 kHz;

5. VDSL (angl. Very High Bit Rate Digital Subscriber Line) – technologija, leidžianti greičiau perduoti duomenis per vytą arba nevytą varinių laidų porą, taip pasiekiami duomenų išsiuntimo iki 16 Mbit/s ir gavimo iki 52 Mbit/s sparta, panaudojant dažnių juostą nuo 25kHz iki 12 MHz.

Aptartos technologijos teikia spartų skaitmeninį priėjimą prie abonentinių telefono linijų, jų pagrindiniai skirtumai – naudojami moduliacijos metodai, duomenų kodavimas.

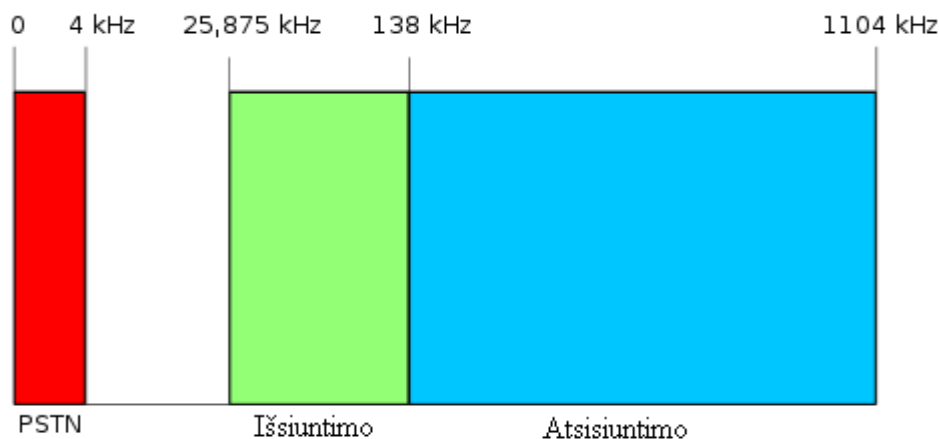
2.3.2. ADSL technologija

ADSL technologija pasižymi:

1. komunikacija tarp dviejų prietaisų įmanoma panaudojant dvipusį ryšį;
2. signalai perduodami vyta varinių laidų pora.

Prieš siunčiant signalą variniais laidais, jis yra moduluojamas tiek dažnio (angl. FDD), tiek laiko (angl. TDD) dalijimo būdais. Dažnio dalijimo būdo esmė, kad signalo išsiuntimui ir gavimui yra naudojami du skirtingi dažnių kanalai, kad šie signalai nekeltų trukdžių tarpusavyje ir

būtų galima tuo pat metu tiek išsiųsti, tiek gauti duomenis. Duomenų išsiuntimo dažnių kanalas naudojamas galutinio naudotojo komunikacijai su centrine telefonų stotimi, atsisiuntimo – centrinės telefonų stoties komunikacijai su galutiniu naudotoju. Šis dažnių išskaidymas pateiktas 2.3 paveiksle.



2.3 pav. ADSL dažnių juosta

ADSL technologija naudoja dažnių juostą nuo 26 kHz iki 137 kHz duomenų išsiuntimui (angl. Upstream – aukštynkryptis duomenų srautas), nuo 138 kHz iki 1,104 MHz duomenų atsisiuntimui (angl. Downstream – žemynkryptis duomenų srautas), likusi dažnių juosta nuo 0 iki 4 kHz paliekama balso telefonijai (angl. PSTN).

Nagrinėjant kitokios rūšies ADSL moduliaciją – daugialypę multitoninę (angl. DMT, aprašoma G.994.1 standarte) – jos schemeje anksčiau aptartos dažnių juostos skaidomos į kanalus, kurių plotis 4,3124 kHz, jie vadinami *bins*. Prieš inicijuodamas kiekvieną sujungimą, ADSL modemas testuoja kiekvieną kanalą – *bin*, mėgindamas apskaičiuoti signalo ir triukšmo santykį jame, ir skaičiavimas apima:

1. atstumą nuo vartotojo iki automatinės telefonų stoties (ATS);
2. kabelio charakteristikos;
3. aplinkinių radijo stočių, elektrinių prietaisų keliami trukdžiai, jų galia.

Atsižvelgus į šias dedamąsias, gaunamas kiekviename kanale esantis signalo ir triukšmo santykis, kurio kuo didesnė vertė leis pasiekti didesnę greitaveiką pasinaudojant tuo kanalu, kadangi esant mažam santykio dydžiui, atsiranda didesnis skaičius klaidų, duomenų perdavimo metu. ADSL modemas, atlikęs šiuos skaičiavimus, gali pasirinkti, kurie kanalai bus naudojami duomenų persiuntimui. Visada pasirenkami tie kanalai, kuriuose signalo ir triukšmo santykis didžiausias, o kanalai, kuriuose šis santykis mažas, paliekami pernešti mažesnę kiek informacijos, kuri koduojama bitais. ADSL2+ technologija visai nenaudoja kanalų, kuriuose signalo ir triukšmo santykis yra didesnis už nustatytą reikšmę. Šią technologiją aprašo ITU G.992.5 standartas (2.8 lentelė).

2.8 lentelė. ADSL 2+ technologijos techninė charakteristika

Perdavimo sparta gavimo ir siuntimo, kbit/s	128–12288/64–800
Kanalinio lygmens protokolai	PPPoE
Tinklinio lygmens protokolai	IPv4, ICMP
Transportavimo lygmens protokolai	TCP, UDP
Sauga ir apsauga	LST EN 60950
Ciklo struktūra	G.994.1
Standartas	G.992.5

Kaip matyti 2.8 lentelėje, naudojant ADSL 2+ technologiją galima pasiekti duomenų gavimo greitaveiką iki 12 Mbit/s, o išsiuntimo – 0,8 Mbit/s. Tokios duomenų perdavimo spartos galimos tik naudojant dažnio dvigubino technologiją, kuomet duomenų siuntimui ir gavimui naudojama dažnių juosta ne tik nuo 26 kHz iki 1,104 MHz, bet įtraukiamas dar ir nuo 1,104 MHz iki 2,2 MHz dažnių diapazonas. Perdavimo sparta dar priklauso nuo galutinio naudotojo atstumo iki ATS, kuriame yra įrengtas skaitmeninės linijos prieigos tankintuvas (angl. Digital Subscriber Line Access Multiplexer, DSLAM). Su DSLAM sujungiami tam tikroje zonoje esantys vartotojai, kurių siunčiamus duomenis prietaisas tankina ir perduoda viena magistraline ryšio linija į centrinius mazgus. Šis duomenų perdavimas tarp ATS ir centrinio mazgo galimas panaudojant:

1. neasinchroninį perdavimo būdą (angl. Asynchronous Transfer Mode), privaloma sudaryti virtualią grandinę tarp dviejų taškų;
2. kadrinio perdavimo būdą (kiekvienas vartotojas turi jam skirtą fizinę liniją, sujungtą su kadrinio perdavimo prietaisu, duomenų perdavimas paremtas paketų siuntimo būdu), kuomet paketai gali kiekvieną kartą skirtingu keliu pasiekti tą patį tašką;
3. eternetu būdą (technologija panaši į kadrinio perdavimo būdą), kai kadrai, siunčiami nuo vieno taško iki kito, gali keliauti skirtingais maršrutais.

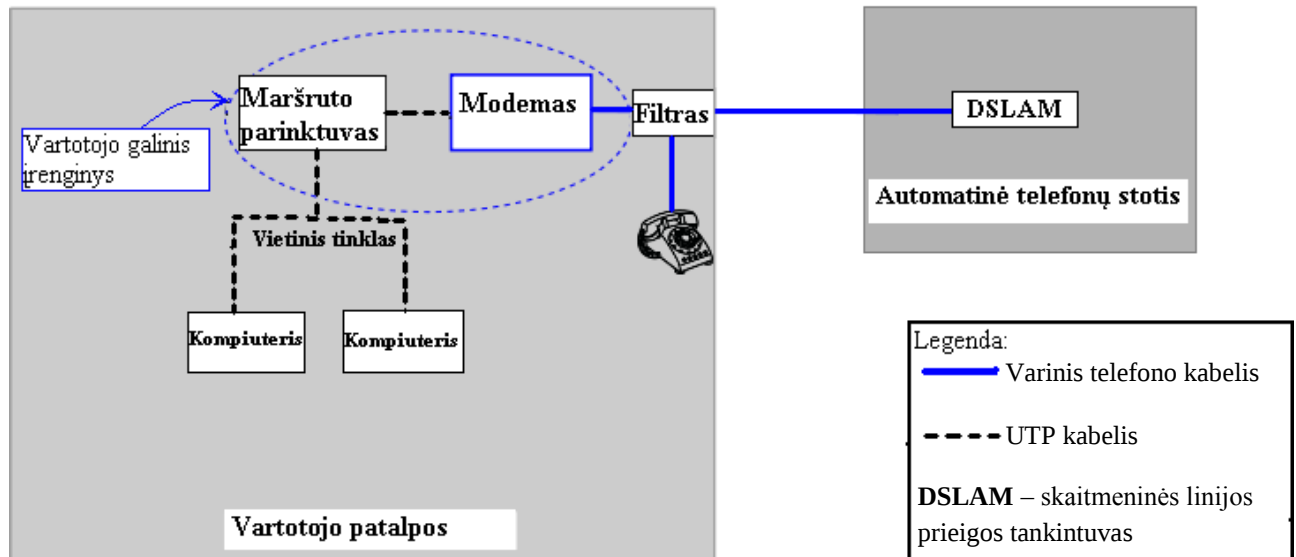
Aptarus ADSL 2+ technologijos pagrindines technologines savybes, kurios nurodo duomenų perdavimo būdus tarp naudotojo ir automatinės telefonų stoties, pereinama prie G.992.5 standarte aprašyto tinklo modelio, kuriame nurodyti prietaisai, reikiami ryšiui tarp galutinio naudotojo ir ATS užmegzti.

2.3.3. ADSL tinklo schema ir technologinio sprendimo kaina

ADSL tinklo schemas modelio sudedamosios dalys aprašytos G.992.5 standarte. Šį tinklą sudaro:

1. galutinio naudotojo įranga;
2. filtras;
3. variniai jungiamieji kabeliai;
4. automatinė telefonų stotis, kurioje sumontuotas DSLAM prietaisas.

ADSL tinklo modelis pavaizduotas 2.4 paveikslėlyje.



2.4 pav. ADSL ryšio struktūra

Pagal pateiktą ADSL ryšio struktūros modelį, automatinėje telefonų stotyje (ATS) įrengtas DSLAM prietaisas, kuris varinės vytos poros linija sujungtas su galutinio naudotojo pusėje esančiu filtru, atskiriančiu telefonui skirtą dažnių juostą nuo duomenų pernešimui naudojamų dažnių juostos. Filtras sujungtas su DSL imtuvu, dar kitaip vadinamu DSL modemu, kuriame gali būti integruotas tiek DSL modemas, tiek maršruto parinktuvas. Vartotojo telefono linija prijungta prie automatinėje telefonų stotyje esančio DSLAM, kuris koncentruoja didelį skaičių individualių DSL sujungimų į vieną magistralinę liniją. DSLAM įranga geografiškai negali būti labai nutolusi nuo vartotojų, kadangi esant dideliui atstumui tarp ATS ir vartotojo įrangos, signalas silpnėja, mažėja signalo ir triukšmo santykis linijoje, prarandami ar sugadinami siunčiami duomenys, dėl to mažėja maksimali duomenų išsiuntimo ir gavimo sparta.

Pažvelgus į telekomunikacijų rinkoje vyraujančius DSLAM prietaisus, jų kainas, technines charakteristikas, pateikiame keletą atrinktų 2.9 lentelėje [20].

2.9 lentelė. DSLAM prietaisų specifikacija

Modelis (gamintojas)	Eterneto sąsajų tipas ir skaičius	ADSL2+ kortos modifikacija	Maksimali duomenų gavimo ir išsiuntimo sparta, Mbit/s	Maksimalu s vartotojų skaičius	Maksimal us atstumas iki vartotojo galinės įrangos, km	Kaina, Lt
MA5616 (Huawei)	6 FE/GE	64 sąsajos	24/1,2	64	6,3	5471,00
DSLAM5048 (Sino Telecom)	2 FE/GE	48 sąsajos		48	6,0	7172,00
IES1248 51A (Zyxel)	2 FE/GE arba 2 GBIC	48 sąsajos		48	6,0	7065,00

Kadangi renkantis DSLAM prietaisą atsižvelgiama į tai, kokių skaičių galutinių naudotojų gali palaikyti stotis, koku maksimaliu atstumu gali būti nutolusi vartotojo galinė įranga bei į kainą, atrinkti būtent šie trys prietaisai, galintys suteikti interneto prieigą 48 vartotojams, vartotojai gali būti nutolę iki 6,0 km nuo DSLAM, bet kaina pakankamai skiriasi, priklausomai nuo gamintojo bei nuo prietaiso modifikacijos. Apibendrinus prieinama prie išvados, jog DSLAM prietaiso kaina gali būti nuo 5 471 Lt iki 7 065 Lt. Sujungti vieną iš aptartų įrenginių su galine vartotojo įranga yra naudojami:

1. magistraliniai STRES–TF serijos kabeliai, turintys iki 100 porų laidininkų;
2. paskirstymo, abonentiniai STRE/STRES serijos kabeliai iki 20 porų laidininkų ir daugiau.

Keletas aptartų kabelių tipų bei specifikacijų pateikta 2.10 lentelėje [21].

2.10 lentelė. STRES–TF ir STF tipo kabeliai

Pavadinimas	Porų skaičius	Laidininko varža	Pakuotė	Kaina, Lt
STRES TF* 5x2x0,5	5	96 Ω/1000m	1000 m	1717,00
STRES TF* 20x2x0,5	20			2860,00
STRES TF* 50x2x0,5	50			6078,00
STRE** 5x2	5	< 9 Ω/100m	500 m	282,00
STRE** 10x2	10			516,00
STRES 5x2	5			707,00
STRES 10x2	10			950,00
* – hidrofobinis užpildas, aliumininis juostos šarvas ** – neekranuotas				

Atsižvelgus į 2.10 lentelėje aprašomų kabelių specifikacijas ir kainas, galima teigti, jog priklausomai nuo vartotojų skaičiaus bei reikiamo kabelio ilgio nuo DSLAM iki vartotojo būsto, gali būti pasirenkami magistraliniai STRES TF serijos nuo 5 iki 50 porų kabeliai, kurie tiesiami nuo DSLAM įrenginio iki gatvės paskirstymo dėžučių, jų kilometro kaina svyruoja nuo 1 717 Lt iki 6 078 Lt ir nuo paskirstymo dėžutės iki vartotojo tiesiami abonentiniai STRES (ekranuoti) arba STRE serijos kabeliai, turintys nuo 5 iki 10 porų, šių kaina – nuo 282 Lt iki 950 Lt už 500 metrų ritinį. Turint įvadą, abonto zonoje privaloma įrengti galinę įrangą – DSL modemą ryšiui su DSLAM palaikyti. Keletas prietaisų variantų pateikta 2.11 lentelėje [22].

2.11 lentelė. DSL modemų specifikacija

Pavadinimas	Palaikomas ADSL standartas	Sąsajų tipas ir jų skaičius	Maksimali sparta	Kaina, Lt
Zoom 5760	ADSL2+	1xRJ-45 10/100Base-TX 1xRJ-11 ADSL	24Mbit/s	79,00
Encore ENDSL-4R5G	ADSL2/2+	4xRJ-45 10/100Base-TX 1xRJ-11 ADSL IEEE 802.11b/g		87,00
TRENDnet TDM-C504		4xRJ-45 10/100Base-TX 1xRJ-11 ADSL		129,00
ENCORE ENDSL-A2+R2		1xRJ-45 10/100Base-TX 1xRJ-11 ADSL 1xUSB		63,00
TP-LINK Network TD-8616		1xRJ-45 10/100Base-TX 1xRJ-11 ADSL		81,00

Iš 2.11 lentelės matyti, jog priklausomai nuo DSL modemo prietaiso komplektacijos – sąsajų tipų bei jų skaičiaus, kaina svyruoja nuo 63 litų už prietaisą, skirtą vienam abonentui prijungti prie DSLAM koncentratoriaus, iki 129 litų už modemą – belaidį prieigos tašką, suteikiantį ne tik fiksuotą, bet ir belaidę interneto prieigą.

Aptarus Wi-Fi, WiMAX ir DSL technologijas, prie detalesnio paslaugų kainos skaičiavimo bus pereinama pasirinkus interneto technologiją ir suprojektavus tinklą miesteliui. Tada bus aišku, kokia technologinio sprendimo kaina, priklausanti tiek nuo reikiamos įrangos, tiek nuo pasirinktos technologijos topologijos.

2.4. Interneto technologijos pasirinkimas

Apibendrinus detaliai išnagrinėtas ir pristatytas Wi-Fi, WiMAX, ADSL technologijas, pateikiama apibendrinta reikiamų prietaisų kiekvienai technologijai įgyvendinti 2.12 lentelė.

2.12 lentelė. WLAN, WiMAX, ADSL tinkle naudojami prietaisai

Tinklo tipas	Bazinės stoties komplektas (kaina, Lt)	Ryšio linija (kaina, Lt)	Vartotojų galinė įranga (kaina, Lt)
WLAN	EnGenius ENS200EXT ir lauko antena (384–914 Lt)	Eteris (-)	Integruotos WLAN tinklo plokštės (-)
WiMAX	Pheenet WLO–3505 B ir lauko antena (6261–6575 Lt)		Vidinė įranga – Teltonika UM6225 (199 Lt). Išorinė įranga – Alvarion BreezeMAX PRO-S (1 436 Lt)
ADSL	Huawei MA5616 (5471 Lt)	Variniai laidai: magistraliniai – STRES TF (171 –6078 Lt už 1000 m). Abonentiniai – STRE/STRES (282–950 Lt už 500 m)	ADSL2+ standartą palaikantis modemas – ENCORE ENDSL-A2+R2 (63 Lt)

Remiantis 2.12 lentele:

1. Wi-Fi technologija paremta tinklo bazinės stoties, kurią sudaro lauko sąlygoms skirtas belaidis prieigos prietaisas, ir antenos bendra kaina svyruoja nuo 384 Lt iki 914 Lt. Kadangi naudojamas nelicencijuotas radijo dažnio signalas, taip išvengiama mokesčių už naudojamos dažnių juostos licenciją. Kaip vartotojų galinė įranga, priklausomai nuo atstumo iki bazinės stoties – signalo stiprio, gali būti naudojamos kompiuteriuose integruotos WLAN tinklo plokštės.

2. Jei naudojama WiMAX, bazinės stoties bei antenos kaina yra apie 6261–6575 Lt, dar būtina licencija naudoti 3,5 GHz dažnį, kadangi šis dažnis patenka į licencijuojamų dažnių diapazoną. Vartotojų galinės įrangos kaina, priklausomai nuo jos tipo: vidinė įranga kainuoja apie 199 Lt, išorinė – 1436 Lt.

3. Jei naudojama ADSL, bazinė stotis kainuoja apie 5471 Lt, įskaitant papildomas išlaidas kabeliams, būtinus sudarant ryšį su kliento galine įranga. Jų kaina, priklausomai nuo kabelio tipo bei porų skaičiaus, svyruoja nuo 1717 Lt už 1000 m magistralinio kabelio ir nuo 282 Lt

už 500 m abonentinį kabelį. Vartotojų galinė įranga – DSL modemai, kurie privalomi ryšio užmezgimui, pigiausio kaina – 63 Lt.

Palyginus kainas, akivaizdu, jog pigiausia būtų naudoti Wi-Fi technologiją, bet reiktų atsižvelgti ir į ateities tinklo plėtros perspektyvas arba, jei bandoma pasirinktą tinklą prijungti prie esamo interneto ryšio tiekėjo tinklo, įvertinti, ar nėra tam tikrų neigiamų saugumo, greitaveikos pastovumo savybių. Trumpa svarbiausių tinklų savybių (įdiegimas, gamtos poveikis įrangai, tinklo praplėtimo galimybės, duomenų išsiuntimo ir gavimo greitaveikos stabilumas, saugumas), kurios gali neatsispindėti kainose, apžvalga pateikiama 2.13 lentelėje.

2.13 lentelė. Wi-Fi, WiMAX, ADSL technologijų savybių palyginimas

Savybės	Wi-Fi	WiMAX	ADSL
Įdiegimas	Paprastas.	Paprastas.	Reikia nutiesti kabelius po žeme.
Gamtos poveikis įrangai	Įranga lauke, gali sugesti nuo žaibo iškrovos, ilgainiui padaro žalą šaltis, drėgmė.	Įranga lauke, gali sugesti nuo žaibo iškrovos, ilgainiui padaro žalą šaltis, drėgmė.	Tiek kabeliai, tiek pati įranga viduje, todėl galimybė pakenkti per elektros tinklą.
Tinklo praplėtimo galimybės	Formuojamos atskiros interneto prieigos zonos, todėl praplėtimas nesunkus.	Formuojamos atskiros interneto prieigos zonos, todėl praplėtimas nesunkus.	Formuojamos atskiros interneto prieigos zonos, bet sujungimui tarp tinklų būtina ekvivalenti įranga.
Duomenų išsiuntimo/gavimo greitaveikos stabilumas	Priklauso nuo gamtos sąlygų, atstumo nuo vartotojo iki bazinės stoties, aplinkinių prietaisų skleidžiamų triukšmų galios.	Priklauso nuo gamtos sąlygų, atstumo nuo vartotojo iki bazinės stoties.	Priklauso nuo atstumo tarp vartotojo ir bazinės stoties, jungiamųjų kabelių charakteristikų.
Saugumas	Priklauso nuo vartotojo prisijungimo slaptažodžio sudėtingumo, vidutiniškai saugi.	Saugi, duomenys šifruojami.	Saugi.

Iš lentelėje pateiktos apibendrintos informacijos galima daryti prielaidą, jog tiek WiMAX, tiek ADSL technologijos daugiau naudojamos jau turint tam tikrą vienos iš technologijų pagrindu suprojektuotą tinklą ir bandant praplėsti zonos ribas, taip pat šios technologijos pasižymi dideliu saugumu tiek vartotojui autorizuojantis bazinėje stotyje, tiek siunčiant duomenis. Šie aspektai turėtų didesnę reikšmę, jei būtų planuojama, kad vartotojų padaugėjimas yra pakankamai spartus, pvz., didelių miestų atveju daug lemia atvažiuojantys studentai, o žmonių srautai, priklausomai nuo dienos meto, gali būti įvairiose vietose skirtingi, kas leistų išnaudoti didelį šių technologijų teikiamą potencialą.

Projektuojant tinklą taip pat svarbu atsižvelgti, ar bus sunku sumontuoti prietaisus. ADSL atveju įdiegimo darbai užtruktų nemažai laiko dėl poreikio tiesti kabelius po žeme, tai pareikalautų ne tik daug lėšų, bet ir laiko. Wi-Fi, WiMAX atveju užtektų išrinkti vietas, kuriuose būtų sumontuojama įranga lauke, tai užimtų nedaug laiko, bet įranga būtų neapsaugota nuo žaibo išlydžių. Vartotojui turbūt būtų svarbi pastovi interneto greitis, naudojant Wi-Fi ir WiMAX technologijas duomenų išsiuntimo ir gavimo sparta priklauso nuo oro sąlygų bei atstumo iki bazinės stoties, bet jei išskaidžius vartotojus į tam tikras zonas, būtų galimybė užtikrinti pastovią greitaveiką. Kadangi miestelio gyventojų geografinis išsidėstymas pakankamai platus didelėje teritorijoje, miestelio centre yra kalva, kuri skiria miestelį tarsi į dvi dalis, galima daryti prielaidą, jog pati tinkamiausia technologija, kuria remiantis bus projektuojamas internetinis tinklas, yra Wi-Fi, nes planuojama aprūpinti 154 būstus interneto ryšiu. Šis skaičius nėra didelis, be to, planuojama galutiniam vartotojams teikti iki 4 Mbit/s greitaveiką, o tai nesudarys didelio interneto srauto, todėl ekonomiškiau yra taikyti pigesnę interneto prieigos variantą – išskaidyti miestelio teritoriją į mažesnes zonas ir jose formuoti belaidžius prieigos tinklus, kurie bus sujungiami, nei naudojant vieną brangią WiMAX bazinę stotį aprępti visą miestelio zoną, tačiau neišnaudoti maksimaliai įrangos galimybių. ADSL 2+ technologija taip pat netinkama, kadangi iki kiekvieno abonento tektų tiesti telefono liniją, o tai reikalautų didelių lėšų ir technologijos įdiegimas užimtų nemažai laiko.

3. Interneto prieigos taškų projektavimas

Išanalizavus interneto technologijas ir pasirinkus Wi-Fi technologiją, kuria naudojantis bus atliekamas interneto tinklo projektavimas, bei remiantis 2.1.2 skyrelyje jau aptartu WLAN tinklo modeliu, bus siekiama pasiūlyti ne mažiau nei 70 % Kuktiškių miestelio būstų kokybišką ir sparčią interneto prieigą. Planuojama vienam vartotojui interneto sparta – iki 4 Mbit/s. Atsižvelgiant į busimų naudotojų interneto paslaugų įvairiapusiškumą – balso, vaizdo, bylų duomenų siuntimą bei gavimą, bus naudojamos QoS – paslaugų kokybės žymės, leidžiančios diferencijuoti duomenų srautus pagal jų pobūdį ir skirti didžiausią svarbą balso, vaizdo duomenims. Taip pirmenybė būtų suteikiama šiems srautams, o ne byloms, užimančioms daug vietos ir eikvojančioms resursus bei sukeliančioms balso, vaizdo duomenų srautų vėlinimą realiu laiku.

Projektuojant Kuktiškių miestelio belaidį tinklą, bus stengiamasi padengti kuo didesnę plotą belaidžiu interneto ryšiu. Tai įgyvendinti leidžia 802.11 a/b/g/n standartai. 2,4 GHz dažnio signalas (802.11 b/g/n) yra ne taip lengvai absorbuojamas sienų, metalinių konstrukcijų, yra atsparesnis triukšmui, palyginti su 802.11a/n standartų naudojamu 5 GHz dažnio signalu [24]. Pasirenkamas 802.11 n standartas ir dėl didesnės maksimalios palaikomos greitaveikos – 150 Mbit/s vienam radijo kanalui (reali fizinė sparta yra 100 Mbit/s). Apsibrėžus pirmines sąlygas, bus aptariama reikiama vartotojų galinė įranga ir jai keliami reikalavimai.

3.1. Galinė vartotojų įranga

Vartotojai galės internetu naudotis su nešiojamaisiais, staliniais kompiuteriais, jei juose bus integruota belaidžio tinklo plokštė (antenos bazinis signalo stiprinimas – 2 dBi [23]), palaikanti 802.11n standartą. Šie vartotojai turės būti įsikūrę arti belaidės tinklo prieigos taško, o atokiau gyvenantiems teks naudoti lauko antenas, kurios bus tvirtinamos taip, kad būtų galima sudaryti tiesioginio matomumo „naudotojas–belaidės prieigos taškas“ sujungimą, tam reikės įsigyti belaidės tinklo plokštės adapterį, tenkinantį tokias sąlygas:

1. Šio prietaiso lauko antenos veikimo diapazonas – 2412–2472 MHz. Lauko antenos stiprinimas neturėtų būti mažesnis nei 16 dBi, taip siekiant užtikrinti kuo stipresnį signalą esant belaidės interneto prieigos zonos pakraštyje.
2. Prietaise turėtų būti USB 2.0 jungtis.

Šiuos parametrus rinkoje atitinka keletas USB-Wifi keitiklių (adapterių), pateiktų 3.1 lentelėje [25].

3.1 lentelė. Belaidės tinklo plokštės keitikliai ir jų techninės charakteristikos

Prietaiso pavadinimas	Antenos veikimo diapazonas, MHz	Antenos stiprinimas	USB jungties tipas	Kaina, Lt
Realtek RTL8191	2412 – 2472	16 dBi	2.0	90,00
Alfa AWUS036H		16 dBi		140,00
WifiSky RTL8187L		16 dBi		125,00

Lentelėje pateikti prietaisai yra vienodų techninių charakteristikų, tik kainos skiriasi, todėl pasirenkamas pigiausias adapteris – Realtek RTL8191. Į šio prietaiso komplektaciją įeinančios lauko antenos stiprinimas yra 16 dBi, tai leis sustiprinti belaidžio ryšio prieigos siunčiamą signalą vietose, labiausiai nutolusiose nuo prieigos centro. Su šia įranga bus sukuriama ryšys tarp vartotojo galinės įrangos ir belaidės prieigos taško. Vartotojo galinė įranga bus montuojama pastato viduje, tik lauko antena – išorėje, taip sudaroma stacionari darbo vieta, kurią vartotojas galės pagal poreikį išplėsti, panaudodamas maršruto parinktuvą su integruota WLAN tinklo plokšte – sukurdamas savo vidinį belaidį tinklą, prie kurio galės jungtis daugiau vartotojų. Tik būtina sąlyga, kad vartotojo sukuriama vidinio belaidžio tinklo ryšio kanalo dažnis turės skirtis nuo bazinės belaidės prieigos taško, kuriuo teikiamas internetas, kad būtų išvengta signalų interferencijos.

Aptarus vartotojų galinės įrangos reikalavimus ir atrinkus prietaisus, kurie bus siūlomi vartotojams įsigyti, pereinama prie interneto ryšio aprėpčių zonų skaičiavimo.

3.2. Bazinio belaidės prieigos prietaiso ryšio aprėpties zona

Žinant vartotojų galinės įrangos komplektaciją, prieš pasirenkant bazinį belaidės prieigos prietaisą galima apskaičiuoti, kaip nuo atstumo tarp vartotojo ir bazinės stoties priklauso galutinio vartotojo prieigos taške priimamo signalo lygis, kai naudojami sertifikuoti prietaisai, nepažeidžiantys LR ryšių reguliavimo tarnybos normų, nustatytų 2,4 GHz dažnių juostai – išeinančio signalo stipris iš prie prieigos prietaiso prijungtos antenos turėtų būti ne didesnis nei 20 dBm arba 100 mW [26].

Skaičiavimai atliekami remiantis bendrąja radijo linijos biudžeto formule (1) [27, p. 209–220]:

$$P_{RX} (dBm) = P_{TX} (dBm) + G_{TX} (dBi) - L_{TX} (dB) - L_{FS} (dB) + G_{RX} (dBi) - L_{RX} (dB); \quad (1)$$

kur:

P_{RX} – vartotojo taške gauta signalo galia;

P_{TX} – iš belaidės interneto prieigos prietaiso išeinančio signalo galia;

G_{TX} – belaidės interneto prieigos prietaiso antenos signalo stiprinimas;

L_{TX} – siųstuvo dalyje signalo susilpnėjimas (kabeliai, jungtys, sienos);

L_{FS} – signalo susilpnėjimas dėl erdvės nuotolio nuo siųstuvo;

G_{RX} – imtuvo antenos stiprinimas;

L_{RX} – imtuvo dalyje signalo susilpnėjimas (kabeliai, jungtys).

Signalų susilpnėjimas dėl erdvės nuotolio nuo siųstuvo, apskaičiuojamas pagal formulę (2):

$$L_{FS} = 32,45 \text{ dB} + 20 \cdot \lg[f \text{ (MHz)}] + 20 \lg[l \text{ (km)}]; \quad (2)$$

kur:

f – signalo dažnis;

L_{FS} – signalo susilpnėjimas dėl erdvės nuotolio nuo siųstuvo;

l – imtuvo atstumas iki siųstuvo.

Kadangi bus naudojamas Wi-Fi 802.11n standartas, tai signalo dažnis gali būti nuo 2412 MHz iki 2472 MHz (išskaidyti į 1–13 kanalus), priklausomai nuo naudojamo kanalo pločio. Mūsų atveju bus naudojamas 20 MHz pločio kanalas, todėl gali būti pasirenkami nepersidengiantys kanalai – 1, 6, 11, ir nustatomas darbo režimas tuo kanalu, kuris nėra užimtas kitų toje zonoje veikiančių prietaisų, todėl signalo lygis vartotojo taške bus skaičiuojamas tiek naudojant 1 (2412 MHz) arba 11 kanalą (2462 MHz). Maksimalus nuotolis nuo siųstuvo pasirenkamas 100 m, 200 m, 300 m. Šiuos dydžius įstatę į formulę (2), gauname signalo lygio vertę erdvės taške, nutolusiame nuo siųstuvo pasirinktais atstumais, rezultatai pateikiami 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. L_{FS} priklausomybė nuo kanalo bei atstumo

Ryšio kanalas, dažnis	1 kanalas, 2412MHz	11 kanalas, 2462 MHz
Atstumas, m		
100	–80,10 dB	–80,31 dB
200	–86,12 dB	–86,33 dB
300	–89,64 dB	–89,85 dB

Kadangi pagal 3.2 lentelėje pateiktus skaičius matyti, jog signalo slopinimo vertės 1 ir 11 kanale labai mažai skiriasi, todėl tolesniems skaičiavimams bus naudojami 11 kanalo L_{FS} apskaičiuoti dydžiai.

Belaidės prieigos prietaiso ir siųstuvo antenos suminis signalo stiprinimas pagal LR ryšių reguliavimo tarnybos normas negali būti didesnis nei 20 dBm, todėl panaudojame formulę (3):

$$M_{TX} (dBm) = P_{TX} (dBm) + G_{TX} (dBi); \quad (3)$$

čia:

M_{TX} – maksimalus leistinas signalo lygis pagal LR ryšių reguliavimo tarnybos normas, nustatytas 2,4 GHz dažnių diapazonui;

P_{TX} – išeinančio iš prieigos prietaiso signalo stipris;

G_{TX} – antenos stiprinimas.

Sudėjus išeinančio iš prieigos prietaiso signalo stiprį su antenos stiprinimu, turime gauti nedaugiau kaip:

$$M_{TX}=20 \text{ dBm}$$

Signalų susilpnėjimas panaudojant vieno metro ilgio penkiasdešimties omų varžos CFD 195 koaksialinį kabelį (slopinimas 1 m – $L_{TX}=0,595 \text{ dB}$ [28]), skirtą baziniam belaidžiam prieigos prietaisui prie antenos prijungti, bei vartotojo imtuvo antenos stiprinimas $G_{RX} = 16 \text{ dBi}$, kadangi bus sudaromas tiesioginio matomumo ryšys, tai skaičiuojant galima neatsižvelgti į medžių, pastatų sienų slopinimą. Vartotojo pusėje bus naudojamas 10 metrų CFD 195 koaksialinis kabelis (10 metrų slopinimas $L_{RX}=5,95 \text{ dB}$) lauko antenai prijungti prie adapterio.

Įstatę apskaičiuotus ir turimus dydžius į formulę (1), gauname signalo stiprį vartotojo prieigos taške, kurio vertės pateikiamos 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė P_{RX} priklausomybė nuo atstumo

Ryšio kanalas, dažnis	11 kanalas 2462 MHz
Atstumas, m	
100	–50,86 dBm
200	–56,88 dBm
300	– 60,39 dBm

Laikydami, kad naudojama daugiakryptė (interneto ryšio aprėpties zona apskritimo formos) antena, o vartotojai yra išsidėstę apskritimo formos zonoje, kurio spindulys 300 metrų, ir galinio vartotojo antena sudaro tiesioginio matomumo ryšį su belaidės interneto prieigos prietaisu, galima daryti prielaidą, jog labiausiai nuo zonos centro nutolę naudotojai, esantys prie ryšio zonos krašto, savo galinėje įrangoje fiksuos -60,39 dBm signalo stiprį (realybėje šis skaičius gali būti mažesnis dėl įvairių oro sąlygų, aplinkos trukdžių). Tai buvo apskaičiuota remiantis teorine linijos

biudžeto formule, kuomet išeinančio signalo stipris iš prie prieigos prietaiso prijungtos antenos, pagal LR ryšių reguliavimo tarnybos normas esant 2,4 GHz dažnio signalui, yra ne didesnis nei 20 dBm. Remiantis šiais skaičiavimais, bus atliekamas Kuktiškių miestelio geografinis skaidymas į zonas ir jų sujungimas.

3.3. Vartotojų zonos

Detaliai analizuojant Kuktiškių miestelio geografinį žemėlapi (pateiktą 1.1 paveiksle), galima pastebėti, jog didžiausia gyventojų būstų koncentracija yra miestelio centre (Zona 1), kuriame įsikūrusi mokykla, seniūnija, paštas, keletas parduotuvių ir bažnyčia. Kita ganėtinai didelės būstų koncentracijos zona (Zona 2) yra atskirta nuo miestelio centro miško juosta. Šios zonos pateiktos 3.1 paveiksle (žalios spalvos apskritimais).



3.1 pav. Interneto ryšio zonos.

Šiose zonose įsikūrę 175 būstai, todėl formuojant belaidės interneto prieigos zonas, prietaisai bus išdėstomi taip, kad būtų sudaroma galimybė ne mažiau kaip 154 būstams naudotis interneto prieigos paslauga. Turint šiuos duomenis, pereinama prie prieigos taškų projektavimo.

3.3.1. Pirmasis interneto prieigos taškas

Remiantis 3.1 paveiksle pateiktomis zonomis, 2-ai zonai (joje įsikūrę 66 mūriniai, privatūs namai) belaidę interneto prieigą planuojama suteikti joje išdėstant įrangą pagal 3.2 skyriuje optimalaus signalo (300 metrų spindulio apskritimų) apskaičiavimus ir pasinaudojant šioje zonoje esančiais aukštais statiniais, kad nereikėtų papildomai statyti bokštų, siekiant su kiekvienu šioje zonoje esančiu vartotoju sudaryti tiesioginio matomumo ryšį. Visa tai įvertinus, randamas šioje zonoje esantis aukščiausias pastatas – vandens bokštas, kurio aukštis – 27 metrai.

Kadangi planuojama kiekvienam tos zonos vartotojui suteikti interneto spartą iki 4 Mbit/s, taip pat laikant, kad realiai kiekvienu duotuoju laiko momentu prie tinklo jungsis arba visi šioje zonoje gyvenantys vartotojai (1:1 sutankinimas), arba kas antras vartotojas (1:2 sutankinimas), tai tinklo prieigos prietaiso teikiama agregatinė greitaveika turėtų būti apskaičiuojama pagal (4) formulę:

$$V = \frac{1}{n} \cdot v(\text{Mbit/s}) \cdot N; \quad (4)$$

kur:

N – vartotojų skaičius;

n – taikomas sutankinimas;

v – vieno vartotojo greitaveika;

V – prietaiso agregatinė greitaveika.

Gaunama 2 zonoje reikiama agregatinė greitaveika:

$$V = \frac{1}{1} \cdot 4(\text{Mbit/s}) \cdot 66 = 264 \text{Mbit/s}.$$

Žinant, jog formuojamos apskritimo formos (300 m spindulio) belaidės interneto prieigos zonos, kurių pakraštyje signalo lygis būtų lygus (pagal 3.3 lentelę) -60,39 dBm, taip pat turėdami prieigos prietaiso signalo ir duomenų spartos (pagal 2.2 lentelę) santykį ir fiksuodami -60,39 dBm signalo lygį vartotojo įrangoje, pagal prietaiso specifikaciją gauname, kad maksimalus duomenų srautas, esant šiam signalo lygiui, yra 150 Mbit/s, nors reali greitaveika – 100 Mbit/s. Todėl 2-ą zoną reikia išskaidyti į dvi mažesnes zonas, kuriose tinklą formuotų du prieigos prietaisai, aprėpiantys internetu ryšiu tiek būstų, kad kiekvienas iš jų gautų iki 4 Mbit/s. Tai atlikus gaunamos dvi zonos, Zona 2.1 – 24 būstai (1:1 sutankinimas), Zona 2.2 – 42 būstai (1:2 sutankinimas), pateiktos 3.2 paveiksle.



3.2 pav. Zonos 2 išskaidymas.

Šias zonas padengti belaidžiu interneto ryšiu įmanoma pagal 2.2 lentelę pasirinkus du vienodus *EnGenius ENS200EXT* prieigos prietaisus (bendra dviejų prietaisų kaina būtų 460 Lt). Jie bus konfigūruojami nurodant WPA2-Enterprise autorizacijos mechanizmą (reikalingas „Radius“ serveris), naudojant IEEE 802.11n standartą bei atlikus kanalų skenavimą. Kiekvienam prietaisui parenkamas toks kanalas, kad nepersidengtų su kitais (idealiu atveju renkamosi iš 1, 6, 11 kanalų, kurių plotis – 40 MHz, jei jie nėra užimti šioje zonoje). Prietaiso komplektacijoje yra PoE adapteris, prie kurio šis būtų prijungiamas naudojant UTP 5 kategorijos kabelį lauko darbams.

Zonai 2.1 suformuoti reikalinga lauko antena, pritaikyta 2412–2472 GHz dažnių juostai, o jos kryptingumo diagrama horizontalioje ašyje turėtų sudaryti 60° horizontalų lapelį. Šiuos reikalavimus atitinka 2.3 lentelėje nurodyta *GNS-1403* antena, galinti padengti ryšiu 24 būstus, visiškai panaudojant 1:1 sutankinimą bei 100 Mbit/s agregatinę prietaiso spartą, dar papildomai paslauga šioje zonoje galėtų naudotis 1 naudotojas.

Zonai 2.2 suformuoti reikalinga lauko antena, pritaikyta 2412–2472 GHz dažnių juostai, o jos kryptingumo diagrama horizontalioje ašyje turėtų sudaryti 90° horizontalų lapelį. Šiuos reikalavimus atitinka 2.3 lentelėje nurodyta *HAI15SC* antena, galinti padengti 42 būstus, papildomai paslauga galėtų naudotis dar 8 naudotojai, taip visiškai panaudojant 100 Mbit/s agregatinę prietaiso spartą ir 1:2 sutankinimą.

Parinktos lauko antenos prijungiamos prie belaidžių prieigos prietaisų panaudojant vieno metro ilgio penkiasdešimties omų varžos CFD 195 koaksialinį kabelį (įeina į antenos komplektaciją). Iš šio prieigos prietaiso išeinančio signalo stipris bus programiškai sumažinamas tiek, kad nevirsytų 20 dBm signalo, išeinančio iš antenos, lygio. Suprojektavus šiai zonai du

belaidės prieigos prietaisus, bendra prietaisų kaina – 780 Lt. Visa tai atlikus, pereinama prie 1-os zonos interneto tinklo projektavimo.

3.3.2. Antrasis interneto prieigos taškas

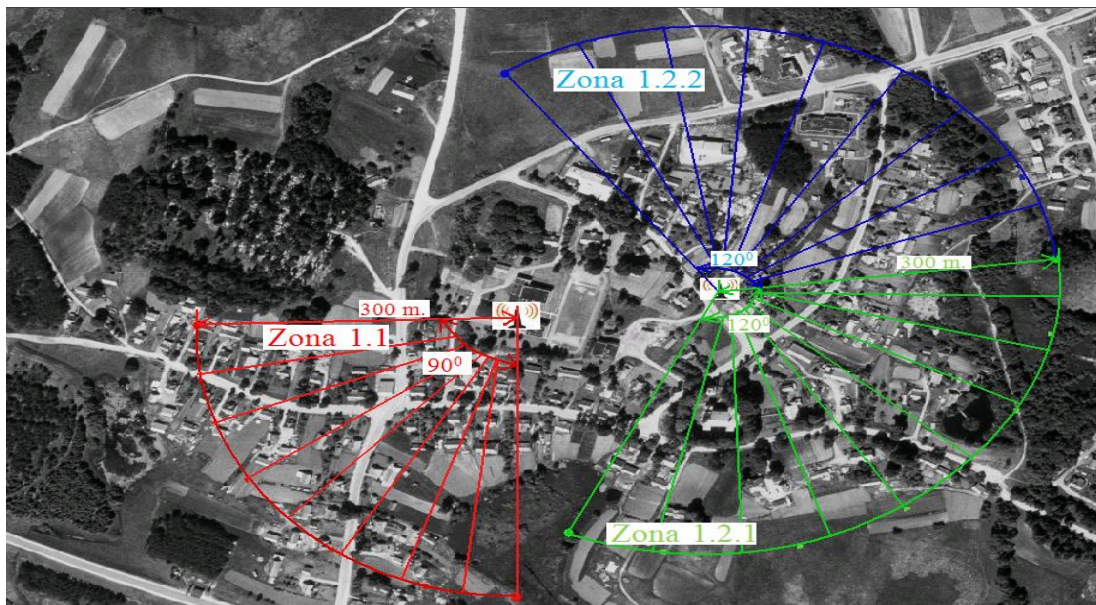
Remiantis 3.1 paveikslu pateiktomis zonomis, 1-ai zonai (joje įsikūrę 121 mūrinis, privatus namas) belaidę interneto prieigą planuojama suteikti joje išdėstant įrangą, kuri padėtų suformuoti apskritimo formos (300 m spinduliu) belaidės interneto prieigos zonas. Jų pakraštyje signalo lygis būtų lygus -60,39 dBm. Kadangi 1-ai zonai nepakanka 300 metrų spindulio aprėpties, kad ši zona būtų padengta belaidžio interneto ryšiu, tai ji išskaidoma į dvi apskritimo formos zonas (Zona 1.1 – 30 būstų, ir Zona 1.2 – 71 būstas). Pasinaudojama suformuotose zonoje esančiais aukštais statiniais, kad nereikėtų papildomai statyti bokštų, siekiant su kiekvienu šioje zonoje esančiu vartotoju sudaryti tiesioginio matomumo ryšį. Tai įvertinus, randamas Zonoje 1.1 aukščiausias esantis pastatas – mokykla, kurios aukštis – 11 metrų, o kiti šioje zonoje esantys pastatai yra maksimalaus 7 metrų aukščio. Zonoje 1.2 aukščiausias pastatas yra seniūnija, kadangi ji įsikūrusi ant kalno, bet ant jos stogo formuojant belaidės prieigos tašką susiduriama su problema – iš čia neįmanoma padengti interneto ryšiu likusių pastatų 300 metrų spinduliu. Todėl pasirenkamas kiek mažesnis Kuktiškių pašto pastatas. Kadangi planuojama kiekvienam vartotojui toje zonoje suteikti efektyvų greitį iki 4 Mbit/s, taip pat laikome, kad realiai kiekvienu duotuoju laiko momentu prie tinklo jungsis tik maždaug kas antras vartotojas, todėl Zonoje 1.1 tinklo prieigos prietaiso teikiama agregatinė greیتaveika turėtų būti apskaičiuojama pagal formulę (4):

$$V = \frac{1}{2} \cdot 4(\text{Mbit/s}) \cdot 30 = 60\text{Mbit/s};$$

Kadangi gaunama reikiama agregatinė greیتaveika mažesne (60 Mbit/s) už vieno prietaiso maksimalią 100 Mbit/s greیتaveiką, taip visiškai nepanaudojama maksimali agregatinė prietaiso sparta, todėl papildomai paslauga šioje zonoje dar gali naudotis 10 naudotojų. Zonai 1.2 reikalinga agregatinė greیتaveika taip pat apskaičiuojama pagal formulę (4):

$$V = \frac{1}{2} \cdot 4(\text{Mbit/s}) \cdot 71 = 142\text{Mbit/s};$$

Gaunama reikiama agregatinė greیتaveika yra didesnė nei vieno prietaiso maksimali 100 Mbit/s agregatinė greیتaveika, todėl Zoną 1.2 reikia išskaidyti į dvi mažesnes zonas, kuriose tinklą formuotų du prieigos prietaisai, aprėpiantys interneto ryšiu tiek būstų, kad kiekvienas iš jų gautų iki 4 Mbit/s ir būtų tenkinama 1:2 tankinimo sąlyga. Tai atlikus, gaunamos dvi zonos – Zona 1.2.1 – 34 būstai, Zona 1.2.2 – 37 būstai. Šį skaidymą vaizduoja 3.3 paveikslas.



3.3 pav. Zonos 1 išskaidymas

Zoną 1.1 padengti belaidžiu interneto ryšiu įmanoma naudojant vieną belaidės interneto prieigos prietaisą – *Teletronics TT2400*, turintį vieną radijo modulį. Šie prietaisai bus konfigūruojami 3.2.1 skyriuje jau aptartu būdu. Į prietaisų komplektaciją įeinančius PoE adapterius planuojama prijungti naudojant UTP 5 kategorijos kabelį lauko darbams.

Zonai 1.1 suformuoti reikalinga lauko antena, pritaikyta 2412–2472 GHz dažnių juostai, o jos kryptingumo diagrama horizontalioje ašyje turėtų sudaryti 90° horizontalų lapelį. Šiuos reikalavimus atitinka 2.3 lentelėje nurodyta *HAI15SC* antena.

Zoną 1.2 padengti belaidžiu interneto ryšiu įmanoma naudojant du belaidės interneto prieigos prietaisus *EnGenius ENS200EXT*. Šie prietaisai bus konfigūruojami ir prijungiami prie PoE adapterio aukščiau aptartu būdu.

Zonomis 1.2.1 ir 1.2.2 suformuoti reikalingos lauko antenos, pritaikytos 2412–2472 GHz dažnių juostai, jų kryptingumo diagramos horizontalioje ašyje turėtų sudaryti 120° horizontalų lapelį. Šiuos reikalavimus atitinka 2.3 lentelėje nurodyta *GNS-1419* antena, galinti padengti ryšiu Zonoje 1.2.1 34 būstus (suminis srautas – 68 Mbit/s, 1:2 sutankinimas), o Zonoje 1.2.2 galinti apimti 37 būstus (suminis srautas – 74 Mbit/s, 1:2 sutankinimas).

Zonų 1.1 bei 1.2 belaidžio ryšio zonas formuojančios lauko antenos prijungiamos prie belaidės prieigos prietaisų panaudojant vieno metro ilgio penkiasdešimties omų varžos CFD 195 koaksialinį kabelį (įeina į lauko antenų komplektaciją). Suprojektavus 1-ai zonai tris belaidės prieigos prietaisus, bendra prietaisų kaina – 2224 Lt.

Suprojektavus Kuktiškių miestelio interneto prieigos taškus, pereinama prie jų sujungimo modelio.

3.4. Prieigos zonų sujungimas

IEEE 802.11 standarte [29] nurodoma, jog Wi-fi technologijos tinklo struktūros modelį sudaro:

1. belaidės prieigos prietaisas (AP), skirtas ryšiui tarp kliento ir tinklo sudaryti;
2. maršruto parinktuvas – tinklo paslaugoms teikti aprėpties zonose esantiems autorizuotiems vartotojams;
3. RADIUS serveris – paslaugoms teikti, vartotojų autentifikacijai;
4. judrioji stotis – vartotojo turima įranga fiziniam ryšiui užmegzti su belaidės prieigos prietaisu.

Kadangi jau atliktas prieigos zonų belaidžiu ryšiu padengimo projektavimas, belieka sujungti 3.3 skyriuje aptartus prieigos taškus, kuriuose projektuojama įranga bus montuojama:

Zona 2 – vandens bokštas, Zona 1.1 – Kuktiškių miestelio vidurinė mokykla, Zona 1.2 – Kuktiškių paštas (TEO LT automatinė telefonų stotis). Išvardytose vietose bus stengiamasi sudaryti patalpų nuomos sutartis ir mokama už suvartotą elektrą. Kadangi iki išvardytų objektų vykdant Lietuvoje RAIN 1 projektą „Kaimiškųjų vietovių informacinių technologijų plėtojimas“ buvo atvestas optinis kabelis, tai optimaliausias būdas sujungti visus taškus – pasinaudoti VŠĮ „Plėtojantis internetas“ teikiamomis ryšio sujungimų paslaugomis, pateiktomis 3.4 lentelėje [30].

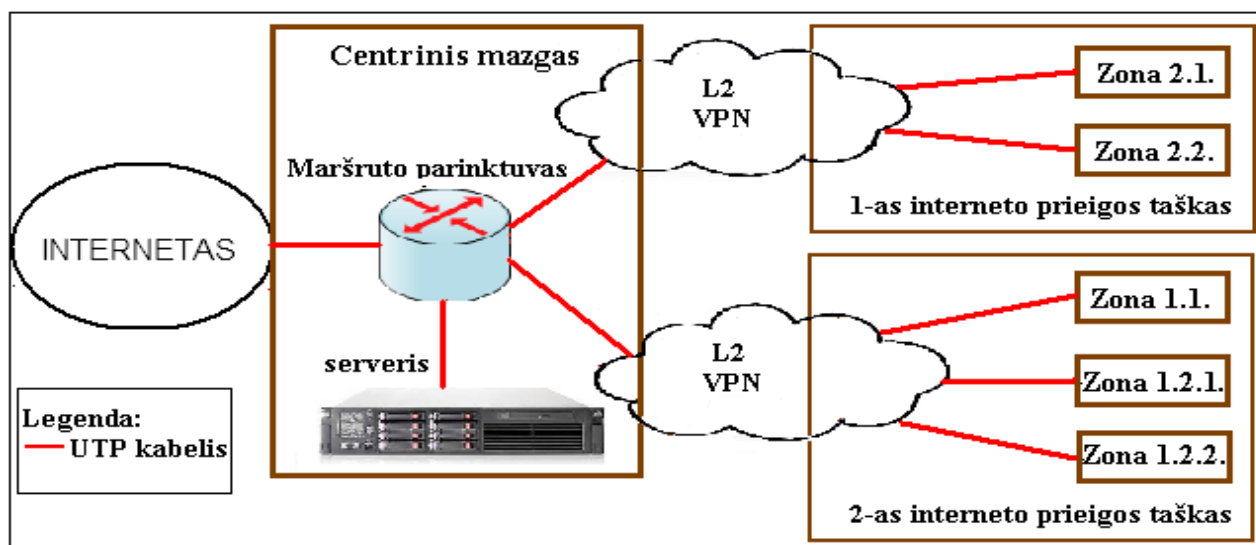
3.4 lentelė. VŠĮ „Plėtojantis internetas“ teikiamos ryšio sujungimų paslaugos

Paslaugos tipas	Duomenų perdavimo sparta	Prieigos įvadas	Kaina, Lt/mėn
Duomenų perdavimas	100 Mbit/s	10/100 FastEthernet(RJ45) 100 Base FX	50,00*
	1000 Mbit/s	10/100/1000 FastEthernet(RJ45) 1000 Base X	400,00
Šviesolaidinė skaidula	1 / 2 skaidulomis	ODF panelė (sc jungtys)	70,00*
* – duomenų perdavimas iki 1 kilometro geografiniu atstumu arba gyvenvietės ribose.			

Visi prieigos taškai yra vienoje gyvenvietėje, todėl tikslingiausia užsisakyti 5x100 Mbit/s duomenų srauto perdavimą tarp Zonos 2 ir centrinio mazgo bei Zonos 1.2 ir centrinio mazgo, taip pat 100Mbit/s duomenų srauto perdavimą tarp Zonos 1.1 ir centrinio mazgo. Suminė agregatinė penkių prieigos prietaisų greitaveika lygi 382 Mbit/s:

1. Zona 2.1 – 96 Mbit/s;
2. Zona 2.2 – 84 Mbit/s;
3. Zona 1.1 – 60 Mbit/s;
4. Zona 1.2.1 – 68 Mbit/s;
5. Zona 1.2.2 – 74 Mbit/s.

Centrinį mazgą, kuriame bus paskirstomas srautas zonoms, valdomos paslaugos, maršruto parinktuvas ir serveris, planuojama išsinuomoti Kuktiškių seniūnijos pastate dėl patogios geografinės vietos bei galimybės sujungti visas zonas. Nutolę prieigos taškai sujungiami pagal 3.4 paveiksle pateiktą tinklo struktūrinį modelį.



3.4 pav. Kuktiškių miestelio interneto tinklo struktūrinis modelis

3.4 paveiksle pateiktoje schemoje L2 VPN – 5x100Mbit/s duomenų srauto paslaugą teiks VšĮ „Plačiajuostis internetas“. Visas duomenų srautas bus valdomas centriniame mazge, kuriame planuojama sumontuoti serverį, kuris atliks vartotojų autorizaciją, duomenų srauto priežiūrą, el. pašto teikimą, mažų failų saugojimą (ang. File Transfer Protocol), įdiegus nemokamą „CentOS 6“ operacinę sistemą. Renkamasi iš serverių, atitinkančių tokius reikalavimus:

1. Operatyvioji atmintis – ne mažiau 4 GB, procesorius – ne mažiau 4 branduolių ir 2 GHz taktinio dažnio spartiems veiksams su duomenimis, duomenų srauto priežiūros programai.
2. Standusis diskas – nuo 1 TB, kadangi bus saugomi duomenų srauto priežiūros, failų talpyklos, el. pašto duomenys.
3. Be operacinės sistemos, bet palaikanti „CentOS“.
4. Tinklo plokštė, palaikanti 1000 Base-T standartą.

Šiuos reikalavimus atitinka keletas serverių, pateiktų 3.5 lentelėje [31].

3.5 lentelė. Serverių specifikacija

Serveris	Procesorius, branduolių skaičius ir taktinis dažnis	Operatyvioji atmintis	CentOS palaikymas ir tinklo plokštė	Garantija, mėn.	Kaina, Lt
HP ProLiant ML310e	4; 3,1 GHz	4 GB	Palaiko; 2x1000Mbit/s	12	2049,00
IBM x3100 M4	3; 3,1 GHz	2 GB		12	2190,00
DELL PowerEdge T110 II	4; 3,4 GHz	4 GB		36	1995,00

Pagal 3.5 lentelę pasirenkamas „DELL PowerEdge T110 II“ serveris, kadangi atitinka visus minimalius reikalavimus ir pagal kainos ir garantijos santykį yra pigiausias variantas. Jame planuojama įdiegti nemokamą „CentOS“ operacinę sistemą bei keletą programų, skirtų formuoti el. pašto, FTP serverio, duomenų srauto priežiūrą (Zenoss). Serveryje bus sukuriamas duomenų bazė (RADIUS serveris), kur planuojama saugoti vartotojų vardus ir slaptažodžius, kurių bus prašoma kiekvieną kartą vartotojui jungiantis prie belaidžio tinklo. Serveris bus prijungiamas prie maršruto parinktuvo, kuris pasirenkamas vertinant kriterijus:

1. ne mažiau kaip 4x1000 Mbit/s eterneto sąsajos;
2. DHCP serverio įdiegimo galimybės su galimybe formuoti logines sąsajas (tarp VLAN maršrutizaciją);

3. palaikančio WEB, SSH prisijungimo būdus (valdymo funkcijos).

Šiuos reikalavimus tenkina keletas prietaisų, pateiktų 3.6 lentelėje [32].

3.6 lentelė. Maršruto parinktų specifikacijos

Prietaisas	WAN ir LAN	Tinklo lygmuo	Saugumas	Paslaugų kokybė	Kaina, Lt
CISCO RVS4000	WAN 1x10/100/1000 ir LAN 4x10/100/1000	DHCP serveris (tiek dinaminis tiek statinis IP adresų priskyrimas); DNS; NAT;	Prieigos prie tinklo leidimo kontrolė – MAC, URL, taikomųjų programų aptikimo filtrai	Duomenų srauto kontrolė ir rikiavimas pagal prioritetus	447,00
D-LINK DIR-860L	LAN 4x10/100/1000				452,00
CISCO WRVS4400N	WAN 1x10/100/1000 ir LAN 4x10/100/1000				459,00

Pasirenkamas *CISCO RVS4000*, kadangi jis tenkina išvardytas sąlygas bei kainos atžvilgiu yra pigiausias. Šis maršruto parinktuvas bus konfigūruojamas priskiriant kiekvienam prieigos taškui individualų virtualų vietinį tinklą (angl. VLAN). Visi VLAN bus stebimi duomenų srauto priežiūros programa (esančia serveryje), kuri skaičius prieigos taškuose bei kiekvieno vartotojo duomenų srautus, kad būtų išvengiama transliacinių (angl. Broadcast) kadų audrų, kad neužterštų tinklo nereikalingu srautu ir būtų greitai užblokuoti užsikrėsti virusais ar siekiantys piktavališkai pažeisti tinklą vartotojai. Naudojant dinaminį vartotojų adresų priskyrimą IPv4, bus suteikiamas individualus IP adresas kiekvienam naudotojui, kuris statiskai susiejamas su naudotojo kompiuterio MAC adresu. Įjungus srauto kontrolę, bus išskaidomas vartotojų srautų prioritetiškumas, kad būtų tenkinami kiekvienos vartotojų naudojamos programos ribiniai paketų vėlinimo intervalai. Sukonfigūravus NAT, prie vidinio tinklo prisijungę naudotojai, kuriems priskirti vidiniai IP adresai, bus keičiami į vieną ar kelis išorinius IP adresus, priklausomai nuo išorinio interneto tinklo teikėjo, ir galės naudotis interneto paslaugomis. Išoriniu interneto teikėju tikslinga rinktis TEO LT, kadangi Kuktiškėse tai vienintelė įmonė, galinti pasiūlyti tokio lygio paslaugą ir turinti įsirengusi automatinę telefonų stotį. Reikiamam išoriniam ryšiui keliama reikalavimai: 400 Mbit/s agregatinė greیتaveika, 1:1 sutankinimas. Pasitarus su įmonės konsultantais ir išnagrinėjus interneto svetainėje (www.teo.lt) pateiktus interneto paslaugų įkainius, pasirenkama reikiama paslauga, kuri suteikia iki 400 Mbit/s duomenų spartą tiek Lietuvoje, tiek užsienyje ir vieną išorinį IP adresą, mėnesinis mokestis su nuolaida – 596 Lt per mėn. Aptartų sujungimo paslaugų bei įrangos kaina:

1. centrinio mazgo prietaisų kaina – 2442 Lt;
2. paslaugų, skirtų prieigos taškams sujungti, mėnesinis mokestis – 846 Lt :
 - 2.1. sujungimui tarp prieigos prietaisų VŠĮ „Plačiajuostis internetas“ – 250 Lt per mėn.;
 - 2.2. išorinio sujungimo su interneto paslauga TEO LT – 596 Lt per mėn.

Suprojektavus prieigos taškus ir sujungus juos, pereinama prie projekto ekonominio vertinimo.

3.5. Projekto ekonominis vertinimas

Suprojektavus Kuktiškių miestelio belaidį interneto tinklą, apskaičiuota, kad 70 % miestelio būstų – 154 būstai – galės pasinaudoti interneto prieiga, kurios greیتaveika vienam vartotojui turėtų būti apie 4 Mbit/s. Planuojama Kuktiškių miestelio gyventojams teikti ne tik interneto paslaugą, bet ir pasiūlyti galimybę naudotis el. pašto bei failų saugyklos papildomomis paslaugomis. Kiekvienam naujam vartotojui bus suteikiama 1 nemokama el. pašto dėžutė ir bus išskiriama po 3 GB failų saugyklos vietos, kurioje bus galima saugoti įvairaus tipo duomenis, su galimybe jais naudotis ne tik iš namų – vidinio tinklo, bet ir iš išorinio tinklo.

Apskaičiavus reikiamas investicijas (kapitalo ir eksploatavimo išlaidas), bus atliekamas projekto atsiperkamumo skaičiavimas ir taip prieinama prie optimalios interneto abonento mokesčio už mėnesį (neperžengiant TEO LT siūlomų Kuktiškių miestelio gyventojams interneto paslaugų kainos 50 Lt per mėn. ribos), kurią vartotojai sutiks mokėti. Susumavus kiekviename prieigos taške ir centriname mazge esančios įrangos kainas, reikiamas lėšas įrangai sumontuoti ir prižiūrėti, pateikiama apibendrinta sąnaudų 3.7 lentelė.

3.7 lentelė. Eksploatavimo ir kapitalo išlaidos

Išlaidų rūšis	Išlaidų pavadinimas	Kaina, Lt
Kapitalo	Įranga Zonai1	2224,00
	Įranga Zonai2	780,00
	Įranga Centriname mazge	2442,00
	Įrangos sumontavimas*	624,00
	Iš viso:	6070,00
Eksploatavimo	Ryšio paslaugos	846,00 Lt/mėn.
	Patalpų nuoma**	110,00 Lt/mėn.
	Elektros energija***	284,00 Lt/mėn.
	Įrangos priežiūra	800,00 Lt/mėn.
	Iš viso:	2040,00 Lt/mėn.
* Vidutiniškai du darbininkai vieną prieigos tašką gali įrengti per 4 val. (centrinį mazgą per 4 val.), vieno darbuotojo 1 val. atlygis 13 Lt; ** Visa įranga sumontuota pastato išorėje, o taikomas mėnesinis vienos zonos mokestis nedidesnis nei 20 Lt per mėn.; ***Laikant, kad per mėnesį vienas prieigos prietaisas suvartoja apie 35 kWh [33], o 1 kWh kaina 0,5079 Lt [34].		

Prieigos prietaisai bus sumontuoti: Zona 1.2 – ant Kuktiškių miestelio pašto pastato stogo, Zona 1.1 – ant Kuktiškių miestelio vidurinės mokyklos stogo, Zona 2.1 – ant vandens bokšto. Centrinis mazgas įsikūręs Kuktiškių miestelio seniūnijos pastate (patekimas į patalpas iš išorės, geras patalpų vedinimas, kuris reikalingas, kad neperkaistų serveris ir maršruto parinktuvas). Laikoma, kad per vienerius įrangos eksploatavimo metus mažiausiai vienas belaidės prieigos prietaisas su antena ir jungiamaisiais kableliais gali sugesti dėl įvairių gamtos sąlygų, komplekto kaina – 396 Lt, ir visai įrangai prižiūrėti reikia žmogaus, kuris pasitelkęs duomenų srauto valdymo programą galėtų stebėti tinklą ir šalinti gedimus, jam už mėnesį darbo (1/2 etato) planuojama mokėti ne didesnę atlygį nei 800 Lt per mėn.

Apskaičiavus visas reikiamas investicijas, pereinama prie pajamų, kurios bus gaunamos už teikiamas paslaugas. Laikant, kad ne visi būstai naudosis interneto paslaugomis ir darant prielaidą, jog gali paslauga naudotis nuo 20 % (30 vartotojų) būstų pirmais metais, antraisiais šis skaičius galėtų išaugti iki 50 % (77 vartotojai) būstų, trečiaisiais – iki 70 % (108 vartotojai) būstų, ketvirtaisiais – iki 90 % (139 vartotojai) būstų, mėnesinis paslaugos mokestis gali būti nuo 10 Lt per mėn. iki 40 Lt per mėn. Remiantis šiais duomenimis sudaroma 3.8 lentelė.

3.8 lentelė. Gaunamos metinės pajamos

Pajamos per 12 mėnesių, Lt Paslauga naudosis būstų	Paslaugos mėnesinis mokestis 10 Lt	Paslaugos mėnesinis mokestis 20 Lt	Paslaugos mėnesinis mokestis 30 Lt	Paslaugos mėnesinis mokestis 40 Lt
1-ais metais 20 % būstų	3600,00	7200,00	10800,00	14400,00
2-ais metais 50 % būstų	9240,00	18480,00	27720,00	36960,00
3-iais metais 70 % būstų	12960,00	25920,00	38880,00	51840,00
4-iais metais 90 % būstų	16680,00	33360,00	50040,00	66720,00

Turėdami 3.8 lentelėje apskaičiuotus metinių pajamų dydžius ir žinodami eksploatacines ir kapitalo išlaidas, galima nubrėžti diagramą, remdamiesi dabartinės grynosios vertės (angl. NPV) formule (5) [35]:

$$NPV = IC_0 + \sum_{j=1}^n \frac{P_j - IC_j}{(1+i)^j}; \quad (5)$$

kur:

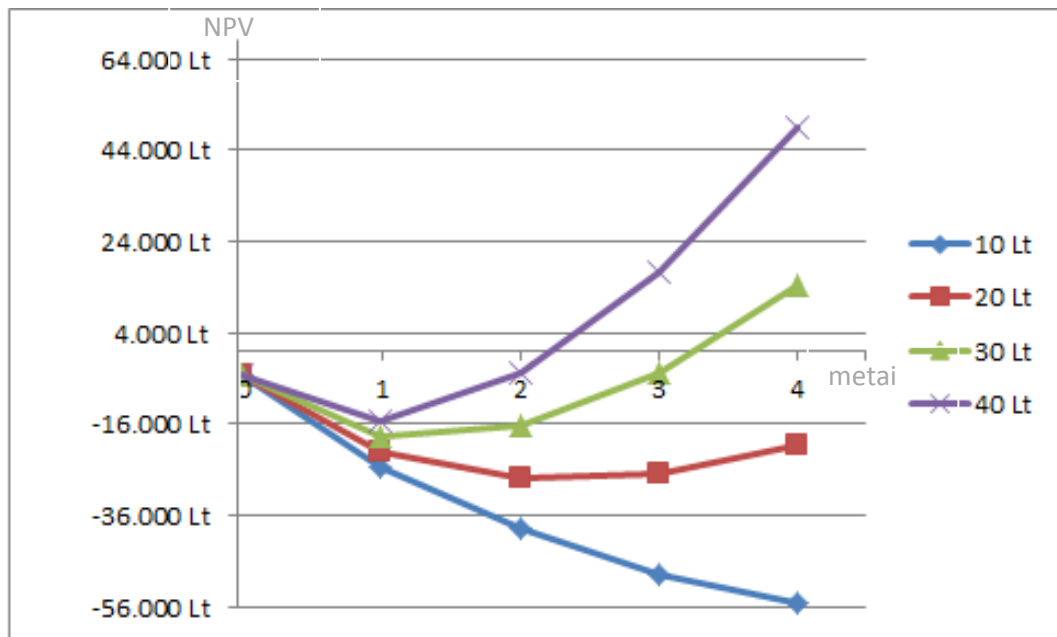
IC_0 – investicijos prieš pradedant veiklą;

P_j – grynosios (atskaičiavus įvairius mokesčius) pajamos n-taisiais veiklos metais;

IC_j – eksploataavimo išlaidos n – taisiais metais;

i – kapitalo išlaidos (diskontavimo koeficientas).

Laikant, kad diskontavimo koeficientas bus pastovus per 4 metų laikotarpį ir lygus 7% [36], apskaičiuojamas dabartinės grynosios vertės dydis ir pagal gautus duomenis nubraižomas įrangos atsipirkimo 3.5 paveikslas.



3.5 grafikas. Įrangos atsipirkimo diagrama

Iš šio grafiko matoma, jog taikant tiek 10 Lt per mėn., tiek 20 Lt per mėn. abonentinis mokestis numatytam vartotojų skaičiaus augimui, per 4 metų laikotarpį įranga neatsiperka. Jei būtų siekiama, kad įranga atsipirktų labai greitai – per trumpą laikotarpį, tai lemtų didesnę – 40 Lt per mėn. abonentinį mokestį ir mažesnę tikimybę, jog pasirinktas vartotojų skaičiaus augimas atitiks realius skaičius. Tuo tarpu pasirinkus 30 Lt per mėn. abonentinį mokestį ir vartotojų skaičiaus augimą (1-ais metais – 20 % būstų, 2-ais metais – 50 % būstų, 3-iais metais – 70 % būstų, 4-ais metais – 90 % būstų), įranga atsipirktų per 3 metus ir 2 mėnesius. Suprojektuoto tinklo savininku galėtų būti seniūnija, kadangi suprojektuotas tinklas yra atskiras, nuo nieko nepriklausomas, kuriam išėjimą į internetą galėtų teikti keletas interneto tiekėjų.

Išvados

Išanalizavus Kuktiškių miestelio interneto rinką ir nustačius interneto prieigos paslaugų stygių, buvo prieita prie išvados, jog reikalingas pigus ir kokybiškas sprendimas įrengti interneto prieigą. Buvo atliekamas technologijų, galimų problemos sprendimo būdų analitinis tyrimas ir nuspręsta taikyti Wi-Fi technologija paremto belaidžio interneto projekto modelį, kadangi dėl miestelio geografinio išsidėstymo buvo nuspręsta skaidyti teritoriją į mažesnes zonas ir jose formuoti belaidžius interneto tinklus ir juos sujungti. Centrinę prieigos mazgą nutarta įrengti Kuktiškių miestelio seniūnijoje, dėl patogios geografinės vietos ir galimybės sujungti prieigos taškus su jau esamu VŠĮ „Placiajuostis internetas“ tinklu, todėl bus naudojamos šios įmonės siūloma paslauga – 5x100 Mbit/s duomenų srautu. Centriname mazge bus sumontuotas maršruto parinktuvas ir serveris, kuriame bus programos, skirtos FTP, el. pašto, vartotojų autorizacijai bei duomenų srauto priežiūrai, ir naudojama nemokama operacinė sistema – „CentOS 6“.

Prieš pateikiant šių taškų sujungimo modelį, buvo aptarta reikiama vartotojų galinė įranga, jos modifikacija, apskaičiuotas atstumas, kuriuo maksimaliai gali būti nutolęs galutinis vartotojas nuo belaidės prieigos taško, atsižvelgiant į LR ryšių reguliavimo tarnybos nustatytas normas, 2,4 Ghz dažnių diapazonui. Atlikus projektavimą, buvo įgyvendintos sąlygos: 154 būstai aprūpinti interneto prieiga (tai sudaro 70 % Kuktiškių miestelio būstų, kuriuose gyvena 644 gyventojai), kurios minimali vienam vartotojui tenkanti greitaveika apie 4 Mbit/s.

Atlikus projektavimo etapą, pereita prie ekonominio projekto įvertinimo. Pagal atliktus skaičiavimus, išlaidos išskirstytos: reikiamos tinklui įrengti, prižiūrėti ir mokėti už patalpų nuomą, elektros suvartojimą, darbuotojo, prižiūrinčio tinklą, išlaikymą. Pagal tai apskaičiuota, remiantis dabartinės grynosios vertės formule, jog jei suprojektuotu tinklu naudosis tam tikras augantis vartotojų skaičius, kurie mokės 30 Lt/mėn. abonentinį mokestį, tuomet įranga atsipirks per 3 metus ir 2 mėnesius.

Literatūros sąrašas

1. 2011–2019m. IVPK programos pokyčių ataskaita. [žiūrėta 2013–09–10].
<http://www.ivpk.lt/uploads/IVP%20programos%20statistika/IVP_ataskaita_uz_2012_metu_s.pdf>
2. LR ryšių reguliavimo tarnybos belaidės interneto prieigos paslaugų kokybės rodiklių įvertinimo ataskaita. [žiūrėta 2013–09–12]. <<http://www.rrt.lt/lt/apzvalgos-ir-ataskaitos.html>>
3. Kuktiškių miestelio geografinis žemėlapis. [žiūrėta 2012-10-30].
<<http://www.turizmokatalogas.lt/zemelapis/kuktiskes.html>>
4. 2011 m. Lietuvos gyventojų surašymas. [žiūrėta 2012–11–03].
<<http://www.osp.stat.gov.lt/web/guest/2011-m.-surasymas>>
5. Šnurova, G. *Kuktiškės*. Utena: UAB „Utenos spaustuvė“, 2004.
6. TEO LT, AB interneto planai ir reikiamos techninės sąlygos paslaugai įrengti. [žiūrėta 2013–07–05]. <<http://internetas.zebra.lt/placiajuostis-kiti-interneto-plana>>
7. TEO LT, AB pokalbių planai ir reikiamos techninės sąlygos paslaugai įrengti. [žiūrėta 2013-07-05]. <<http://www.teo.lt/namutelefonas/planai>>
8. UAB Erdvės interneto planai. [žiūrėta 2013–06–05].
<<http://www.erdves.lt/internetas/planai>>
9. Wi-Fi alijansas. [žiūrėta 2013–03–20]. <<http://www.wi-fi.org/organization.php>>
10. Wi-Fi standartai. [žiūrėta 2013–03–20].
<<http://compnetworking.about.com/cs/wireless80211/a/aa80211standard.htm>>
11. Wi-Fi ryšio trūkumai. [žiūrėta 2013–03–20]. <http://www.wifi.lt/content_2.html>
12. Belaidės prieigos prietaisai ir jų charakteristikos. [žiūrėta 2013–03–23].
<http://www.gnswireless.com/Long_Range_Wireless_Router.htm>
13. Wi-Fi/WiMAX belaidės prieigos taškų antenos ir jų charakteristikos. [žiūrėta 2013–03–23]. <http://www.gnswireless.com/Antennas_2.4Ghz.htm>
14. WiMAX forumas. [žiūrėta 2013–04–22]. <<http://www.wimaxforum.org/about>>
15. IEEE 802.16 standartai. [žiūrėta 2013–04–22].
<<http://freewimaxinfo.com/wimax-standards.html>>
16. WiMAX IEEE 802.16d standarte aprašomo tinklo struktūra. [žiūrėta 2013–04–25].
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16.2-2004.pdf>>
17. WiMAX sertifikuotų bazinių stočių sąrašas. [žiūrėta 2013–04–26].
<<http://www.apertonet.com>>

18. WiMAX vartotojų galinė įranga. [žiūrėta 2013–04–27].
<http://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=wimax+modem>
19. Golden, P.; Dedieu, H.; Jacobsen, K. *Fundamentals of DSL technology*. Boca Raton New York: Auerbach Publications. ISBN 0–8493–1913–7, 2006.
20. DSLAM įrangos sąrašas pagal specifikaciją. [žiūrėta 2013–04–27].
<<http://www.alibaba.com/showroom/dslam.html>>
21. STRES–TF, STRE/STRES serijos kabelių kainoraštis. [žiūrėta 2013–04–30].
<http://www.savel.lt/kainos/telekabeliai_lt.htm>
22. ADSL 2+ modemai. [žiūrėta 2013–05–10].
<<http://www.nextag.com/ADSL2-modem/stores-html>>
23. Wi-Fi tinklo plokščių ir antenų charakteristikos. [žiūrėta 2013–06–01].
<<http://wifi0wn.wordpress.com/wifi-antenna-cards/>>
24. Wi-Fi standartų privalumai. [žiūrėta 2013–06–01].
<<http://wiki.freeradius.org/glossary/IEEE-802.11>>
25. Wi-Fi tinklo keitiklių kainos. [žiūrėta 2013–06–01].
<http://www.aliexpress.com/wholesale?SearchText=usb+wireless+n+adapter+external+antenna&catId=0&initiative_id=SB_20131012031930>
26. IEEE standartai informacinėms technologijoms – telekomunikacinių ir informacinių tinklų sistemoms, 11 dalis. [žiūrėta 2013–06–01].
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>>
27. Ohrtman, Frank. *WiMAX handbook: building 802.16 wireless networks*. New York (N.Y.) : McGraw–Hill. ISBN 9780071454018, 2005.
28. Koaksialinių kabelių tipai ir charakteristikos. [žiūrėta 2013–06–02].
< <http://www.wellshow.com/category/products/rf-coaxial-cables/low-loss-cable/>>
29. Wi-Fi tinklo topologija. [žiūrėta 2013–06–02].
<<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>>
30. VšĮ „Placiajuostis internetas“ teikiamų paslaugų kainos. [žiūrėta 2013–06–02].
<http://www.placiajuostis.lt/documents/VZ_tarifai_2011-06-07.pdf>
31. Serverių kainos ir specifikacijos. [žiūrėta 2013–06–03]. <http://www.skytech.lt/serveriai-priedai-serveriai-c-86_93_862.html?sand=0&pav=0&sort=5a&grp=0>
32. Maršruto parinktųjų tipai ir specifikacijos. [žiūrėta 2013–06–05].
<http://www.skytech.lt/tinklo-iranga-marsrutizatoriai-router-c-160_547_148.html>

33. Prieigos prietaisų suvartojama energija. [žiūrėta 2013–09–09].
<<http://www.engeniustech.com/business-networking/outdoor-access-points-client-bridges/16748-ens200ext>>
34. Elektros energijos kainos. [žiūrėta 2013–09–10].
<<http://www.leslo.lt/lt/verslui/palankiausio-tarifo-plano-skaiciuokle-2013/1113>>
35. NPV formulė. [žiūrėta 2013–09–30].
<http://www.financeformulas.net/Net_Present_Value.html>
36. Diskontavimo koeficientas. [žiūrėta 2013–10–05].
<http://www.esparama.lt/es_parama_pletra/failai/ESFproduktai/2012_Projektu_vertinimas.pdf>

Santrauka (lietuvių kalba)

Suprantant interneto svarbą žmogui – kaip įrankį, palengvinantį gyvenimą – ir buvo pasirinkta interneto tinklo projektavimo tema. Nuspręsta surasti miestelį, išanalizuoti miestelyje teikiamas interneto paslaugas (paslaugų kainas, gaunamą interneto greitaveiką), aptarti, kiek gyventojų neturi prieigos prie interneto, bet norėtų turėti, taip suformuota rinkos situacija. Paaiškėjo, kad vartotojai, įsikūrę pasirinktame miestelyje, nepatenkinti teikiamomis paslaugomis. Buvo nustatyti vartotojų poreikiai, interneto naudojimosi tikslai, reikalinga greitaveika. Atsižvelgiant į šiuos punktus, pereita prie interneto technologijos pasirinkimo. Išanalizavus šiandienines plačiai taikomas interneto technologijas ir pritaikius jas aprašytai situacijai nustatyta vienam vartotojui teksinti greitaveika (apie 4 Mbit/s), reikiamas paslaugos sutankinimas, projekto atsipirkimo laikotarpis (4 metai). Atlikus interneto tinklo projektavimą apskaičiuotos reikiamos lėšos projekto įgyvendinimui ir interneto paslaugos kaina vartotojui.

Santrauka (anglų kalba)

Blažys, N. Projecting internet network for town area / Master's Work in Business Internet. lekt. V. Dubovskaja. – Vilnius: Faculty of Social Technologies, Mykolas Romeris University, 2013. – 56 p.

Master's degree theme *projecting internet network for town area* was chosen by understanding the way why people are using internet in their life. First of all was decided to find a town, collect information about internet services in it (services costs, network speed), find out how many citizens don't have internet access, but wish to have. Understanding customer's needs for internet speed, purposes of using internet, let us to compare internet technologies in those aspects. After internet technologies comparison was decided to provide one customer with 4 Mbit/s internet speed, using service consolidation, choosing project payback period in at least 4 year. In the end of master's work was calculated internet service cost to customer and internet project price.