



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Alvaras Mikalainis

ULTRAGARSINIO KAMPU ORIENTUOTO AUTOMOBILIŲ
DETEKTAVIMO JUTIKLIO SUKŪRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Dangirutis Navikas

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

**ULTRAGARSINIO KAMPU ORIENTUOTO AUTOMOBILIŲ
DETEKTAVIMO JUTIKLIO SUKŪRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Elektronikos inžinerija (621H61002)

Vadovas

(parašas) Prof. dr. Dangirutis Navikas

(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Mindaugas Žilys

(data)

Projektą atliko

(parašas) Alvaras Mikalainis

(data)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Alvaras Mikalainis

(Studento vardas, pavardė)

Elektronikos inžinerija, 621H61002

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Ultragarsinio kampu orientuoto automobilių detektavimo jutiklio
sukūrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2016 m. birželio 10 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano Alvaro Mikalainio baigiamasis projektas tema „Ultragarsinio kampu orientuoto automobilių detektavimo jutiklio sukūrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardas, pavardė)

(parašas)

Mikalainis, A. Ultragarsinio kampu orientuoto automobilių detektavimo jutiklio sukūrimas. Elektronikos inžinerijos magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Dangirutis Navikas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektronikos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2016. 52 psl.

SANTRAUKA

Šiame darbe pateikiami ultragarsinio kampu orientuoto jutiklio modeliavimo ir eksperimentinio tyrimo rezultatai. Jutiklis buvo kuriamas tobulinant statmenai į automobilius nukreiptą jutiklį. Jutiklio kūrimo tikslas sumažinti sistemoje naudojamų jutiklių skaičių juos montuojant tarp automobilių statymo eilių.

Darbo pradžioje apžvelgtos parkavimo sistemos ir jose naudojamuose jutikliuose pritaikytos veikimo technologijos. Apžvelgus sistemas suformuotos kylančios esamų sistemų problemos, pasirinktas ultragarso bangomis veikiantis jutiklis tobulinimui.

Kuriant jutiklį buvo būtina suformuoti siaurą bangą, kuri padengs didelę automobilio dalį ir atsispindės atgal į jutiklį. Bangos formavimui buvo modeliuotas įtaisas, sufokusuojantis ultragarso spindulį į vėduoklės formos bangą. Modeliavimas atliekamas Comsol programine modeliavimo įranga.

Pabaigus modeliavimą atlikti eksperimentiniai bangos formavimo įtaiso tyrimai. Nustatytas bangos kryptingumas, spinduliavimo intensyvumas. Pritaikius formavimo įtaisą jutikliui, buvo atlikti pirminiai eksperimentiniai tyrimai su automobiliais. Aprašyti gauti rezultatai, nubraižyti grafikai. Pasinaudojus gautais rezultatais sudarytas jutiklio veikimo algoritmas. Pritaikius algoritmą atlikti eksperimentiniai automobilių aptikimo tyrimai, aprašyti gauti rezultatai.

Reikšminiai žodžiai: ultragarsas, automobilis, stovėjimo vieta, modeliavimas, stovėjimo vietos detektavimas, parkavimo sistema.

Mikalainis, A. Creation of angular oriented ultrasonic parking sensor. Final project of electronics engineering master degree / supervisor prof. dr. Dangirutis Navikas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electronics Engineering.

Kaunas, 2016. 52 psl.

SUMMARY

This paper presents results of angular oriented ultrasonic parking sensor designing and experimental research. This sensor has been developed to improve detector witch is direct perpendicularly to car. Sensor development goal is reducing the number of sensors used in the parking detection systems, when they are installed between parking rows.

Work begins with an overview of the parking systems and operation technology used in sensors of car detection. According to the reviewed system has been raised a problem and decided to choose sensor based on ultrasonic sensing technology.

Developing the sensor was necessary to form a narrow ultrasound wave, which will cover a large part of the car and will be reflected back to the sensor. Device which will focus wave into fan shape was modeled. The modeling is done with Comsol Multiphysics simulation software.

Experimental tests of wave making unit was carried out after the completion of the simulation. The wave direction, radiant intensity was set. The experimental research with the car was carried out when wave-making device was adapted to the sensor. Results were described and graphs were plotted, operation algorithm of detection was created using a result obtained. After applying the algorithm, experimental research of car detection was carried out Results were described and conclusions were reached.

Keywords: ultrasound, car, parking spot, Comsol design, parking space detection, parking system.

TURINYS

ĮVADAS.....	7
1. PARKAVIMO SISTEMŲ ANALIZĖ	8
1.1. Parkavimo aptikimo jutikliai	9
1.1.1. Induktyvinės kilpos	9
1.1.2. Infraraudonųjų spindulių jutikliai	10
1.1.3. Ultragarso jutikliai	11
1.2. Kylančios problemos ir darbo tikslas	15
2. KONSTRUKCINIO SPRENDIMO PARINKIMAS MODELIUOJANT	16
2.1. Bangos parametrai	16
2.2. Modeliavimas	17
2.2.1. Ultragarso banga	18
2.2.2. Antena	18
2.3. Figūros matmenų įtakos analizė	21
2.4. Modeliavimo rezultatai	28
2.5. Bangos formavimo įtaiso gaminimas	29
3. EKSPERIMENTINIAI MATAVIMAI	31
3.1. Antenos kryptingumo nustatymas	31
3.2. Eksperimentinių duomenų surinkimas	34
3.2.1. Šoninis aptikimas	34
3.2.2. Išilginis aptikimas	37
3.2.3. Matavimų apibendrinimas	41
3.3. Veikimo algoritmas	41
3.3.1. Kalibravimas	43
3.3.2. Tikrinimas	45
3.4. Jutiklio veikimo tyrimas	46
3.4.1. Išilginis matavimas	46
3.4.2. Šoninis matavimas	48
3.4.3. Matavimų apibendrinimas	49
IŠVADOS	51
NAUDOTA LITERATŪRA	53
Priedas 1. Koreliacijos nustatymo tyrimų rezultatų duomenys	54
Priedas 2. Ultragarso signalo atspindžio nuo automobilių rezultatai	56
Priedas 3. Jutiklio veikimo programos kodas	58

IVADAS

Vis populiarėjant didiesiems prekybos centrams ir jiems darantis vis didesniems, kyla automobilių stovėjimo aikštelių problema. Dideliuose prekybos centruose apsilanko daug žmonių, daugelis jų atvyksta automobiliais. Kuo didesnis prekybos centras, tuo daugiau lankytojų gali priimti, todėl natūralu, kad didėja ir automobilių statymo vietų poreikis. Prekybos centrams įsikūrus miestuose, nuolat trūksta automobilių parkavimo vietų. Tankiai apstatytuose miestuose įrenginėjamos daugiaaukštės arba požeminės parkavimo aikštelės. Daug automobilių talpinančiose aikštelėse vairuotojams kyla problemų su laisvų vietų paieška. Aikštelėse automobiliai dažniausiai statomi dvejomis eilėmis, paliekant tarp jų pravažiamą. Taip statant automobilius atsiranda daug eilių ir tarpų tarp jų. Ieškant laisvų parkavimo vietų, vairuotojams tenka pravažiuoti visus tarpus stebint abiejose jo pusėse esančias automobilių statymo vietas. Toks ieškojimo būdas yra labai nepatogus, kuomet reikia žvalgytis į dvi puses ieškant laisvos vietos, gaišinantis laiką, nes blogiausiu atveju teks pravažiuoti kiekvienu pravažiuoju ir aikštelės aukštu, bei nesaugus – sukongcentravus dėmesį į laisvos vietos paiešką galima nepastebėti pėsčiojo ar kitos transporto priemonės.

Palengvinti parkavimo vietos paieškas, didelėse aikštelėse diegiamos parkavimo sistemos. Šios sistemos ne tik informuoja apie esamų laisvų vietų skaičių kiekviename pravažiuoju, bet ir nurodo konkrečią laisvą vietą. Jau nieko nestebinančios parkavimo sistemos ne tik yra plačiai diegiamos, tačiau ir vis dar tobulinamos. Šio tiriamojo darbo tikslas yra sukurti bei iširti ekonominiu požiūriu efektyvesnius kampu orientuotus parkavimo sistemos jutiklius, tobulinant jau masinei gamybai pritaikytus ir aikštelėse diegiamus jutiklius.

Darbo užduotis ir jame sprendžiami uždaviniai:

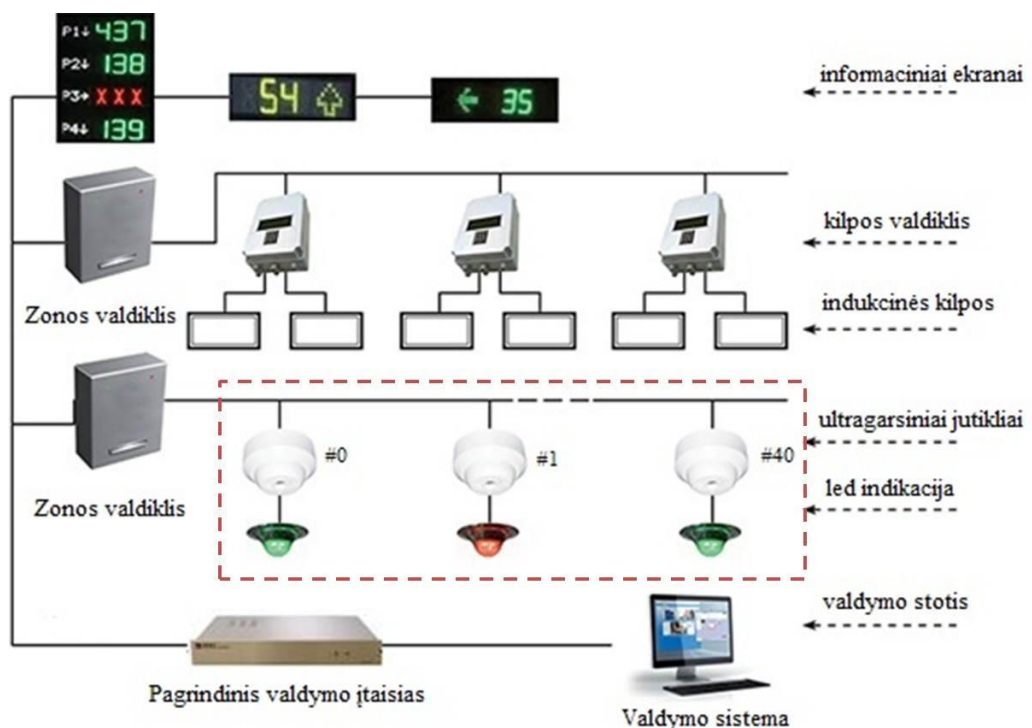
- Esamų jutiklių ir juose naudojamų technologijų apžvalga;
- Ultragarso bangos formavimo įtaiso modeliavimas;
- Kryptingumo matavimai ir duomenų surinkimas;
- Algoritmo sudarymas;
- Eksperimentiniai matavimai.

1. PARKAVIMO SISTEMŲ ANALIZĖ

Kaip jau minėta įvade, parkavimo sistema palengvina parkavimo procesą vairuotojams bei padaro jį saugesniu. Atsižvelgiant į stovėjimo aikštelės dydį, užsakovų pageidavimus, įrengiamos parkavimo sistemos gali skirtis savo tipu ir turimomis funkcijomis.

1.1 pav. pavaizduota sudėtingos parkavimo sistemos struktūra. Punktyrine linija pažymėta sistemos dalis, kuri gali būti naudojama kaip savarankiška sistema nedidelėms parkavimo aikštelėms. Nesudėtinga sistema susideda tik iš automobilio aptikimo įtaiso ir šviesinės indikacijos. Dažnai šie du įrenginiai būna viename korpuse. Toks įrenginys montuojamas virš automobilio statymo vietos. Automobilui užėmus šią vietą, šviesinė indikacija pakeičia spalvą taip informuodama kitus vairuotojus, kad po juo esanti vieta užimta.

Didelėse aikštelėse, naudojama sistema turinti vietų skaičiavimo, srautų nukreipimo funkcijas. Visi automobilių jutikliai apjungiami į vieną bendrą valdiklį. Sistemų valdikliai surenka informaciją apie tam tikros zonos laisvą ir užimtą vietų skaičių. Šie duomenys perduodami į informacines švieslentes, leidžiančias vairuotojams matyti esamų laisvų ir užimtų stovėjimo vietų skaičių ir reaguojant į tai greitai rasti laisvą parkavimo vietą.



1.1 pav. Parkavimo sistemos struktūrinė schema [1]

Visa sistema gali būti apjungta į bendrą tinklą. Centralizuotas apjungimas gali būti naudojamas automobilių judėjimui kontroliuoti. Pavyzdžiui, norint vykdyti remonto darbus

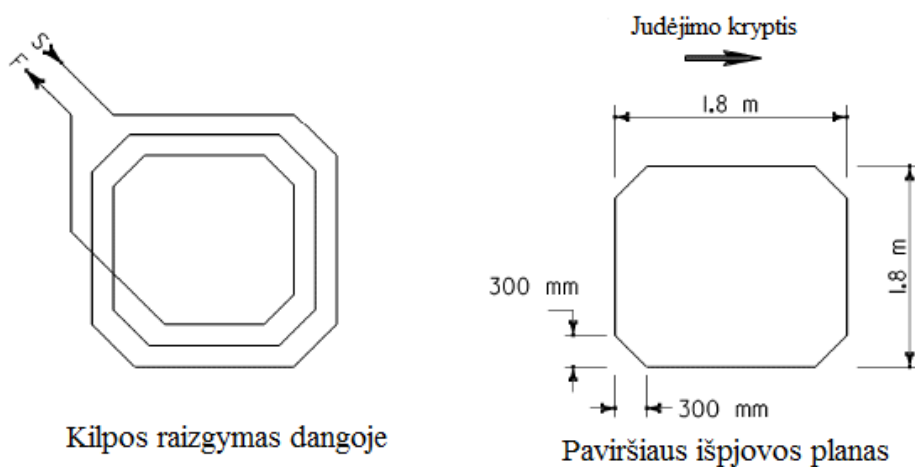
aikštelėje, švieslenčių pagalba automobiliai bus nukreipiami į kitas laisvas vietas pranešant, kad remontuojamoje dalyje laisvų vietų nėra. Nuotolinėje darbo vietoje galima stebėti sistemos darbo sutrikimus, rinkti informaciją apie aikštele besinaudojančių automobilių kiekį, jų stovėjimo laiką ir kitus statistinius duomenis [2][3].

1.1. Parkavimo aptikimo jutikliai

Šiame darbe dėmesys bus skiriamas patiems parkavimo sistemos jutikliams, kurie detektuoja ar parkavimo vietoje yra automobilis ar ji yra tuščia. Tokių jutiklių tipų nėra labai daug. Visi parkavimo sistemų jutikliai yra bekontakčio tipo. Ši savybė stipriai sumažina technologijų, naudojamų tokiems jutikliams, pasirinkimą. Populiariausi automobilių aptikimo jutikliai naudoja infraraudonuosius spindulius, ultragarso bangas arba induktyvines kilpas.

1.1.1. Induktyvinės kilpos

Induktyvinės kilpos gali puikiai veikti kaip automobilius aptinkantis įrenginys, tačiau tam nėra plačiai naudojamos. Induktyvinė kilpa veikia kaip metalo detektorius [4][5]. Asfalto ar kitoje kelio paviršiaus dangoje tam tikro dydžio išpjovose montuojamas kabelis (1.2 pav.). Kabelis dangoje susuktas iš kelių vijų, sudarydamas induktyvinę ritę. Maitinant ritę 10kHz – 200kHz dažnio srove, ši sukuria kintamą magnetinį lauką virš savęs ir kelio dangos. Kai automobilis atsiduria virš ritės, ant automobilio susidaro sūkurinės srovės, kurios papildomai naudoja ritės energiją. Padidėjus suvartojamam srovės kiekiui, tekančiam rite, valdymo trigeris duoda impulsą valdymo blokui apie atsiradusią transporto priemonę virš šios ritės.



1.2 pav. Induktyvinės kilpos planas dangoje, bei reikiamos išpjovos brėžinys [6]

Dėl didelio ritės ploto, taip pat dėl srovės dažnio, šio tipo jutikliai neaptinka mažų metalinių daiktų. Šis jutiklis negeneruos klaidingų signalų, kai pro jį praeis žmogus su metaliniu daiktu ar pravažiuos dviratininkas.

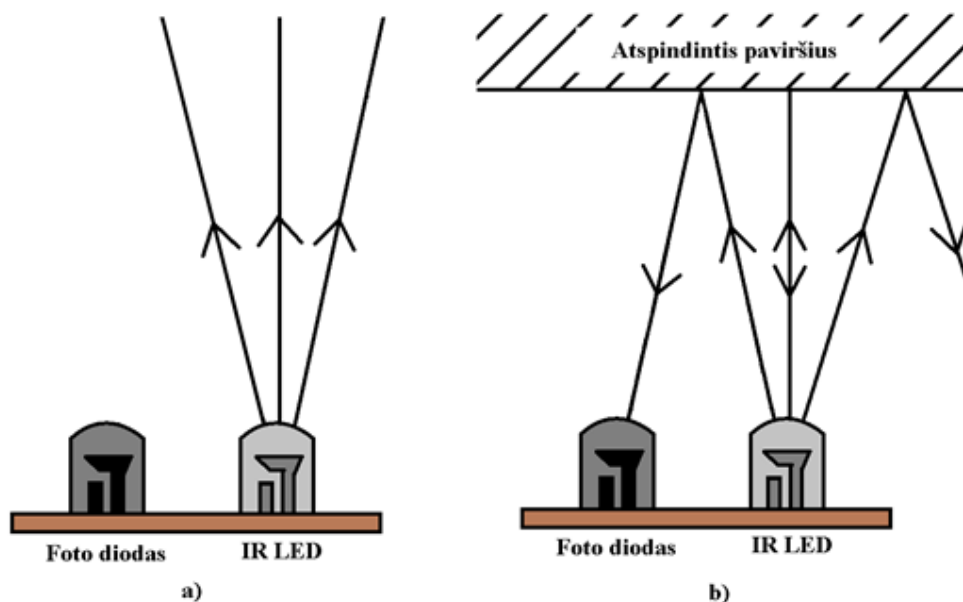
Šio tipo jutikliai labai retai naudojami parkavimo aikštelėse dėl sudėtingo montavimo pjaustant kelio dangą. Jutiklių įdiegimui reikia didelio kiekio kabelių, taip pat kiekvienai stovėjimo vietai yra būtinas kilpos valdiklis, kuris labai padidina visos parkavimo sistemos kainą.

Induktyvinės kilpos dažnai naudojamos automobilių srautų skaičiavimui aikštelėse. Skaičiuojant srautus užtenka aikštelėse įrengti tik keletą kilpų prie aikštelės įvažiavimo ir išvažiavimo. Taip pat įdiegus dvi kilpas, galima skaičiuoti pravažiuojančių automobilių greitį ar nustatyti transporto priemonės tipą.

1.1.2. Infraraudonųjų spindulių jutikliai

Infraraudonųjų spindulių principu veikiantys jutikliai yra gana tikslūs ir plačiai naudojami parkavimo sistemose.

Infraraudonųjų spindulių jutiklių veikimas pagrįstas atspindėto infraraudonųjų spindulių bangos priėmimu nuo norimo aptikti objekto [7]. Grafinis tokio jutiklio veikimo principas pavaizduotas 1.3 pav.



1.3 pav. Objektų aptikimas panaudojant infraraudonųjų bangų spindulius [8]

Infraraudonųjų spindulių jutiklį sudaro spinduliuojantis infraraudonųjų spindulių šviesos diodas. Šis diodas nukreiptas ta kryptimi, kurioje tikimasi aptikti objektą. Šviesos diodas, atsižvelgiant į naudojamą algoritmą, spinduliuoja bangas nuolatos arba nustatytais impulsais viena pasirinkta kryptimi. Iš 1.3 pav. a dalies matyti, jei pasirinktoje kryptyje nėra jokios kliūtis,

infraraudonieji spinduliai keliauja tiesiai ir nuo nieko neatsispindi. Kaip pavaizduota 1.3 pav. b dalyje, atsiradus kliūčiai prieš siųstuvą, infraraudonieji spinduliai tam tikru kampu atsispindi nuo jos ir grįžta atgal. Dalis spindulių patenka į foto imtuvą. Aptikęs infraraudonuosius spindulius, imtuvas praneša apie kliūties atsiradimą. Veikiant impulsiniu režimu, galima apskaičiuoti atstumą iki kliūties, tokiu būdu padidinant aptikimo tikslumą.

Infraraudonųjų spindulių jutikliai gali veikti ir nespinduliuodami jokių bangų, o tik priimdami. Kaip yra žinoma, infraraudonuosius spinduliuos generuoja bet kokie kūnai, kurių temperatūra yra aukštesnė už 0 laipsnių Kelvinų. Atvažiuavęs automobilis taip pat spinduliuoja infraraudonuosius spindulius. Energijos pasikeitimas kontroliuojamoje zonoje iššaukia jutiklio suveikimą. Nuvažiavus automobiliui vėl pasikeitusi energija suaktyvina jutiklį. Tokie jutikliai naudoja mažiau energijos, tačiau turi didelę problemą. Dingus ir atsistačius jutiklio maitinimui, jie negali pasakyti ar šiuo metu ten yra automobilis, kadangi aptikimas vykdomas pagal spinduliuotės pasikeitimą. Taip pat energijos pasikeitimas galimas ir dėl praeinančio žmogaus, todėl padidėja klaidingų suveikimų tikimybė.

Infraraudonųjų spindulių jutikliai dažnai montuojami aikštelės dangos paviršiuje. Tokiu atveju kyla problemų su laidų privedimu iki jutiklio. Šiai problemai išspręsti yra gana plačiai naudojami bevielio ryšio jutikliai. Šiais laikais, kai bevielio ryšio erdvė yra stipriai apkrauta įvairaus dažnio bevielio ryšio bangomis, gali būti sukelti papildomi trukdžiai duomenų perdavime. Taip pat bevielio ryšio jutikliams reikalingas maitinimo šaltinis, kurį reikia tam tikru laiko intervalu pakeisti ar pakrauti.

1.1.3. Ultragaršiniai jutikliai

Ultragarso bangos, pagal savo prigimtį niekuo nesiskiria nuo žmogui girdimų garso bangų, tačiau yra didesnio dažnio, nei žmogus geba girdėti. Jaunas ir sveikas žmogus gali girdėti iki 20kHz dažnio garsus, tuo tarpu ultragarso bangų dažnis prasideda nuo 20kHz [9]. Šių bangų sklaidimo greitis priklauso nuo temperatūros ir yra skaičiuojamas pagal 1.1 formulę.

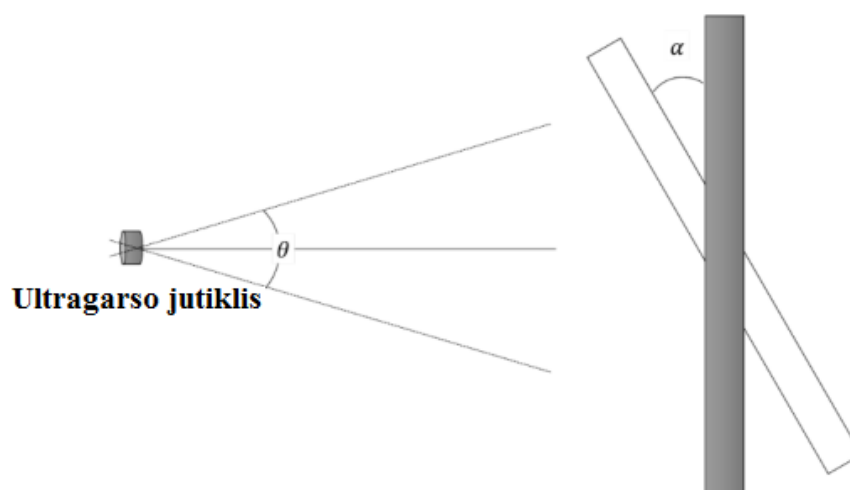
$$V_{UG} = 331,5 + (0,6 \cdot T) , \quad (1.1)$$

čia T – aplinkos, kurioje sklinda banga, temperatūra, laipsniais Celsijaus.

Ultragarso bangos plotis (kampas), tiesiogiai priklauso nuo jos dažnio. Didinant bangos dažnį, ultragarso bangos plotis mažėja. Kaip pavaizduota 1.4 pav. bangos atspindžio kampas taip pat priklauso nuo spinduliuojamos bangos pločio ir kampo tarp jutiklio ir objekto. Kad banga tinkamai būtų priimta siųstuvo, objekto posvyrio kampas turi tenkinti priklausomybę pateiktą 1.2 lygtyje.

$$\alpha < \frac{\theta}{2} , \quad (1.2)$$

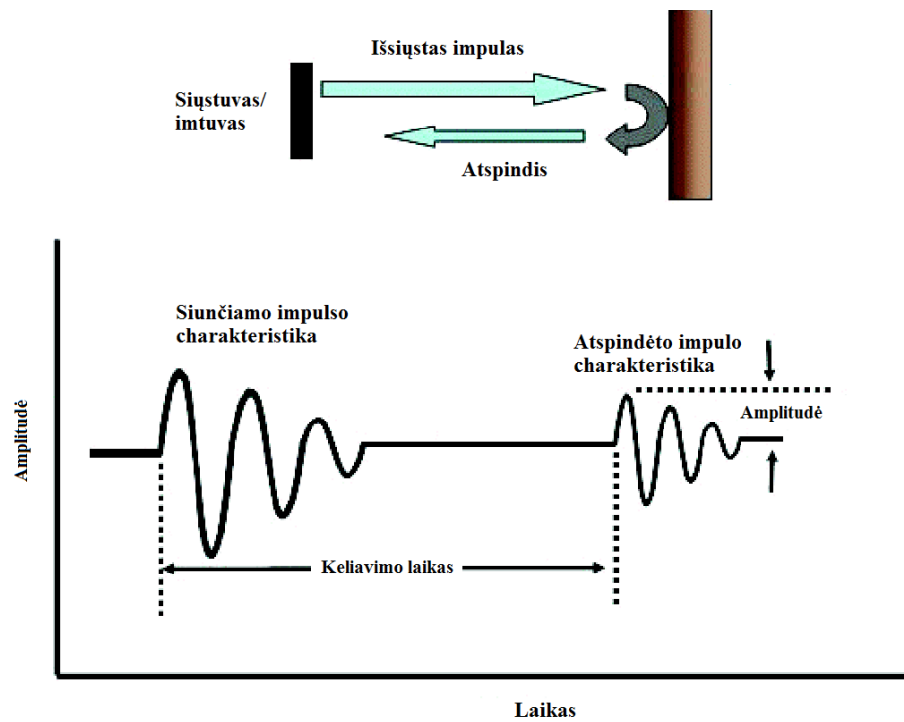
čia α – kampas tarp ultragarsinio jutiklio ir atspindinčio objekto, laipsniais; θ – bangos sklidimo plotis, laipsniais.



1.4 pav. Bangos pločio ir aptikimo kampo priklausomybė [9]

Ultragarso jutikliai sudaryti iš pjezoelektrinio kristalo, kuris geba elektros energiją paversti mechanine deformacija. Tam tikro dažnio pasikartojanti mechaninė deformacija sukelia garso bangas. Ultragarsinio jutiklio veikimas gana panašus į infraraudonųjų spindulių jutiklį. Siunčiamas ultragarso signalas atsispindi nuo objekto ir grįžta atgal į imtuvą. Čia, dėl tiesioginio pjezo efekto, vibruojanti banga pjezokristale sukuria elektros krūvį, kuris detektuojamas aparatūrinėmis priemonėmis. Kaip imtuvas gali būti panaudotas tas pats pjezokristalas, kuris ir spinduliuoja bangas, tačiau tokiu atveju, spinduliavimas ir priėmimas turi vykti impulsais pakaitomis. Naudojant atskirus prietaisus, spinduliuoti ir priiminėti signalus galima nuolatos.

Ultragarsinis automobilių aptikimas paremtas atstumo matavimu iki artimiausios kliūtis. Siųstuvas išsiuntęs ultragarso signalą pradeda skaičiuoti laiką iki to momento, kai imtuvas priima atsispindėjusią bangą. Žinant ultragarso bangos greitį, bangos sklidimo laiką (laikas dalinamas pusiau, nes banga nuskriejo ir sugrįžo) paskaičiuojamas atstumas iki kliūtis (1.5 pav.). Ultragarsoniai detektoriai dažniausiai montuojami virš automobilių parkavimo vietos, todėl jo suveikimo atstumas priklauso nuo jo montavimo aukščio. Pagal jutiklio aukštį nustatomas atstumas iki galimo žemiausio automobilio paliekant keleto ar keliasdešimties centimetrų rezervą. Jei atstumas iki objekto yra nustatytame intervale, pranešama apie užimtą parkavimo vietą. Jei atstumas iki kliūtis viršina nustatytą ribą, šie objektai yra ignoruojami.



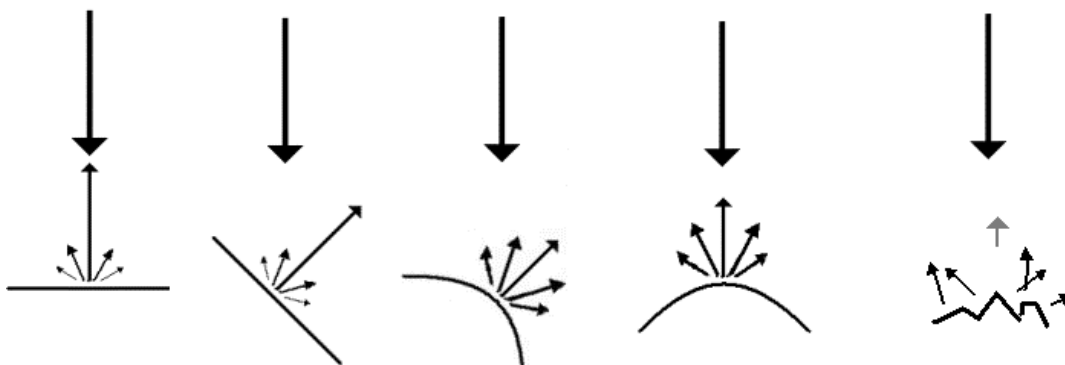
1.5 pav. Siunčiamos ir priimamos bangos impulsai [10]

Iš 1.5 pav. nesunku pastebėti, jog atspindėtos bangos amplitudė yra mažesnė už spinduliuotos. Tai yra todėl, kad dalis bangos atsispindi kitais kampais ir nesugrįžta į imtuvą, dalį bangos energijos sugeria objektas.

Ultragarsui, kaip ir kitoms garso bangoms būdinga atspindžio bangos priklausomybė nuo kliūties tipo. Garso bangas gerai atsispindi kieti kūnai, tokie kaip metalas, stiklas, keramika ar plastikas. Minkšti kūnai, pvz. medvilnė, guma, kempinė, bangas sugeria, o atsispindi tik nedidelę jų dalį. Nuo kieto kūno atsispindėjusi banga, priklausomai nuo atspindžio kampo, grįžta į imtuvą, ir tik nedidelė jos dalis yra prarandama. Kietam kūnui aptikti reikia bangos, turinčios mažiau energijos, arba su tokios pat energijos banga galima aptikti objektą esantį toliau nuo jutiklio. Tuo tarpu minkštame kūne dalis bangos energijos yra sugeriama, todėl galima teigti, kad imtuvą pasiekia jau silpnesnės energijos banga. Dėl šios priežasties, minkštiems kūnams aptikti reikalinga didelės energijos banga, arba aptinkamas kūnas turi būti arčiau jutiklio. Kliūtis aptikimo atstumas, naudojant ultragarsinius jutiklius labai priklauso nuo spinduliuojamos bangos pločio, jos dažnio. Kaip jau minėta, ultragarso bangos greitis priklauso nuo oro temperatūros. Kintant oro temperatūrai, gali atsirasti ir skaičiavimo paklaida, kai yra skaičiuojamas atstumas iki objekto, nuo kurio atsispindi banga. Aplinkos temperatūrai svyruojant nuo -30°C iki $+35^{\circ}\text{C}$ galima nemaža paklaida aptinkant automobilį parkavimo vietoje. Praktikoje dažnai naudojamų jutiklių aptikimo atstumas siekia iki 3 metrų, kai šie jutikliai montuojami statmenai virš stovėjimo vietos. Taip pat jutikliams galioja ir minimalus atstumas iki kliūtis. Minimalaus atstumo privaloma laikytis, kadangi siųstuvas gali būti nespėjęs išspinduliuoti bangos ar persijungti į priėmimo režimą.

Nominalūs veikimo nuotoliai, dažniai ir kiti parametrai, atsižvelgiant į konkretų naudojamą ultragarsinį jutiklį bei parkavimo vietos reljefą, nustatomi eksperimentiniais metodais.

Ultragarsiniam jutikliui, veikiančiam objektų aptikimo principu, labai didelę įtaką daro bangų kampas, kuriuo jos krenta į norimo detektuoti objekto paviršių [11]. 1.6 pav. matyti, kaip banga ir jos dedamosios atsispindi nuo paviršių, kurie pakreipti įvairiais kampais arba turintys sferinius ir nelygius paviršius.



1.6 pav. Ultragarso bangų atspindys nuo įvairių paviršių [11]

Matyti, kad banga geriausiai atsispindi krisdama stačiu kampu į paviršių. Jei objektas yra pakrypęs kampu, pagrindinė bangos dedamoji atsispindės tokiu pačiu kampu ir atgal į imtuvą negrįš. Atsispindint nuo sferinio paviršiaus, atspindžio banga neturi aiškios pagrindinės dedamosios, o visa jos energija pasiskirsto tolygiai į kelias puses. Jei banga krenta ne į tolygų paviršių, o į grublėtą, nelygų – atspindžio prognozuoti negalime. Ultragarso banga gali atsispindėti nuo bet kurio paviršiaus kampo ar briaunos ir nuskirti į bet kurią pusę. Ši bangų savybė labai apsunkina daiktų aptikimą, kai nėra aiškiai apibrėžta jų forma, kampas, paviršiaus tolygumas.

Dar viena išskylanti problema naudojant ultragarsinius jutiklius, yra keliagubas atspindys (1.7 pav.). Atsispindėję bangos nuo objekto grįžta į jutiklį, tačiau jos gali atsispindėti nuo jutiklio korpuso, nukeliauti ir dar kartą atsispindėti nuo objekto. Toks efektas gali iššaukti atstumo matavimo paklaidas, padvigubinti suskaičiuotą atstumą ar visiškai neaptikti objekto. Keliagubas atspindys dažnai pasireiškia esant mažiems atstumams tarp objekto ir jutiklio, ypačingai tada, kai objektas juda statmenai jutikliui [12].



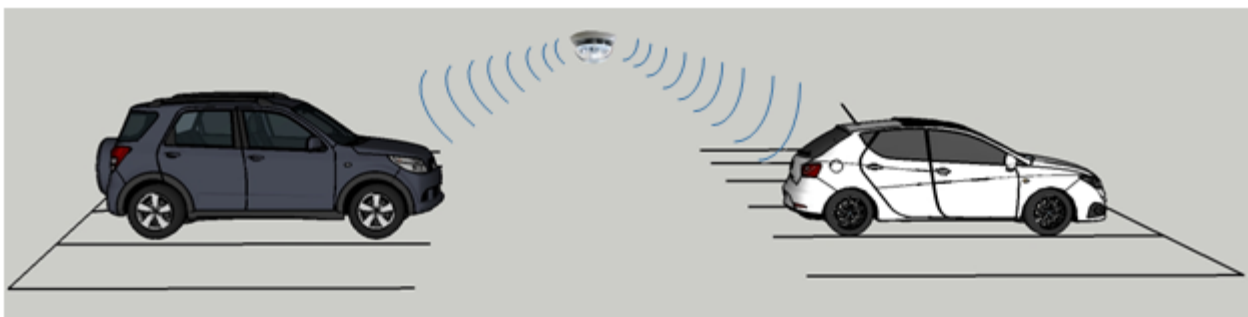
1.7 pav. Keliagubas ultragarso bangos atspindys [12]

1.2. Kylančios problemos ir darbo tikslas

Nepaisant patogių ir parkavimo procesą palengvinančių sistemų privalumų, jos turi ir tobulintinų dalykų. Indukcinės kilpos yra pernelyg sudėtingai montuojamos, dėl to praktiškai nenaudojamos parkavimo sistemose automobilių detektavimui. Infraraudonųjų spindulių jutikliai dėl montavimo ant kelio dangos naudoja bevielę ryšį. Šis jutiklių tipas reikalauja dažnesnės jų priežiūros dėl akumuliatorių išsikrovimo ir sulaužymo užvažiuavus automobiliui. Didžiausias trūkumas plačiausiai naudojamose ultragarsinio tipo jutiklių sistemose yra jų kiekis. Šiuo metu kiekvienai aikštelės vietai tenka po vieną jutiklį su indikatoriumi. Ši savybė ne tik padidina sistemos savikainą, tačiau taip pat sudėtingėja jos įrengimas, ji panaudoja daugiau erdvės esančios aikštelių palubėje.

Didelis jutiklių kiekis, montuojamas virš automobilių labai apsunkina situaciją atvirose aikštelėse. Didelių prekybos centrų daugiaaukščių aikštelių viršutiniai aukštai ar atvirose vietose esančios aikštelės neturi lubų, tokiu būdu, jutikliai turi būti statomi ant papildomų atramų.

Siekiant sumažinti jutiklių tinklą, taip pat ir visos sistemos kainą, šiame darbe bus tyrinėjami ultragarsiniai automobilių aptikimo jutikliai, orientuoti kampu parkavimo aikštelės kelio dangai ir automobilių plokštumai kaip parodyta 1.8 pav.



1.8 pav. Kampu orientuotas ultragarsinis automobilių jutiklis

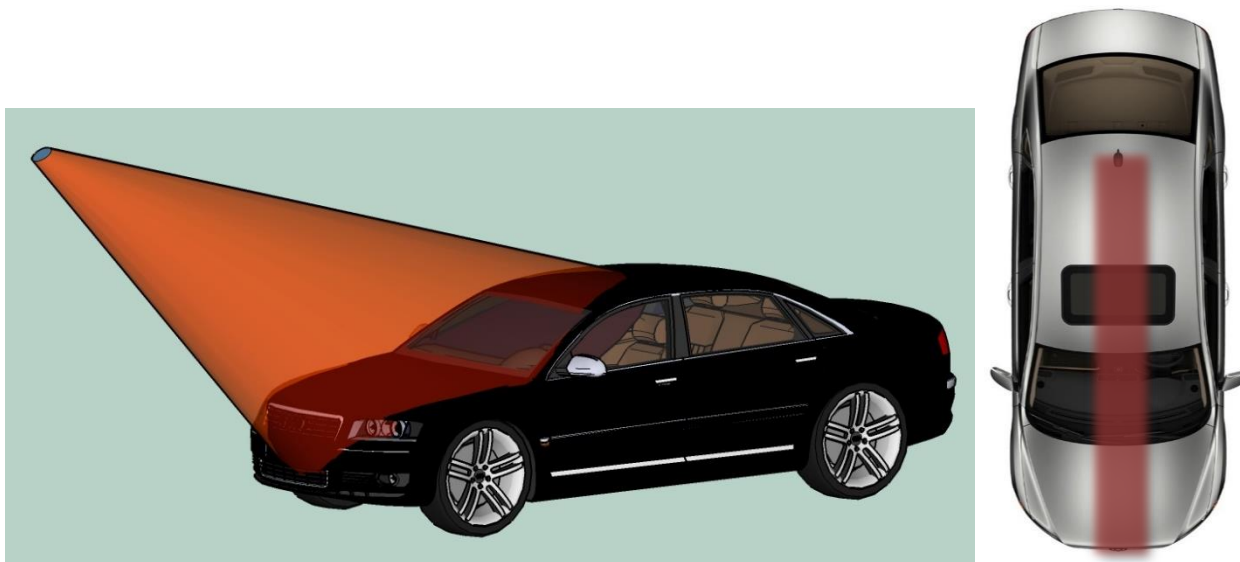
Tokie jutikliai iš automobilių pravažiavimo juostos galėtų stebėti dvi vietas, esančias skirtingose jos pusėse. Tai leistų apytikriai per pusę sumažinti naudojamų jutiklių kiekį automobilių stovėjimo aikštelėse. Sumažinus jutiklių kiekį, aikštelėse sumažėtų konstrukcinių elementų kiekis, būtinas jutikliams montuoti.

Darbo esmė yra sumodeliuoti ir pagaminti jutiklį dirbantį paminėtomis sąlygomis ir ištirti tokio jutiklio veikimo ypatumus, galimybes. Taip pat svarbu parinkti optimalų veikimo algoritmą, kuriuo jutiklis siųs ir priiminės ultragarso bangos signalus nustatinėjant parkavimo vietas užimtumas.

2. KONSTRUKCINIO SPRENDIMO PARINKIMAS MODELIUOJANT

Šiame darbe didelis dėmesys skiriamas ultragarso bangos formos modeliavimui. Nežinant kokios formos banga bus, negalima sudaryti automobilių detektavimo algoritmo. Automobilių aptikimo principas ir pats jutiklio veikimas tiesiogiai priklauso nuo spinduliuojamos ultragarso bangos formos, bei atgal į jutiklį grįžtančios bangos stiprumo.

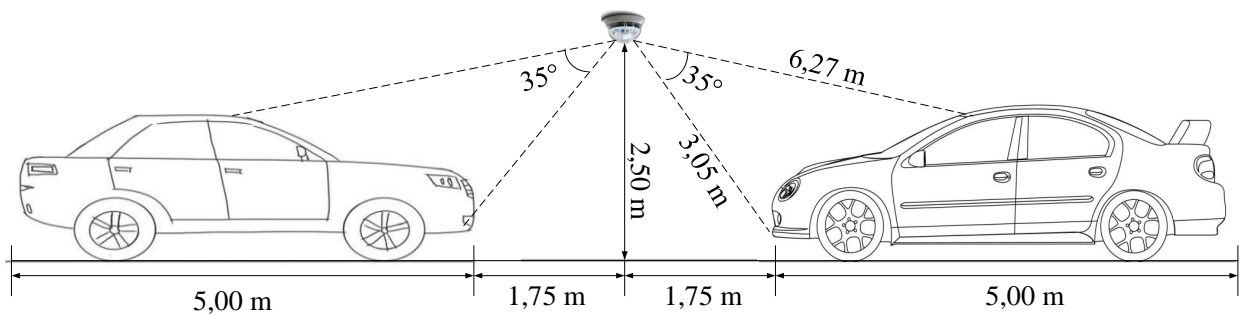
Ultragarso bangą jutiklyje formuos specialios formos korpusas, kurio viduje, prieš pat bangai patenkant į laisvąją erdvę, ji bus dar ir sustiprinama. Modeliavimo tikslas gauti vėduoklės formos bangą, kuri kuo didesniu plotu būtų spinduliuojama į automobilių padidinant tikimybę, kad bent nuo vienos automobilio plokštumos signalas grįš atgal į imtuvą. Tikimas gauti bangos formos vaizdas pateiktas 2.1 pav. Tokios formos privalumas yra toks, kad banga nenukeliaus į gretimas automobilių stovėjimo vietas, taip pat spinduliuos į didelį automobilio paviršiaus plotą ir galimai atsispindės nuo buferio, variklio dangčio (ar bagažinės), stiklo ar stogo.



2.1 pav. Norima gauti bangos forma modeliuojant

2.1. Bangos parametrai

Standartiniai automobilio stovėjimo vietos matmenys yra 5x2,5 m, tarpai tarp automobilių eilių (pravažiavimai) dažnu atveju būna 3,5 m. Jutiklis statomas atsižvelgiant į aikštelės bendros erdvės aukštį. Eksperimento tikslui parinktas 2,5 m jutiklio montavimo aukštis. Pagal šiuos matmenis nesunku paskaičiuoti, kokio ilgio, taip pat ir kokiais kampais turi sklirti ultragarso banga. 2.2 pav. pavaizduotos automobilio stovėjimo vietos su matmenimis, bei paskaičiuotu bangos pločiu vertikaloje plokštumoje.



2.2 pav. Automobilio stovėjimo vietos matmenys ir nuotoliai iki jutiklio

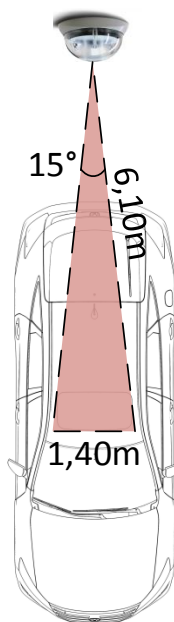
Spindulio kampas skaičiuojamas remiantis kosinusų teorema:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos A, \quad (2.1)$$

čia a, b, c – trikampio kraštinės, m; A – kampas tarp dviejų trikampio kraštinių, laipsniais.

Pagal 2.1 lygtį paskaičiavus spindulio kampo plotį $A = 35^\circ$.

Horizontalioje plokštumoje bangos spindulio plotis skaičiuojamas pagal 2.3 pav. pateiktus matmenis:



2.39 pav. Horizontalios plokštumos matmenys, bangos pločio skaičiavimui

Pasinaudoję 2.1 formule ir 2.3 pav. pateiktais matmenimis suskaičiuota, kad bangos kampas turi būti 15° .

2.2. Modeliavimas

Turint reikalingus bangos matmenis, galima atlikti modeliavimą. Bangos formos modeliavimas vykdomas Comsol Multiphysics modeliavimo programine įranga. Modeliavimo

tikslas, keičiant ant pjezo elemento jutiklio esančio korpuso formą, gauti konstrukcinį sprendimą tenkinantį užsiduotus parametrus.

2.2.1. Ultragarso banga

Modeliuojant bangos formą, svarbu žinoti pagrindines jos charakteristikas. Ultragarso siųstuvo spinduliuojamos bangos dažnis 40 kHz, bangos ilgis – 8,6 mm, kai oro temperatūra yra 0 laipsnių Celsijaus. Bangos formavimo įtaisas modeliuojamas atsižvelgiant į bangų sklaidimą erdvėje. Bangos formavimo įtaisui pritaikoma ruporinės antenos teorija.

Ultragarso banga pagal savo prigimtį yra analogiška žmogui girdimai garso bangai, tačiau ultragarso bangos dažnis yra virš žmogaus girdimumo ribų. Ultragarso bangos yra išilginės, vadinasi jų spinduliuojamos dalelės sklinda ta pačia kryptimi, kaip ir bangos perduodama energija. Dar šios bangos vadinamos slėginėmis [13].

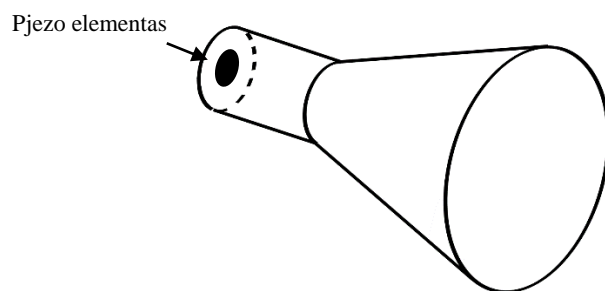
Bangų sukėlimo šaltinis yra vibruojantis įtaisas. Ultragarso bangas generuoja pjezoelektrinės savybės turinčios medžiagos. Šios medžiagos gali keisti savo dydį, kai prie jų prijungiama elektros srovė. Keičiant prijungtos srovės dažnį, keičiasi ir medžiagos vibravimo dažnis [14].

Pjezo elementas spinduliuoja bangas visomis kryptimis. Norint turėti kryptingą spinduliuavimą, pjezo elementui reikalinga antena, kuri ne tik formuos ultragarso bangą, bet ir ją sustiprins, kadangi atstumas tarp jutiklio ir transporto priemonės bus 2-5 m.

2.2.2. Antena

Dažniausiai bangų formavimas vykdomas panaudojant pjezo elementų matricas, kurios yra valdomos pakaitomis siųsti bangas ir jas priimti. Toks skenavimas naudojamas mediciniuose ultragarso prietaisuose. Taip galima išgauti didelį kryptingumą, tačiau bangos stiprumas paprastai būna nedidelis, todėl šis variantas nėra tinkamas automobilių detektavimui.

Bangos formavimui ir stiprinimui bus modeliuojama savotiška ruporinė antena. Ruporinės antenos skirtos elektromagnetinėms bangoms spinduliuoti ir stiprinti. Kūginės ruporinės antenos forma pateikta 2.4 pav. Nenaudojant ruporo, iš bangolaidžio atsklindanti banga susidurtų su staigiu impedanso pokyčiu ir dalis bangos energijos grįžtų atgal – nebūtų išspinduliuojama. Platėjantis ruporas tolygiai keičia impedanso vertę per visą savo ilgį. Tiesioji cilindrinė antenos dalis yra bangolaidis.



2.4 pav. Kūginės ruporinės antenos forma

Ruporinės antenos skirtos bangoms nuo 300MHz. Jutiklyje naudojamos ultragarso bangos dažnis tesiekia 40kHz. Todėl ruporinės antenos ir jos skaičiavimų pritaikyti jutikliui nebus galima. Jutiklio bangos formuotuvui bus pritaikytas tik ruporinės antenos principas – bangolaidis, kuriame susiformuos banga, ir plėtėjanti dalis, reikiamam bangos kryptingumui išgauti.

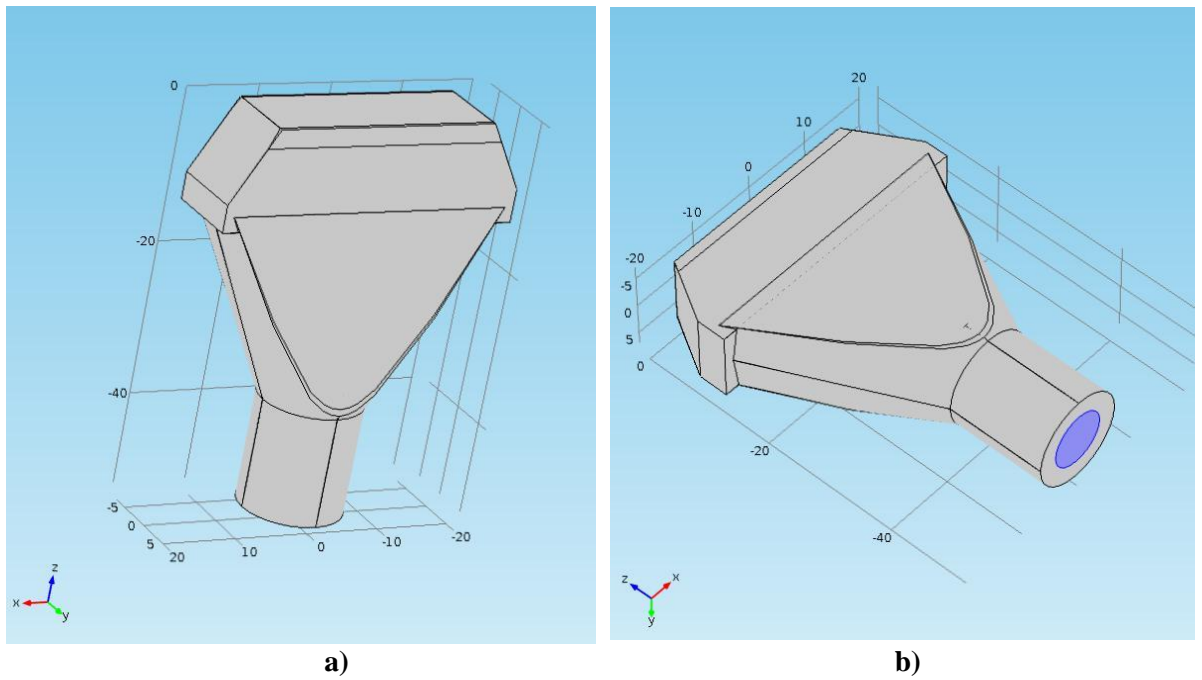
Pjezo elemento, generuojančio ultragarso bangas, pozicija yra cilindrinės dalies apačioje. Sugeneruota banga susiformuoja ir yra sustiprinama bangolaidyje, t.y. cilindrinėje antenos dalyje. Ultragarso banga susiformuoja artimojoje (Frenelio) zonoje nuo generatoriaus. Šioje zonoje banga būna nenusistovėjusi ir neperneša energijos. Bangos diametras šioje zonoje yra kiek didesnis nei generatoriaus diametras ir visoje zonoje išlieka nepakitęs. Tai ypač svarbu, nustatant cilindrinės dalies skersmenį ir ilgį. Cilindrinės dalies ilgis turi būti lygus arba didesnis nei artimosios zonos nuotolis. Artimosios ultragarso bangos zonos nuotolis skaičiuojamas pagal 2.2 formulę.

$$Z = \frac{D^2 \cdot F}{4 \cdot V}, \quad (2.2)$$

čia D – ultragarso bangos generatoriaus diametras, m; F – ultragarso bangos dažnis, Hz; V – garso greitis medžiagoje, m/s.

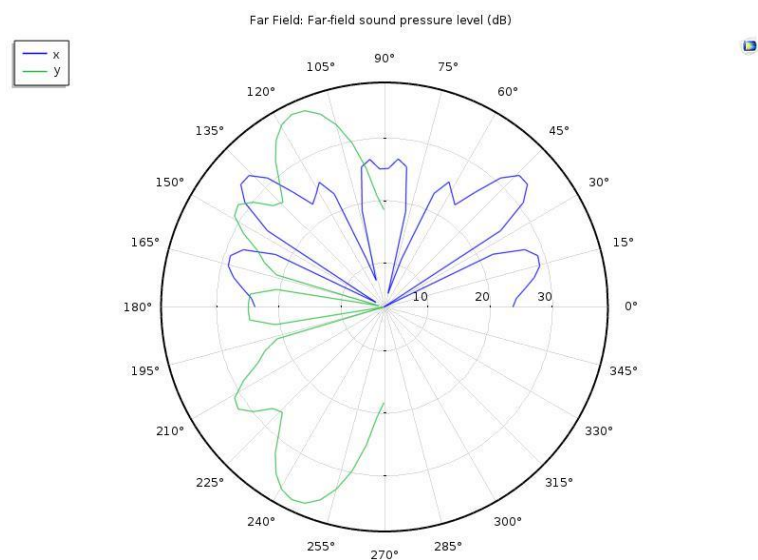
Suskaičiavus artimosios zonos nuotolį galima teigti, kad cilindro ilgis turi būti lygus arba didesnis nei 1,86mm, o skersmuo (atsižvelgiant į turimą ultragarsinį generatorių) didesnis už 8mm [15].

Kitos figūros dalies forma parinkta eksperimentiškai. Pritaikius kūginį bangolaidį, norint suformuoti stačiakampės formos bangą, jis buvo „suplotas“, taip išgaunant siaurą ir ilgą plyšį bangai išspinduliuoti į išorę. Atlikus keletą eksperimentų ir negavus teigiamų rezultatų, antenos viršuje buvo pridėta stačiakampio formos dalis. Esant šiai daliai, antena labiau primena stačiakampį ruporą, turintį geresnes kryptines bangos savybes. Tolimesnių eksperimentų rezultatai parodė, kad būtina susiaurinti šonines stačiakampio sienelės, kitokiu atveju nepavyks išgauti reikiamo bangos kryptingumo. Su Comsol programine įranga sumodeliuotas figūros vaizdas parodytas 2.5 pav.



2.5 pav. Modeliuojamos bangos formavimo įtaisas (a ir b)

Iš 2.5 pav. matyti ultragarso generatoriaus pozicija antenoje (mėlynas apskritimas cilindro apačioje). Pasibaigus cilindrinei daliai, ši pereina į kūgį su nupjautomis dviem sienelėmis. Ant kūgio viršaus yra stačiakampis, kurio dvi sienelės taip pat nupjautos įstrižais kampais. Modeliuojant bangos kryptingumą ir stiprumą, su pradiniais figūros matmenimis, gauta diagrama pateikta 2.6 pav.



2.6 pav. Bangos kryptingumo diagrama dvejose plokštumose, naudojant pradinis figūros matmenis

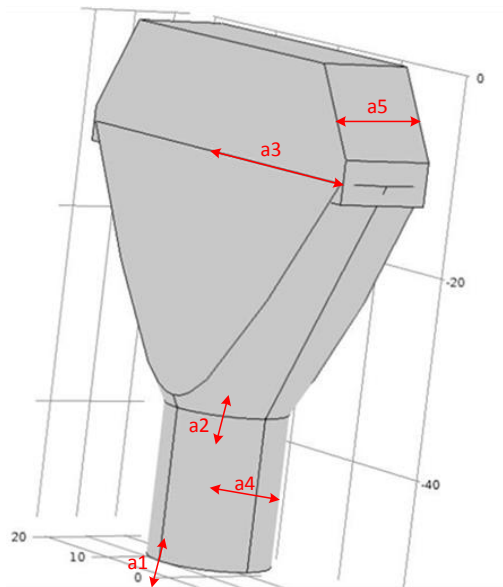
Iš 13pav. Pavaizduotos kryptingumo diagramos matyti, kad gauti rezultatai visiškai neatitinka užsibrėžtų tikslų ir figūros matmenys turi būti tikslinami. Bangos kryptingumas turi daug šalutinių lapelių, kurių stiprumas prilygsta pagrindiniam arba yra už jį didesnis. Figūros matmenys modeliavimo metu bus keičiami tol, kol bus gautas reikiamo tikslumo kryptingumas ir pakankamas bangos stiprumas.

2.3. Figūros matmenų įtakos analizė

Apsvarsčius antenos formą, reikia parinkti tikslus jos matmenis. Kaip jau buvo minėta, antenų teorijos čia pritaikyti negalima, todėl matmenis ir galutinę antenos konstrukciją reikia parinkti eksperimentiškai. Kadangi forma sudaryta iš daug dalių, todėl akla modeliuoti yra neracionalu. Pirmiausiai trumpais eksperimentais bus patikrinti koreliaciniai ryšiai tarp figūros matmenų ir bangos parametrų. Iš gautų rezultatų bus matyti, kurie parametrai daro didžiausią įtaką bangai. Tai palengvins galutinės konstrukcinės formos radimą, tuo pačiu nereikės be reikalo atlikti modeliavimo keičiant figūros matmenis, kurie visiškai neturi sąryšio su bangos parametrais.

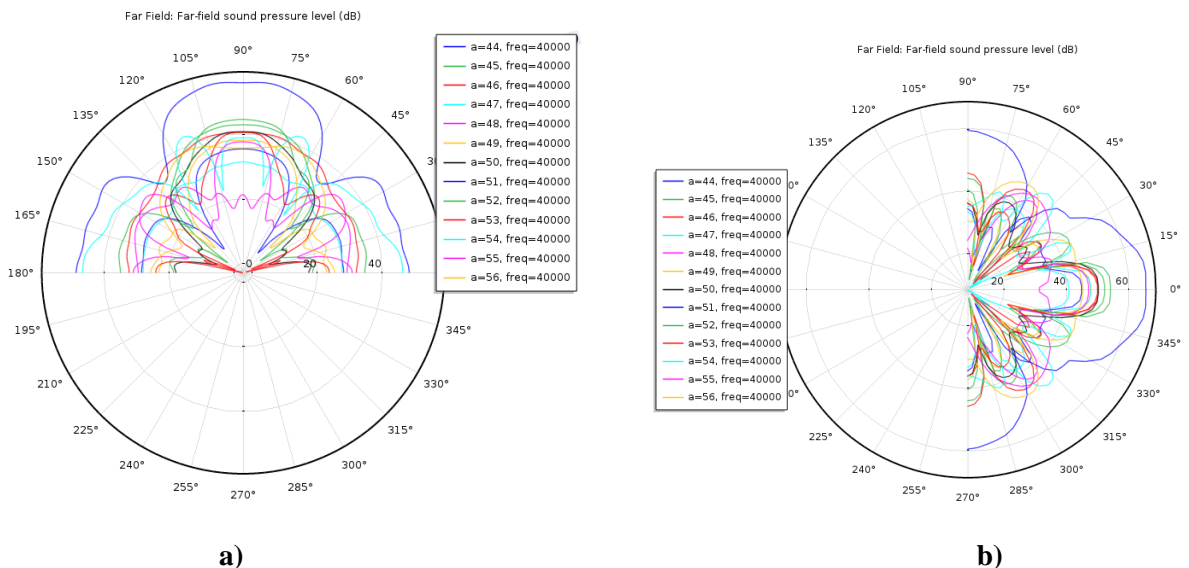
Konkretūs bangos parametrai, kurie buvo stebėti yra bangos pagrindinio lapelio intensyvumas (dB), kuris modeliuojamas 5,5 m. atstumu nuo bangos šaltinio, taip pat bangos pagrindinio lapelio plotis (laipsniais) horizontalioje ir vertikalioje plokštumoje. Kokybiškai buvo įvertinti ir šalutiniai lapeliai, jų intensyvumas ir kryptis. Tyrimo įeinantys parametrai buvo bendras figūros aukštis (a1, kartu ir pjezo elemento padėtis, 2.7 pav.), kūgio padėtis (a2), kūgio viršūnės spindulys (a3), figūros tiesiosios dalies spindulys (a4) ir siaurosios viršutinės dalies plotis (a5). Bangos dažnis visais tyrimo etapais vienodas ir yra 40 kHz. Gautos kryptingumo diagramos vaizduoja bangos kryptį dviejose plokštumose ir jos intensyvumą. Prieduose pateikiami rezultatų duomenys lentelėse.

2.7 pav. pavaizduota figūra su keičiamais parametrais.



2.7 pav. Tiriama figūra su pažymėtomis sritimis, kurios yra keičiamos

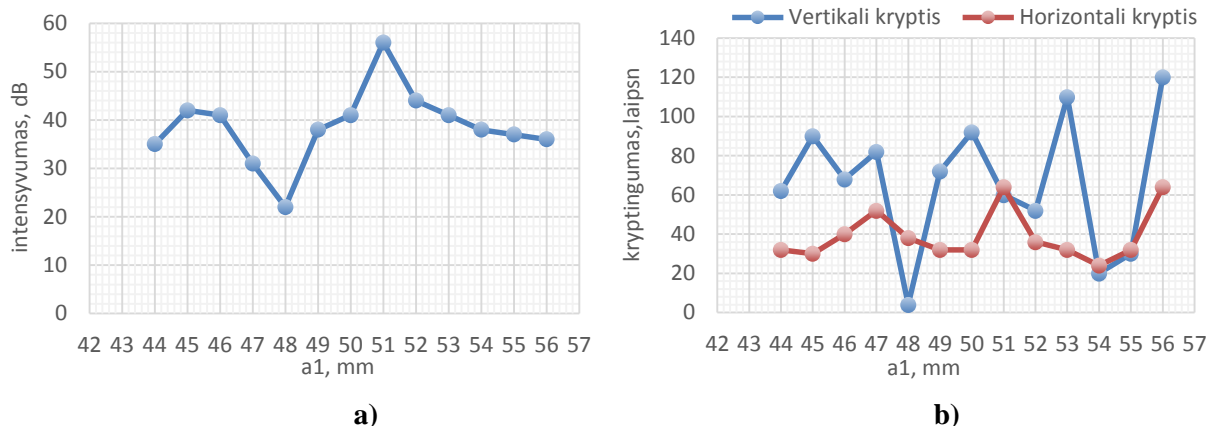
Bendras figūros aukštis, taip pat jos apačioje esančio pjezo elemento padėtis turi koreliacinį ryšį bangos kryptingumui ir intensyvumui. Figūros apačios padėtis buvo keičiama nuo 44 iki 56 mm. Tokiu atveju, tiesiojo cilindro ilgis keitėsi nuo 7,5 iki 19,5 mm. 2.8 pav. a dalyje pavaizduota kryptingumo diagrama vertikalioje plokštumoje (platesnis lapelis), sudėjus visus rezultatus, kai padėties kitimo žingsnis 1 mm. B dalyje pavaizduota grafikas, kai bangos kryptingumas keitėsi horizontalioje plokštumoje.



2.8 pav. Bangos kryptingumo diagramos keičiant cilindro aukštį vertikalioje (a) ir horizontalioje (b) plokštumoje

Įvertinus kryptingumo diagramas matyti, kad keičiant cilindro aukštį, kryptingumas ir pagrindinio lapelio intensyvumas taip pat stipriai kinta. Keičiasi ne tik pagrindinis lapelis, tačiau

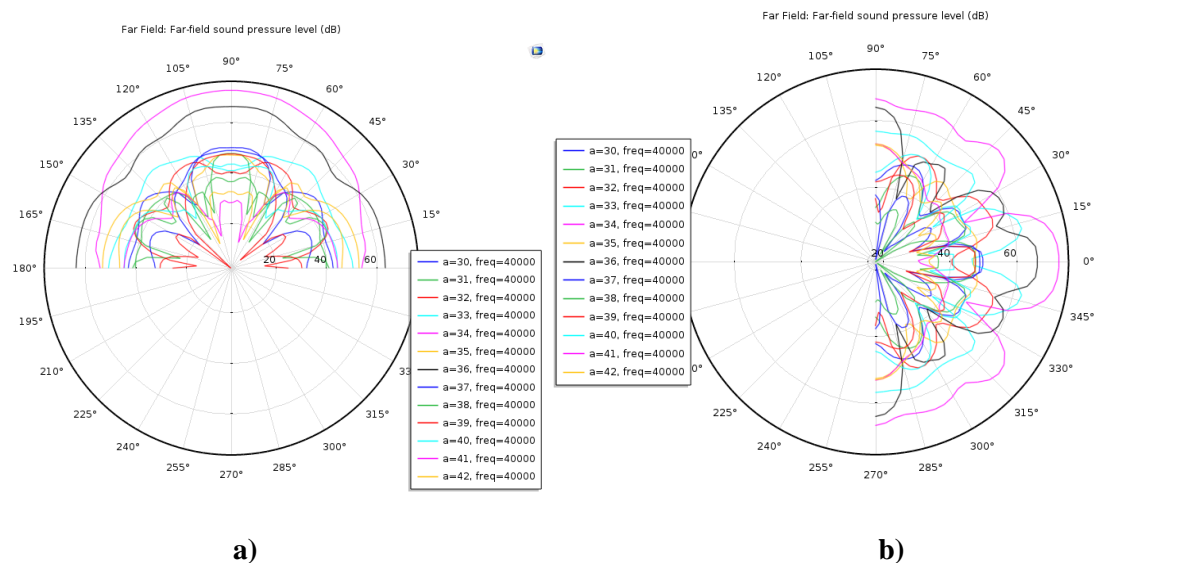
kinta šoninių lapelių forma, kryptys bei intensyvumai. Stipriai kinta ir pagrindinių lapelių plotis. Gauti intensyvumo diagramų duomenys atidedami grafikuose (2.9 pav).



2.9 pav. Bangos pagrindinio lapelio intensyvumo (a) ir kryptingumo abiejose plokštumose (b) priklausomybė nuo cilindro aukščio

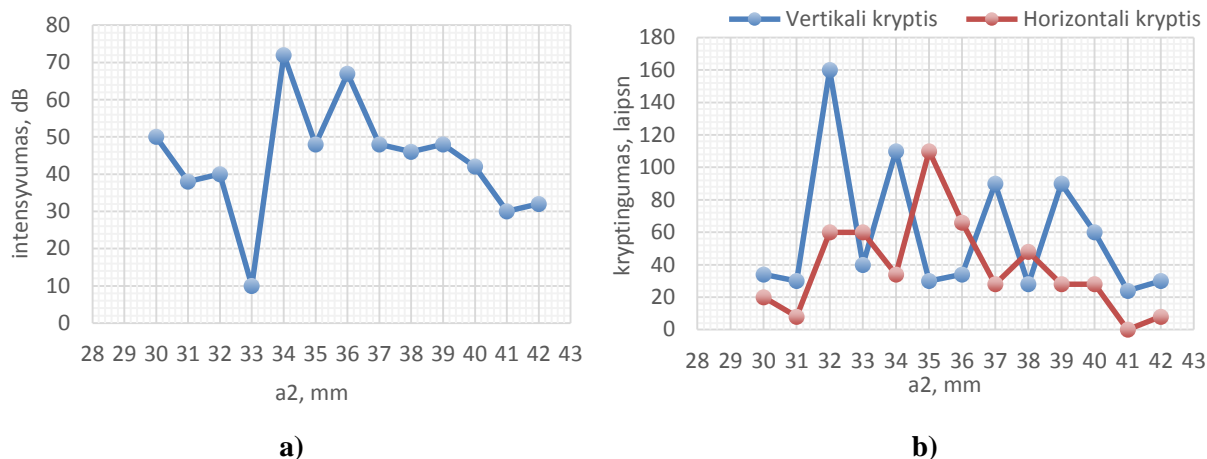
Iš 2.9 pav. Esančių diagramų matyti, kad bangos intensyvumas ir kryptingumas priklauso nuo cilindro aukščio. Intensyvumas turi du eksremumų taškus, viename įvyksta staigus intensyvumo sumažėjimas iki 22 dB, o kitame sustiprėjimas iki 56 dB. Kryptingumas horizontalioje padėtyje kinta mažiau nei vertikalioje. Vertikalios padėties bangos plotis neprognozuojamai keičiasi ir šokinėja, horizontalioje plokštumoje bangos plotis turi du didesnius išplėtėjimus.

Keičiama buvo ir kūginės dalies apatinio pagrindo padėtis išilgai visos figūros. Kūgio pagrindo padėtis buvo keičiama nuo 30 iki 42 mm, skaičiuojant nuo figūros viršaus. 2.10 pav. a pateikta kryptingumo diagrama vertikalioje plokštumoje, o b – horizontalioje.



2.10 pav. Bangos kryptingumo diagrama vertikalioje (a) ir horizontalioje (b) plokštumoje keičiant apatinio kūgio pagrindo padėtį

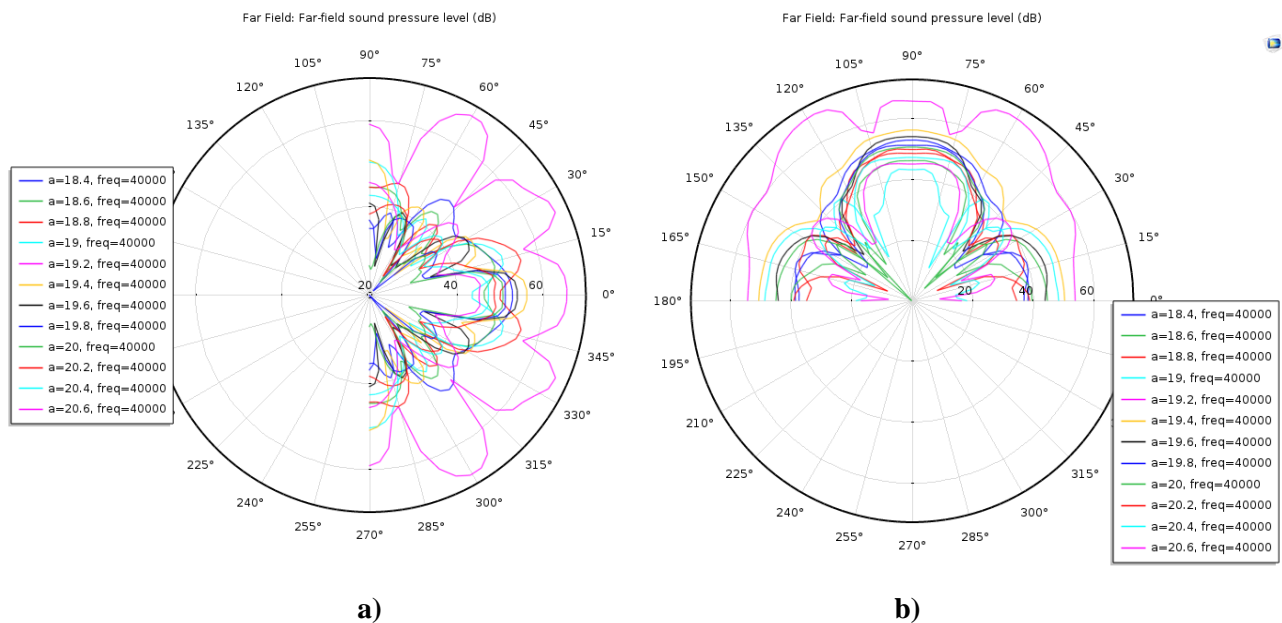
Kūgio padėtis figūros ilgyje labiau paveikia šalutinius lapelius abiejose plokštumose. Abiem atvejais matomas didelis bangos intensyvumo išsibarstymas ir pokytis. Taip pat net iš diagramos matyti platus bangos kampo pokytis vertikalioje plokštumoje. Intensyvumo ir bangos pagrindinio lapelio pločio priklausomybės nuo kūgio apatinio pagrindo pateiktos 2.11 pav.



2.11 pav. Bangos pagrindinio lapelio intensyvumo (a) ir kryptingumo abiejose plokštumose (b) priklausomybė nuo kūgio pagrindo padėties

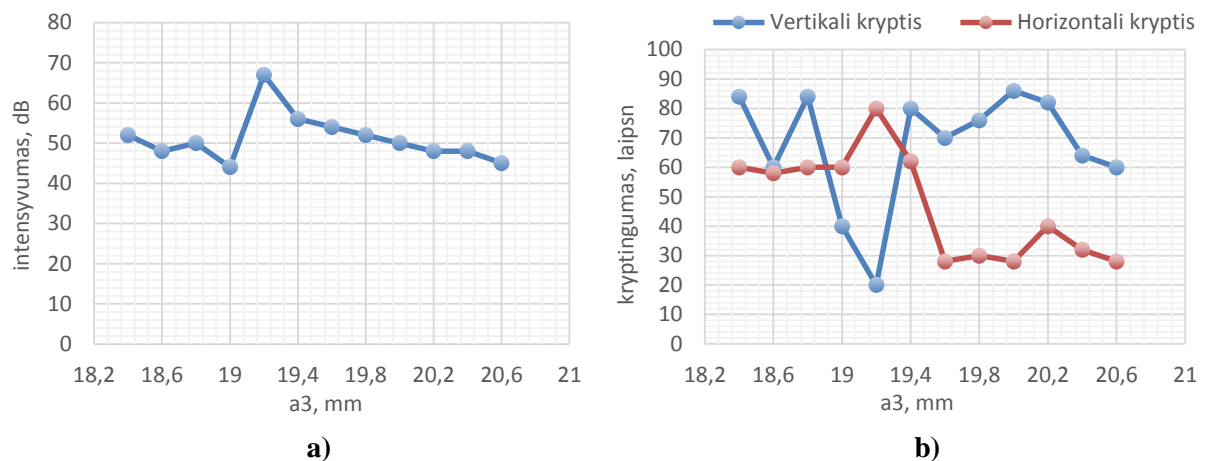
Iš 2.11 pav. pavaizduoto intensyvumo grafiko matyti, kad bangos stiprumas didžiausiais intervalais kinta 33-36 mm tarpe. Esant kitoms kūgio apatinio pagrindo padėtimis šis kitimas nėra intensyvus. Tačiau pagrindinio lapelio pločio kitimas vertikalioje plokštumoje yra intensyvesnis ir kiekvieną kartą kinta didele amplitude. Horizontalioje padėtyje bangos kampo pokytis yra tolygesnis, tačiau ties 35 mm kūgio pagrindo padėtimi, įvyksta staigus bangos išplatėjimas iki 110 laipsnių.

Kūgio viršutinės dalies spindulio įtakos tyrimas pasirinktas dėl to, kad keičiant minėtą dydį keičiasi ne tik aukštesnioji figūros dalis, tačiau keičiasi ir apačioje esantis kampas, kurio išplatėja figūros šonai. Kūgio spindulys buvo keičiamas 18,4 - 20,6 mm ribose. Šios priklausomybės diagramos dviejose plokštumose pateiktos 2.12 pav. a ir b dalyse.



2.12 pav. Bangos kryptingumo diagrama vertikaloje (a) ir horizontalioje (b) plokštumoje keičiant kūgio viršutinio pagrindo spindulį

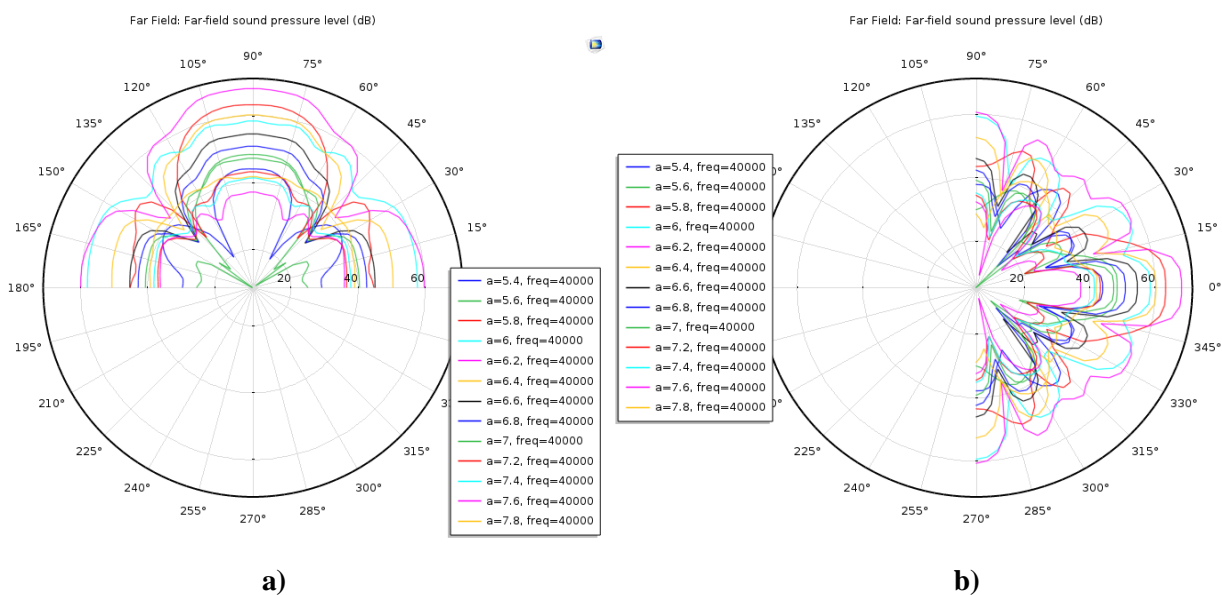
Matyti, kad vertikaloje plokštumoje pagrindinio lapelio plotis, taip pat šalutinių lapelių padėtis kinta nedaug, tiesa ties viena padėtimi įvyksta kardinalus bangos formos pasikeitimas. Šis pasikeitimas stebimas ir horizontalioje plokštumoje, taip pat toje plokštumoje matomas ir intensyvesnis pagrindinio lapelio pločio pokytis kintant kūgio viršutinės dalies spinduliui.



2.13 pav. Bangos pagrindinio lapelio intensyvumo (a) ir kryptingumo abiejose plokštumose (b) priklausomybės nuo kūgio viršutinio pagrindo spindulio

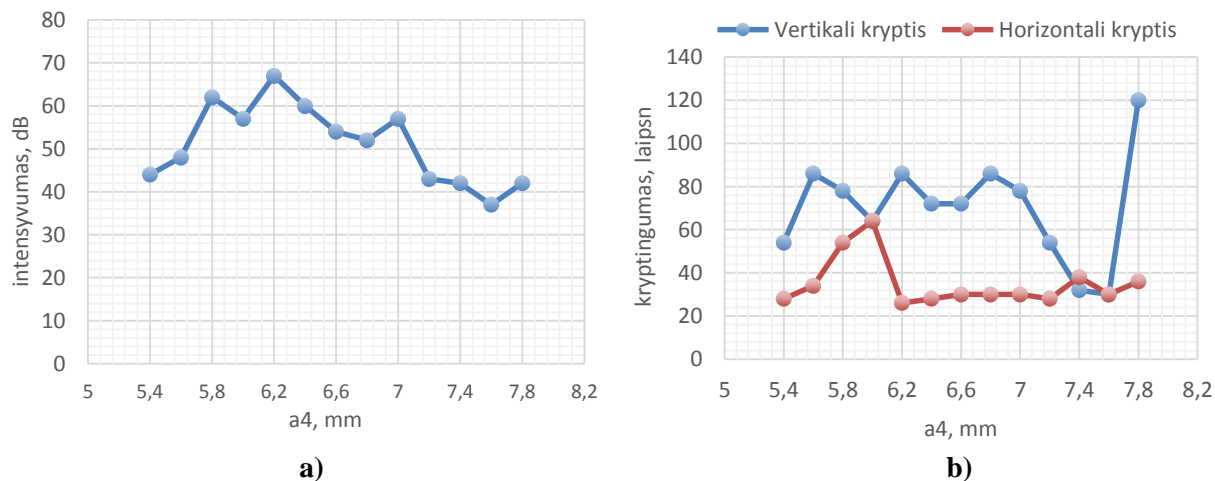
Nubraižomas bangos pagrindinio lapelio intensyvumo ir kryptingumo grafikas (2.13 pav.). Matyti, kad kūgio spinduliui esant 19,2 mm įvyksta rezonansas, kurio metu sustiprėja bangos intensyvumas, pagrindinio lapelio plotis horizontalioje plokštumoje, tačiau staigiai sumažėja plotis vertikaloje plokštumoje. Būtent iki šio taško matomas intensyvesnis bangos pločio kitimas, o toliau didinant spindulį, šis kitimas tampa mažai reikšmingas.

Apatinio cilindro spindulys (a_4 , 2.7 pav.), taip pat kaip ir jo ilgis (a_1) turi įtaką bangos stiprumui. Tam cilindro spindulys buvo keičiamas 5,4-7,8 mm riboje, su 0,2 mm žingsniu. 2.14 pav. pateiktos bangos kryptingumo diagramos dviuose plokštumose, kurios atspindi lapelio intensyvumą.



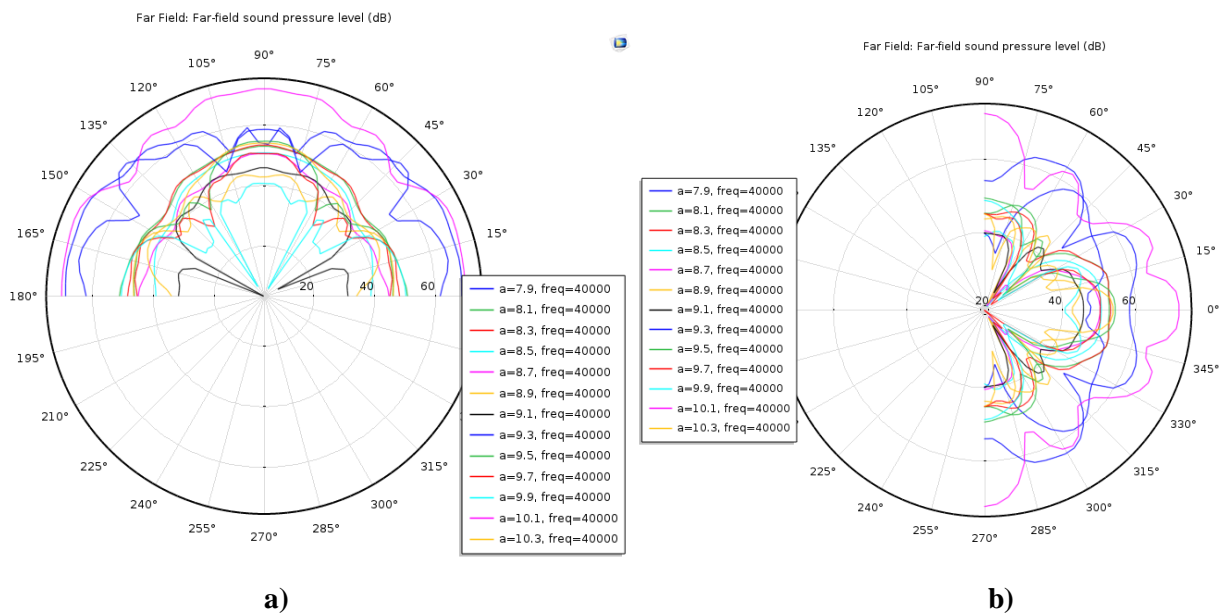
2.14 pav. Bangos kryptingumo diagrama vertikaloje (a) ir horizontalioje (b) plokštumoje keičiant cilindro spindulį

Iš 2.14 pav. kryptingumo diagramų aiškiai matyti, kad keičiant cilindro spindulį keičiasi bangos intensyvumas. Nežymiai tačiau keičiasi ir bangos kryptingumas. Didžiausias bangos kryptingumo pokytis matomas vertikaloje plokštumoje. 2.15 pav. gautų diagramų rezultatai atidedami koordinačių plokštumoje. Matyti, kad didinant spindulį, bangos intensyvumas po truputį mažėja. Matomas ir vertikalių plokštumos lapelio pločio pokytis. Jis yra nepastovus, o galutiniame taške (7,8 mm) padidėja iki 122 laipsnių. Horizontalioje plokštumoje lapelio pločio didėjimas stebimas tik iki 6,0 mm, toliau jis krinta ir nusistovi kisdamas mažu intervalu.



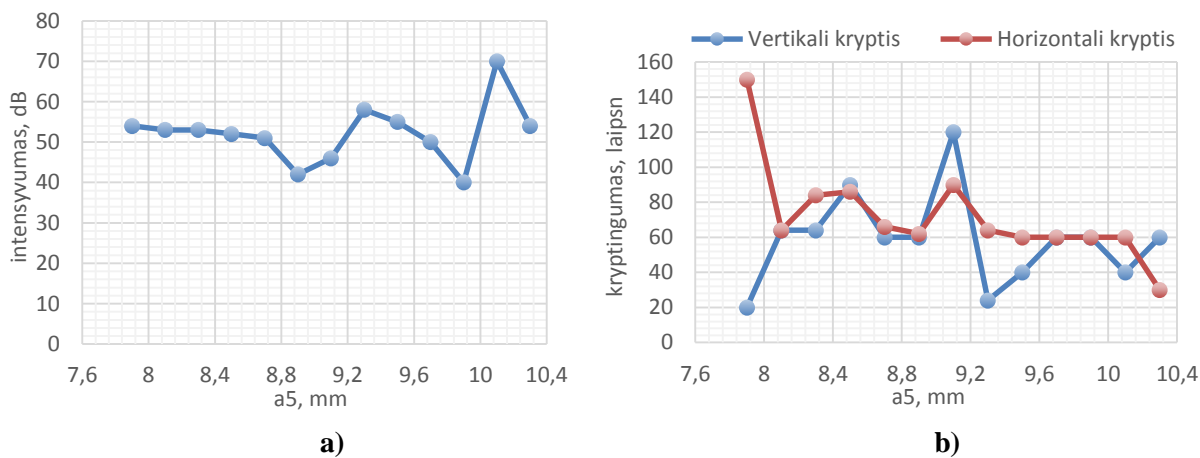
2.15 pav. Bangos pagrindinio lapelio intensyvumo (a) ir kryptingumo abiejose plokštumose (b) priklausomybės nuo cilindro spindulio

Didžiausią įtaką bangos kryptingumui buvo tikimasi išgauti keičiant keturkampės viršutinės dalies plotį (a_5 , 2.7 pav.). 2.16 pav. pateiktos diagramos, kuriose matomas bangos intensyvumas ir kryptingumas dviejose plokštumose. Figūros plotis buvo keičiamas nuo 7,9 mm iki 10,3 mm, 0,2 mm žingsniu. Akivaizdu kad figūros pločio keitimas turi didelę įtaką bangos parametrams.



2.16 pav. Bangos kryptingumo diagrama vertikaloje (a) ir horizontalioje (b) plokštumoje keičiant viršutinės dalies plotį

2.17 pav. nubraižyti grafikai, vaizduojantys bangos intensyvumo ir bangos pagrindinio lapelio pločio priklausomybę nuo keičiamo dydžio. Matyti, kad bangos intensyvumas pradeda kisti tik nuo 8,9 mm, kai tuo tarpu lapelio plotis kinta visame figūros pločio diapazone. Vertikaloje plokštumoje kitimas yra šiek tiek chaotiškas, tačiau horizontalioje plokštumoje matomas beveik tolydus lapelio pločio siaurėjimas.

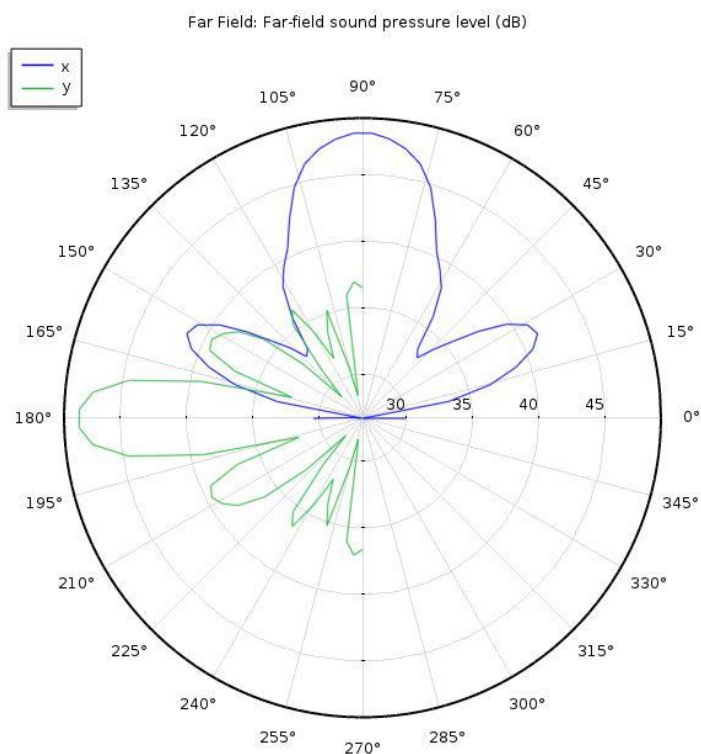


2.17 pav. Bangos pagrindinio lapelio intensyvumo (a) ir kryptingumo abiejose plokštumose (b) priklausomybės nuo viršutinės dalies pločio

Ištirus įvairių figūros parametru kitimo įtaką bangos intensyvumui bei jos pagrindinio lapelio pločiui galime teigti, kad tarp šių dydžių yra koreliacinis ryšys. Iš gautų rezultatų negalime pasakyti, ar koreliacinis ryšys turi kokią nors priklausomybę. Matyti, kad esant tam tikroms parametru vertėms įvyksta staigus intensyvumo sustiprėjimas arba bangos slopinimas. Nei viename variante nematyti tiesioginės priklausomybės tarp figūros parametru keitimų ir bangos intensyvumo arba kryptingumo, t.y. jie kinta neprognozuojamai. Didžiausią įtaką ir staigiausius bangos parametru pokyčius sukelia apatinės cilindrinės dalies matmenų keitimas.

2.4. Modeliavimo rezultatai

Įvertinus koreliacijos tyrimo metu gautus rezultatus ir diagramas, pasirenkame racionaliausius figūros parametrus. Tai yra tokie parametrai, su kuriais buvo gautos geriausios kryptinės bangos savybės ir stiprumas. Sumodeliavus formą, kuriai pritaikyti visi racionalūs parametrai, gauta kryptingumo diagrama pateikta 2.18 pav. Kryptingumo diagrama yra artima tai, kurią buvo norima gauti.



2.18 pav. Spinduliuojamos bangos kryptingumo diagrama

Mėlyna spalva gauta diagrama parodo bangos formą ir stiprumą vertikalioje plokštumoje. Šioje plokštumoje bangos plotis yra apie 30°. Jos intensyvumas 5,5 m nuotolyje yra apie 49 dB. Banga turi nereikalingus šoninius lapelius, kuriuos pageidautina pašalinti. Horizontalioje

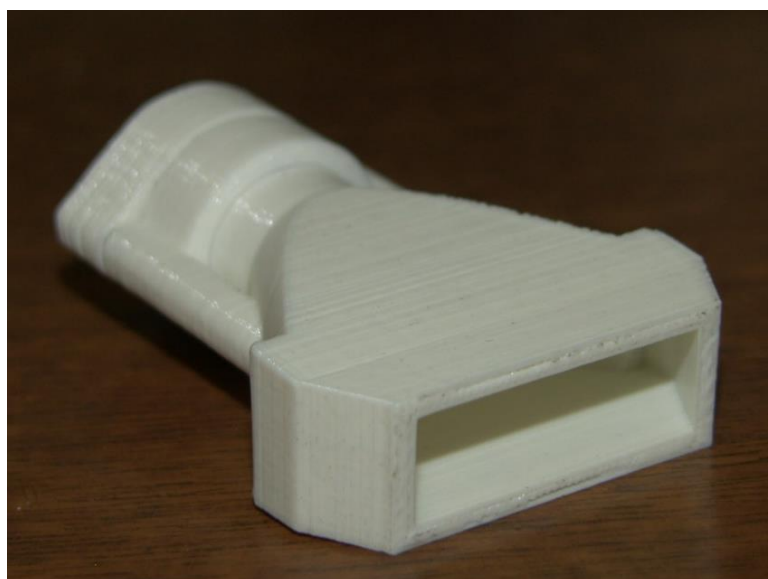
plokštumoje (žalia diagrama) bangos spinduliavimo plotis siekia apie 17° , intensyvumas – 48 dB. Banga turi 90° šoninius lapelius, kurie gretimiems imtuvams įtakos padaryti negali. Kiti – mažesnio kampo – šoniniai lapeliai gali turėti didesnę įtaką gretimiems imtuvams.

Šią bangą sudarančio formuotuvo vaizdas pateiktas 2.5 pav. Apatinė jo dalis yra sudaryta iš cilindro. Šios dalies skersmuo yra 13,4 mm. ilgis – 15,4 mm. Aukštesnioji dalis sudaryta iš kūgio, kurio šonai yra nupjauti. Kūgio apatinio pagrindo skersmuo sutampa su cilindro skersmeniu – 13,4 mm, o viršutinio pagrindo skersmuo – 19,5 mm. Kūgio šonai nupjauti 4 laipsnių pasvirimo kampu. Viršutinė formos dalis yra stačiakampis gretasienis, kurio dvi sienos yra sulenktos į vidų. Viso stačiakampio ilgis yra šiek tiek didesnis už į jį įsiliejančio kūgio skersmenį – 40 mm. Plotis 10,3 mm, o aukštis – 13 mm.

Bendras detalės aukštis yra 51,9 mm. Didžiausias ilgis – 40 mm, plotis apie 13,6 mm. Aktyviosios pjezoelemento dalies skersmuo yra 8mm, aukštis – 2 mm. Šios dalies darbinis potencialų skirtumas yra 100 V. Visas pjezoelementas sudarytas iš aliuminio gaubto ir užpildytas epoksidine derva.

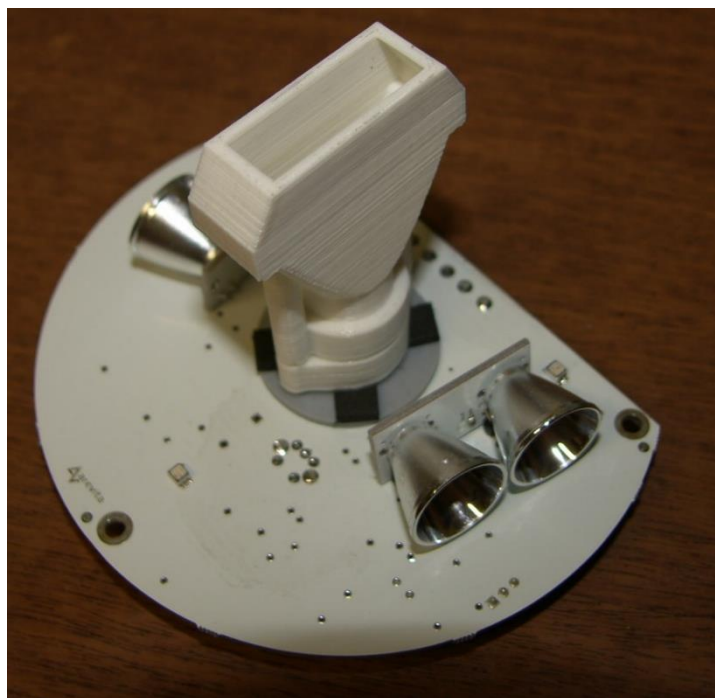
2.5. Bangos formavimo įtaiso gaminimas

Comsol programoje sumodeliavus bangos formavimo įtaiso formą jis buvo pagamintas naudojant 3D spausdintuvą. Naudojant SolidWorks programą buvo perbraižyta bangos formavimo įtaiso struktūra, su kuria buvo gauti pilnai tenkinantys kryptingumo rezultatai Comsol programoje. Detalės sienelių storis – 2 mm. 3D spausdintuvu atspausdintos detalės vaizdas pateiktas 2.19 pav.



2.19 pav. Atspausdintos bangos formavimo detalės vaizdas

Detalė pritaikyta uždėti ant turimo ultragarsinio automobilių detektavimo jutiklio pagrindinės plokštės. Šioje plokštėje naudojamas ultragarsinis pjezo elementas, siunčiantis ir priimantis ultragarso bangą. Ši jutiklio pagrindinė plokštė buvo gaminta statmenai į automobilių nukreiptam detektavimo įrenginiui. Pritaikius tokią plokštę naujai kuriamam jutikliui, bendras jutiklio vaizdas pateiktas 2.20 pav. Matyti, kad ant centre esančio pjezo elemento uždėtas ir iš apačios prisuktas atspausdintas bangos formavimo įtaisas.

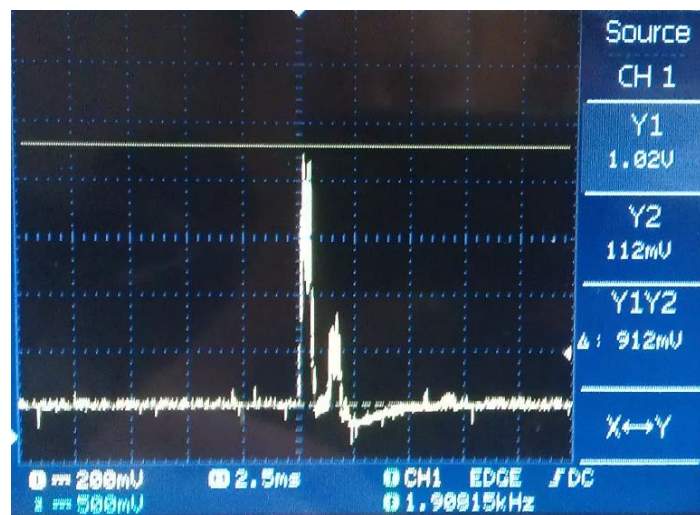


2.20 pav. Bangos formavimo įtaisas pritaikytas gamyklinei automobilių detektavimo plokštei

3. EKSPERIMENTINIAI MATAVIMAI

3.1. Antenos kryptingumo nustatymas

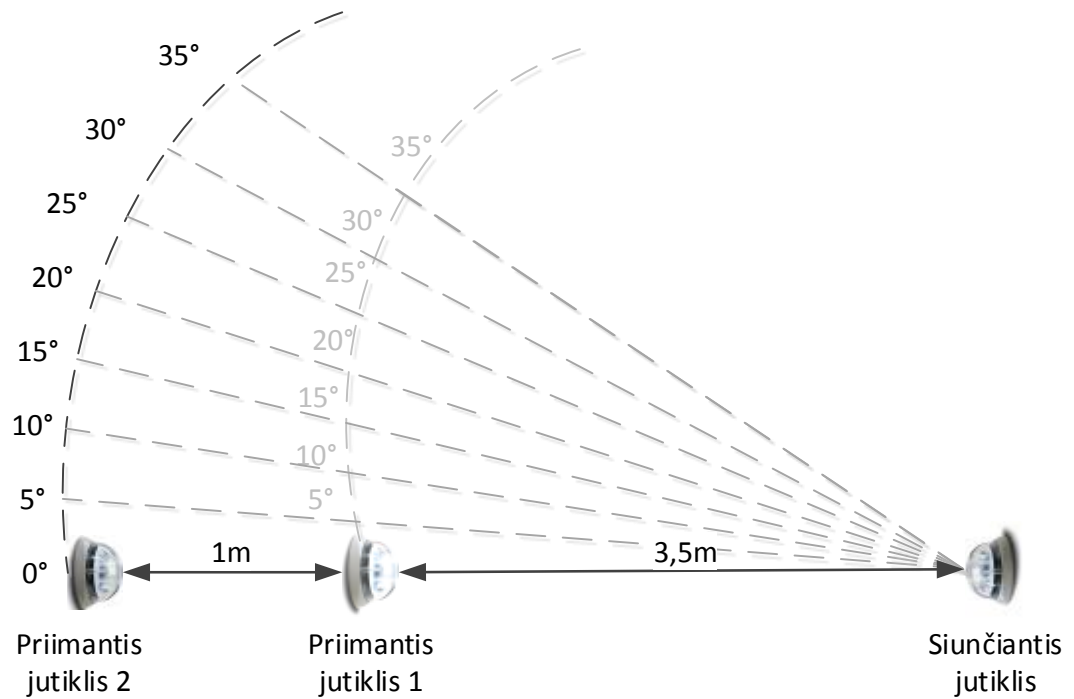
Laboratorijoje eksperimentiškai nustatyta bangos formavimo įtaiso kryptingumo diagrama. Matavimai atliekami esant dviem skirtingiems imtuvo atstumams iki spinduliuojančios antenos. Kryptingumo diagramos matavimo principas toks, kad vienas ultragarsinis jutiklis spinduliuoja ultragarso bangas per naujai pagamintą bangos formavimo įtaisą. Šis įtaisas suformuoja reikiamą bangos formą. Antras jutiklis tą bangą priiminėja. Nuo antrojo jutiklio ultragarso bangos priėmimo įrenginio signalas perduodamas į oscilografą, kuriame matoma priimamo signalo amplitudė. Oscilogramos, kuri matoma priimant ultragarso bangą, vaizdas pateiktas 3.1 pav.



3.1 pav. Priimamo ultragarso signalo oscilograma

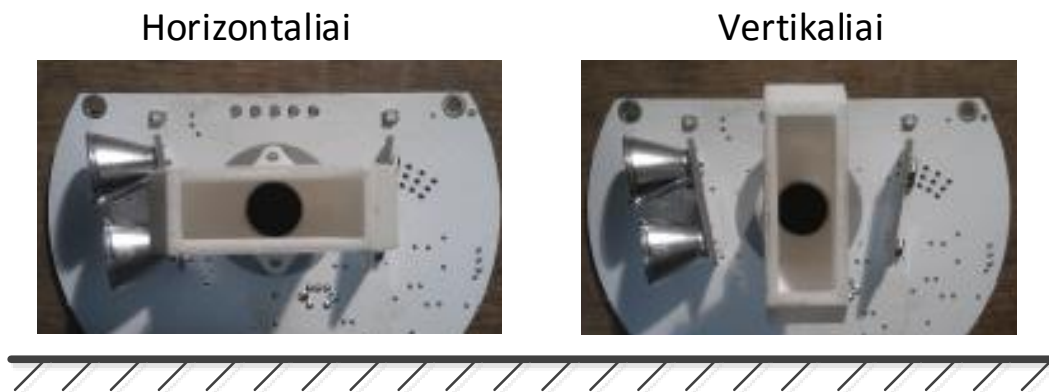
Oscilogramoje matomas priimtas signalas, kurio amplitudė yra 1,02 V. Vidutinė tokio priimto impulso trukmė yra 0,5 ms. Šalia didesnės amplitudės signalo matomas ir mažos amplitudės signalas. Šis signalas yra atspindys nuo kažkokio patalpos paviršiaus, kuris šiek tiek suvėlavęs ir mažesne amplitude taip pat pasiekė priėmimo įrenginį.

Matavimo schema tokia, kad spinduliuojantis įrenginys buvo stacionariai pastatytas viename patalpos gale. Kitas priimantis įrenginys buvo stumdomas pusapskritimiu $2,5^\circ$ žingsniu, nutolus nuo spinduliuojamo įrenginio 4,5 ir 3,5 m atstumais. Taip pat siekiant išmatuoti skirtingos poliarizacijos kryptingumą, bangos formavimo įtaisas pirmu matavimu pasuktas horizontaliai, o antru – vertikaliai. Struktūrinė eksperimento schema pateikta 3.2 pav.



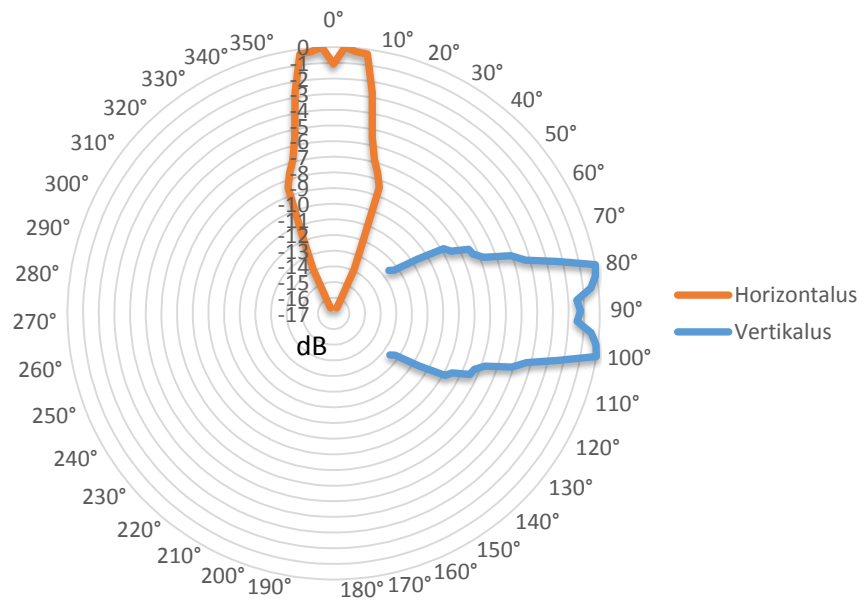
3.2 pav. Antenos kryptingumo matavimo schema

3.3 pav. Pateikta bangos formavimo įtaiso padėtis dviem matavimo atvejais.



3.3 pav. Formavimo įtaiso padėtis dviem matavimo atvejais

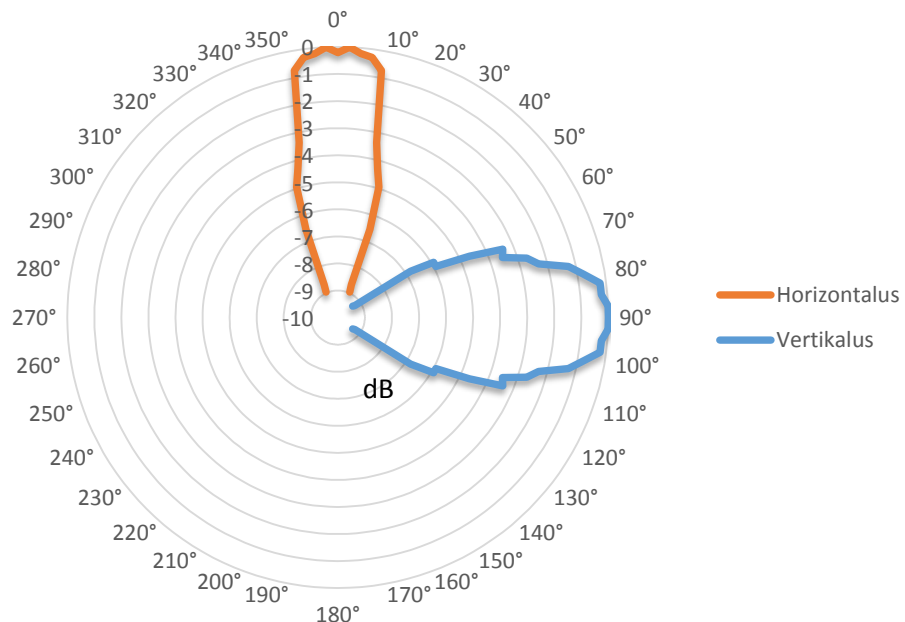
Atliekant matavimą, buvo žymimas matavimo kampas, ir priimamo signalo amplitudė. 3.4 pav. pateikta antenos kryptingumo diagrama, kai atstumas yra 3,5 m nuo spinduliuojančio įrenginio.



3.4 pav. Spinduliuojančio įrenginio kryptingumo diagrama dvejomis poliarizacijomis, esant 3,5 m atstumui

Iš diagramos matyti, kad esant vertikaliai pasuktai antenai, spinduliavimas yra gerokai platesnis, nei kad ši būtų pasukta horizontaliai. Spinduliavimo plotis -3 dB signalo lygyje horizontaliai pasuktai antenai yra 11° , o vertikaliai – 14° . 0 dB signalo lygis atitinka 1360 mV signalo amplitudę.

Matavimai, priimančiam įrenginiui nutolus $4,5$ m nuo spinduliuojančiojo, pateikti 3.5 pav.



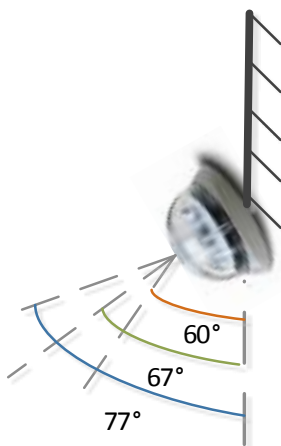
3.5 pav. Antenos kryptingumo diagrama esant $4,5$ m atstumui tarp priimančiojo ir siunčiančiojo įrenginio

Matosi, kad esant tolimesniam atstumui, antenos kryptingumo diagrama yra šiek tiek gražesnė, be didesnių iškreipimų. Nėra stipraus (daugiau nei 1dB) amplitudės sumažėjimo statmenoje jutikliui pozicijoje. Horizontaliai esančiam įtaisui bangos kryptingumas yra 11° , o vertikalčiai – 19° . 0 dB signalo lygis atitinka 696 mV signalo amplitudę.

Peržvelgus matavimų rezultatus paaiškėjo, kad bangos formavimo įtaisas orientuotas horizontaliai spinduliuoja siauresnę bangą, nei orientuotas vertikalčiai. Žinant bangos formavimo įtaiso stačiakampės dalies pločius, keista tai, jog pro siaurą plyšį spinduliuojama plati banga, o pro aukštą šio įtaiso dalį spinduliuojama siaura banga.

3.2. Eksperimentinių duomenų surinkimas

Turint pagamintą bangos formavimo įtaisą, kuris geba formuoti ir priimti ultragarso bangos signalą buvo atliktas atsispindėjusios bangos priėmimo eksperimentas su tikrais automobiliais. Bandymas atliktas dviem būdais. Abiem tyrimo atvejais jutiklis buvo įtvirtintas 2,5 m. aukštyje. Kiekvieno matavimo atveju, jutiklis buvo nustatomas trimis skirtingais kampais – 60° , 67° ir 77° laipsnių, kaip pavaizduota 3.6 pav. Eksperimento tikslas - nustatyti priimamo signalo formą, amplitudę, taip pat ištirti gautą bangos kryptingumą, ir ar jutiklio darbui daro įtaką gretimos transporto priemonės. Gauti eksperimento rezultatai bus panaudoti automobilių aptikimo algoritmui sudaryti.



3.6 pav. Matavimo kampų schema

3.2.1. Šoninis aptikimas

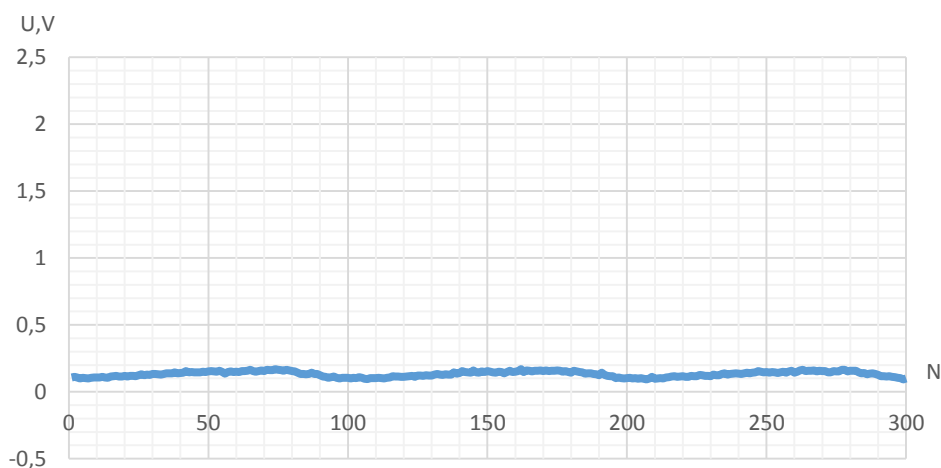
Vienas iš automobilių matavimo tikslų buvo nustatyti ar jutiklis aptinka automobilius, kurie yra gretimoje stovėjimo aikštelės vietoje. Žinant, kad jutiklis vienoje automobilių eilėje stebi tik

vieną stovėjimo vietą, buvo svarbu įsitikinti, ar gretimoje vietoje pastatyti automobiliai nedarys įtakos kitų jutiklių matavimo rezultatams.

Visas realių matavimų principas buvo nuskaityti įtaiso priimtą ultragarso signalą. Šis signalas saugomas mikrovaldiklio atmintyje. Priimtas ultragarso signalas į mikrovaldiklį įrašomas praėjus keitiklį iš analoginio signalo į skaitmeninį, ir saugomas atmintyje su maksimalia reikšme 4096 (12 bitų AKK). Iš mikrovaldiklio signalo reikšmės atsiunčiamos į kompiuterį per RS485 sąsają, naudojant RS485-USB sąsajos keitiklį.

Žinant, kad mikrovaldiklio analoginio-skaitmeninio keitiklio atraminė įtampa yra 2,56 V, nesunku nustatyti, kad maksimali signalo vertė (4096) atitinka 2,56 V. Pritaikius šią sąlygą, visas reikšmes pakeičiame į realią priimamo signalo amplitudę voltais.

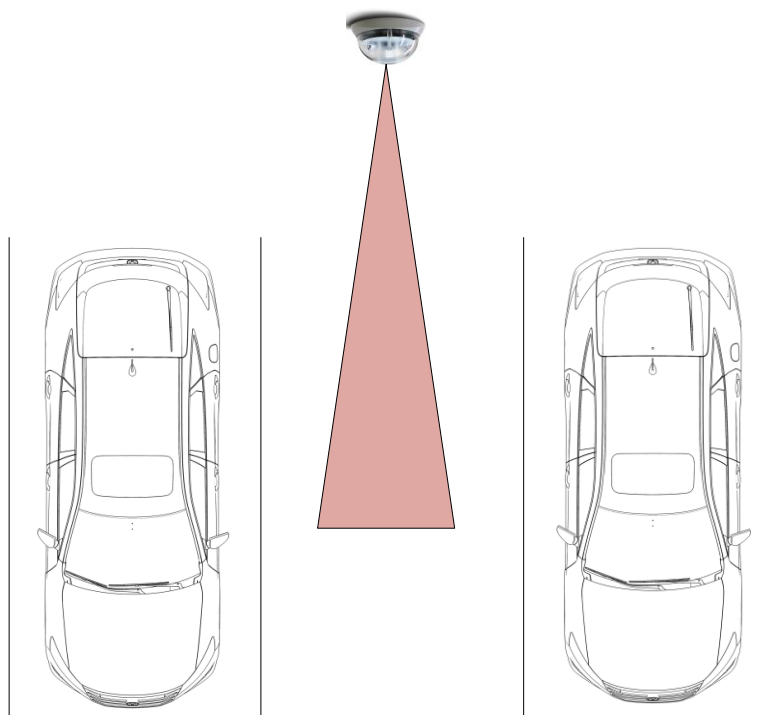
Pradžioje tyrimo buvo pamatuotas jutiklio signalas, kai po juo nėra nei vieno automobilio. Šis signalas bus atraminis, su kuriuo galima palyginti tolimesnius matavimų rezultatus. Tuščių aikštelės vietų pamatuotas signalas pateiktas 3.7 pav.



3.7 pav. Tuščios aikštelės grįžtamo signalo amplitudės grafikas

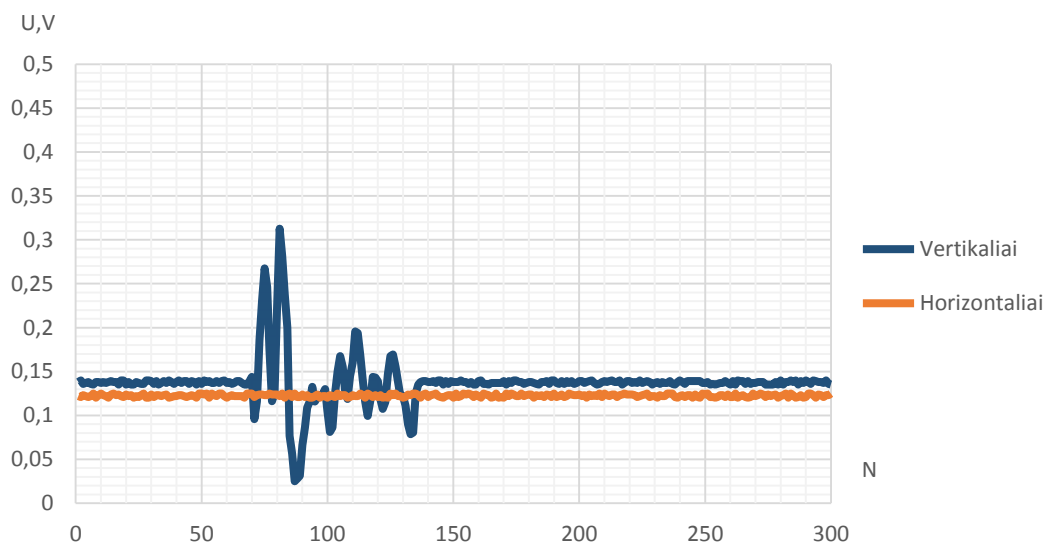
Iš diagramos matyti, jog į jutiklį negrįžta visiškai joks ultragarso signalas. Matoma tik triukšmų riba, kurios maksimali vertė yra 174 milivoltai.

Eksperimento atlikimo schema pateikta 3.8 pav. Du automobiliai sustatyti gretimose stovėjimo aikštelės vietose. Centrinė stovėjimo aikštelės vieta palikta tuščia. Matavimas buvo atliktas dviem jutiklio pasukimo kryptimis (kaip pavaizduota 3.3 pav.).



3.8 pav. Matavimo atlikimo principas

Jutiklio aptinkamo signalo grafikas, kai jutiklio padėtis yra horizontali ir vertikali pateiktas 3.9 pav.



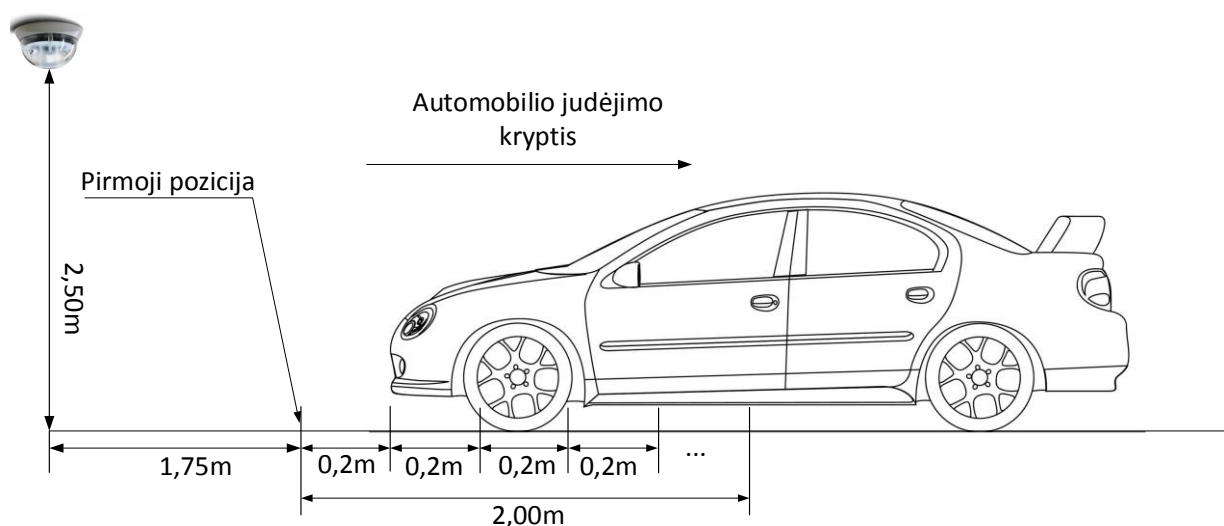
3.9 pav. Grįžtančio signalo amplitudės kitimo grafikas, kai jutiklis pasuktas horizontaliai ir vertikaliai

Iš gautų diagramų matyti, jog į horizontalios padėties jutiklį negrįžta joks ultragarso signalas, kai centrinėje vietoje automobilio nėra. Tuo tarpu vertikaliai pasuktam jutikliui, į jį grįžta dalis išspinduliuotos ultragarso bangos. Grįžtančio signalo maksimali amplitudės vertė 312 milivoltų. Palyginus su aukščiau matomu triukšmų lygio grafiku (pav. 3.9) toks grįžtantis signalas jau gali

būti aptinkamas ir detektuojamas kaip užimta stovėjimo vieta. Jau anksčiau buvo išsiaiškinta, kad vertikaliai pasukto jutiklio bangos formuotuvo spinduliavimo diagrama yra platesnė nei horizontalaus. Būtent šis reiškinys ir iššaukia signalo atsispindėjimą, kai daviklis pasuktas vertikaliai.

3.2.2. Išilginis aptikimas

Ištirus bangos kryptingumo įtaką šoniniams automobiliams, buvo nustatyta kaip banga atsispindi nuo įvairių formų automobilių. Šiam tyrimui buvo tirti trijų tipų automobiliai: hečbekas, sedanas ir visureigis. Trys automobiliai tiriami dvejomis pusėmis – iš priekio ir iš galo. Gauti 6 skirtingų reljefų automobilių matavimų rezultatai. Automobiliai buvo stumdomi pirmyn ir atgal. Taip gauti grafikai, kai yra nevienodas atstumas tarp jutiklio ir automobilio. Tokiu principu išmatuotas priimamas signalas, imituojant skirtingo ilgio automobilius. Šio tyrimo schema pateikta 3.10 pav. Prieduose pateikti matavimų rezultatų duomenys lentelėse.

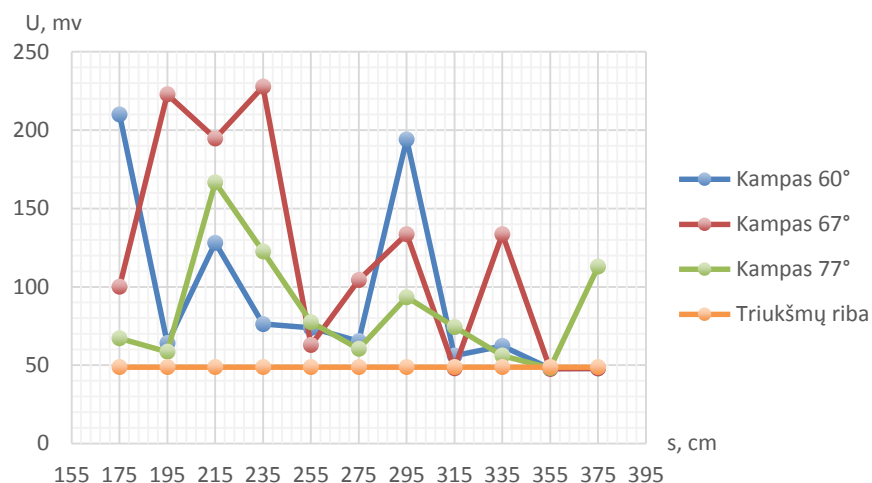


3.10 pav. Automobilio išilginio detektavimo tyrimo schema

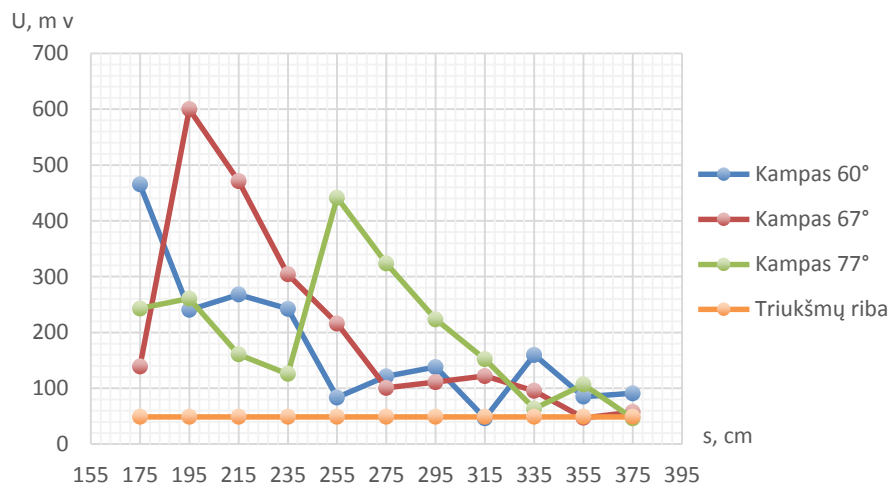
Automobiliai buvo stumiami 2 metrų atkarpoje. Jutiklis pastatytas nuo stovėjimo vietos pradžios per 1,75 m atstumą. Nuo tos vietos (stovėjimo vietos pradžios) automobilis buvo stumiamas kas 0,2m. Kiekvienu atveju fiksuojamas ultragarsinio jutiklio priimamo signalo grafikas. Matavimai atliekami esant trimis skirtingiems jutiklio kampams. Jutiklio pasukimo pozicija yra horizontali, taip gaunant bangos formą nukreiptą išilgai automobiliui, bet nepatenkančią į gretimas stovėjimo vietas. Tolimesniuose grafikuose pavaizduota priimamo signalo maksimali amplitudė priklausomai nuo automobilio nuotolio iki jutiklio. Horizontali linija

žymi triukšmų ribą, žemiau kurios neįmanoma išskirti jog tai grįžtantis atsispindėjęs signalas. Eksperimentiškai nustatytas triukšmų signalo lygis yra 48 milivoltai.

3.11 pav. pateikta grįžtančio signalo amplitudės diagrama hečbeko tipo automobiliui, stovinčiam priekiu į jutiklį, o 3.12 pav. – galu į jutiklį. Tokio tipo automobilio ypatumas yra statmenas bagažinės dangtis, o variklio dangtis – gulsčias. Grafikuose pateiktos priimto signalo maksimalios amplitudės reikšmės ties kiekviena automobilio pozicija.



3.11 pav. Bangos atspindžio amplitudės priklausomybė nuo hečbeko, pastatyto priekiu, atstumo iki jutiklio

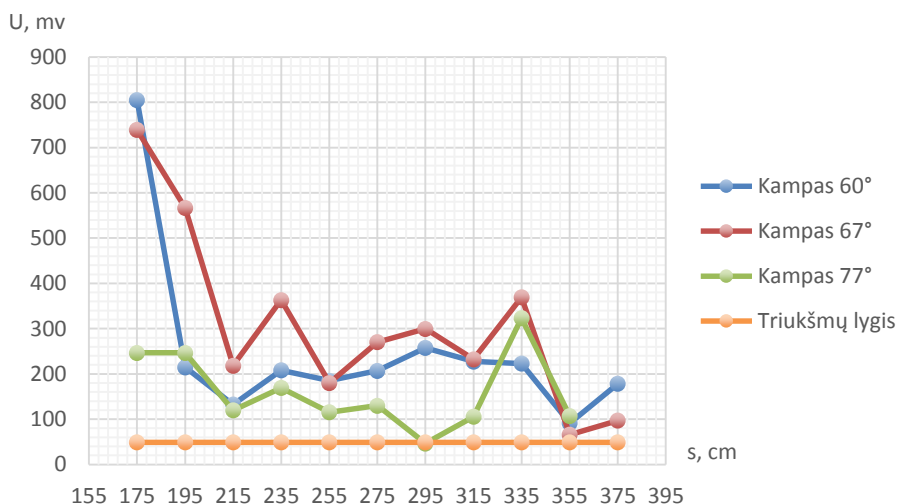


3.12 pav. Bangos atspindžio amplitudės priklausomybė nuo hečbeko, pastatyto galu, atstumo iki jutiklio

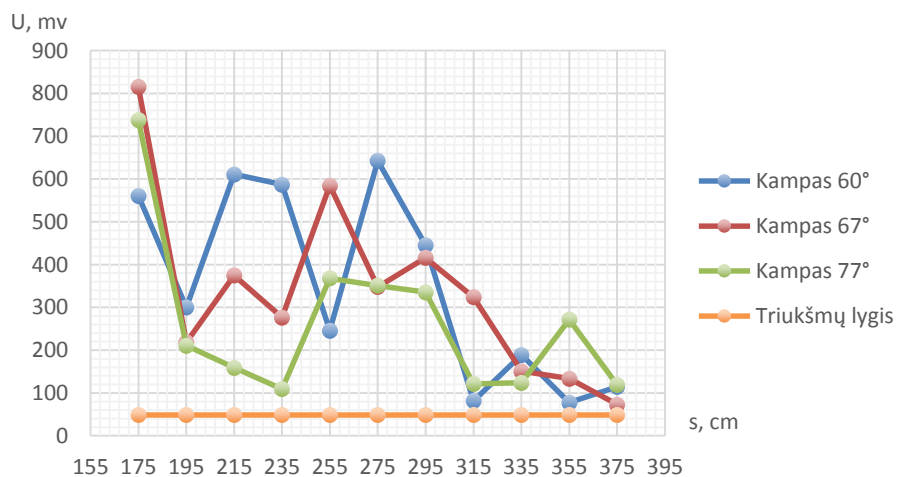
Matyti, kad automobiliui stovint priekiu, jo detektavimas visais jutiklio kampais įmanomas iki 3,35 m nuotolio nuo jutiklio. Tolimesniame atstume esant 60° ir 67° jutiklio kampams automobilis jau gali būti neaptinkamas. Geriausias rezultatas gaunamas esant 77° jutiklio kampui.

Automobiliui stovint galu, jis gali būti aptinkamas esant visiems atstumams ir jutiklio pakreipimo kampams, išskyrus 67° kampą, kai atstumas nuo jutiklio 3,55 m. Šio automobilio galas yra beveik statmenas kelio dangai, todėl atspindys susidaro stipresnis net ir nutolus nuo jutiklio daugiau kaip 3,5 metro.

3.13 pav. pateiktas bangos atspindžio grafikas nuo visureigio, kai šis pastatytas priekiu, o 3.14 pav. – galu.



3.13 pav. Bangos atspindžio amplitudės priklausomybė nuo automobilio (visureigio stovinčio priekiu į jutiklį) nuotolio

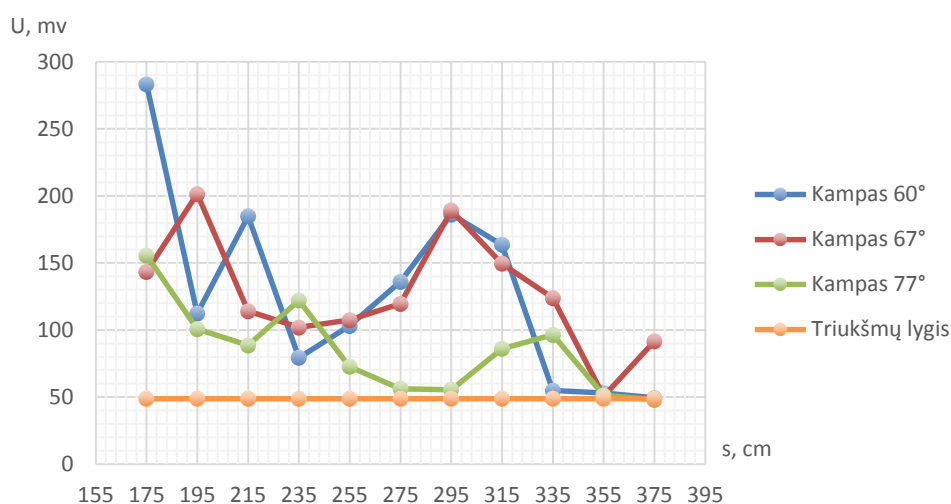


3.14 pav. Bangos atspindžio amplitudės priklausomybė nuo automobilio (visureigio stovinčio galu į jutiklį) nuotolio

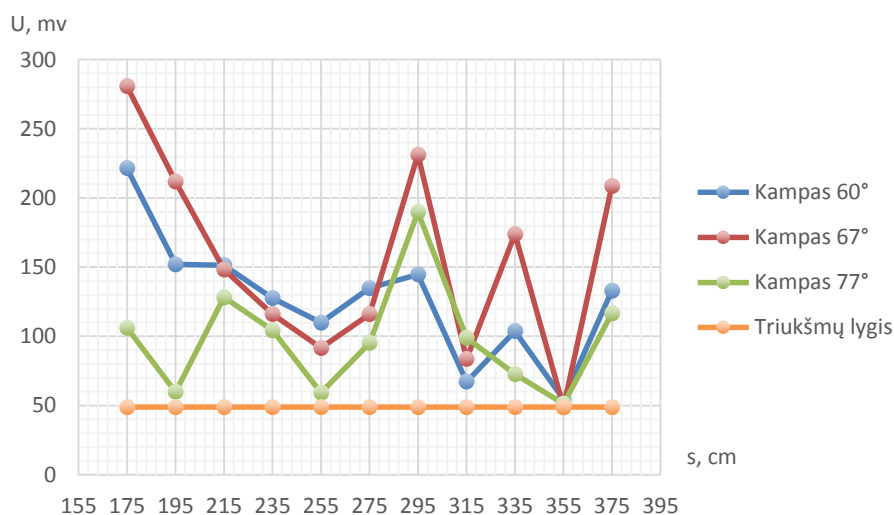
Visureigiui stovint priekiu į jutiklį tik vienoje vietoje matomas signalo amplitudės sumažėjimas iki triukšmų ribos, tai yra 2,95 m nuotolis ir 77° kampas. Visais kitais atvejais grįžtančio signalo amplitudė yra didesnė už triukšmų ribą ir tokiu atveju automobilis gali būti detektuojamas.

Visureigiui stovint galu į jutiklį galima pastebėti, jog taip pat nei vienoje pozicijoje grįžtančio signalo amplitudė nėra mažesnė už triukšmų ribą. Šiuo atveju visureigis dėl savo didesnio tūrio ultragarso bangas atspindi geriau ir ši į jutiklį grįžta didesnės amplitudės signalas. Toks automobilis gali būti aptinkamas visais pastatymo atvejais. Tokio tipo automobiliai nebūna trumpesni nei 3 m, todėl bangos atspindis nesudarys didesniame nei 3,5 m. atstume nuo jutiklio.

Paskutinis tirtas automobilis buvo sedano tipo. Šio automobilio tiek priekis tiek ir galas yra gulsčias. Nuo šio automobilio atspindėjusių ultragarso bangų amplitudės priklausomybės nuo atstumo grafikai pateikti 3.15 pav. (priekio) ir 3.16 pav. (galo).



3.15 pav. Bangos atspindžio amplitudės priklausomybė nuo sedano pastatymo atstumo, kai šis stovi priekiu į jutiklį



3.16 pav. Bangos atspindžio amplitudės priklausomybė nuo sedano pastatymo atstumo, kai šis stovi galu į jutiklį

Sedano tipo automobiliui stovint priekiu į jutiklį matomas stiprus atspindys. Tam tikrame ruože (2,15 m—2,75 m) matomas amplitudės sumažėjimas, vėliau ji vėl pakyla. Tik nuo 3,55 m

atstumo 60° ir 77° kampuose matoma amplitudė sulig triukšmų riba, todėl automobilis jau būtų neaptiktas.

Sedano automobiliui stovint galu į jutiklį, matomas didesnės amplitudės grįžtantis signalas esant visiems atstumams išskyrus 3,55 m, kai jutiklio pakreipimo kampas yra 67° . Sedano tipo automobiliai, pagal kėbulo konstrukciją, negali būti trumpi, todėl tolimų nuotolių nuo jutiklio realiais atvejais būti neturėtų.

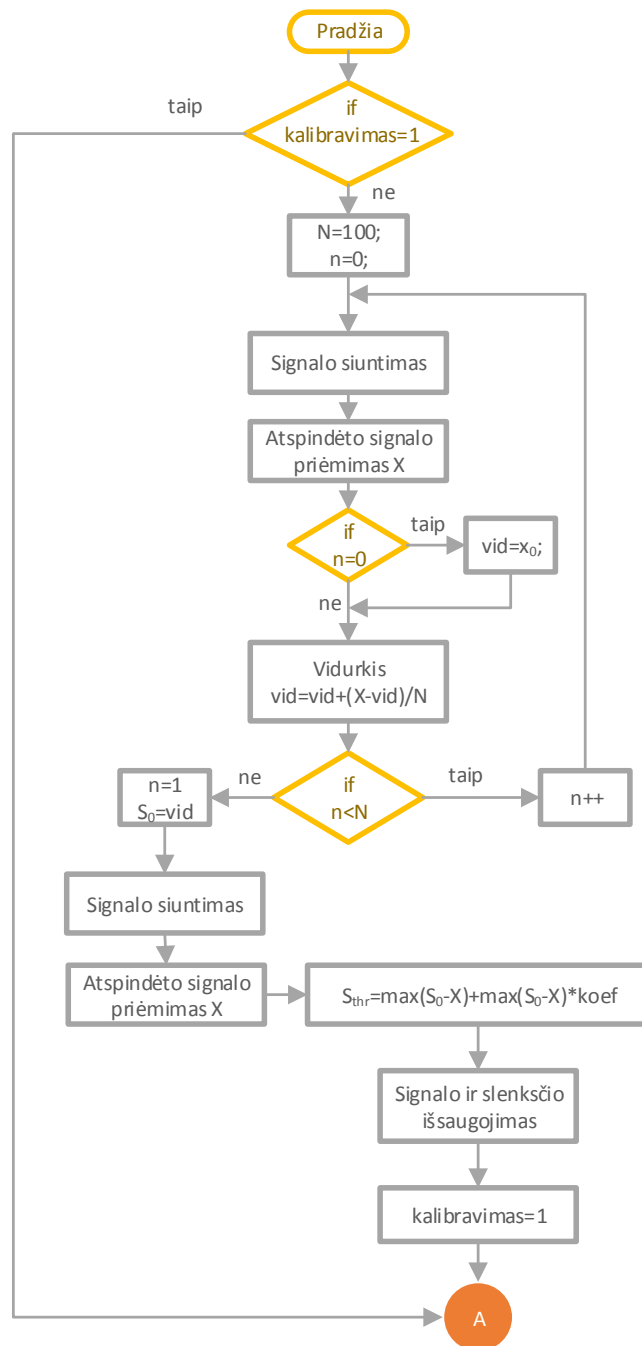
3.2.3. Matavimų apibendrinimas

Atlikus eksperimentus galime daryti išvadą, jog toks, ultragarsinis, kampu orientuotas automobilių detektavimo, jutiklis geba aptikti ir išmatuoti nuo automobilio grįžtantį ultragarso bangos signalą. Ištyrus gretimų automobilių įtaką, buvo nustatyta, jog vertikaliai orientuotas jutiklis gretimus automobilius sugeba detektuoti. Tačiau taip pasukto jutiklio spinduliavimas yra platesnis, nes su horizontalia padėtimi esančiu jutikliu grįžtančios bangos nebuvo matyti.

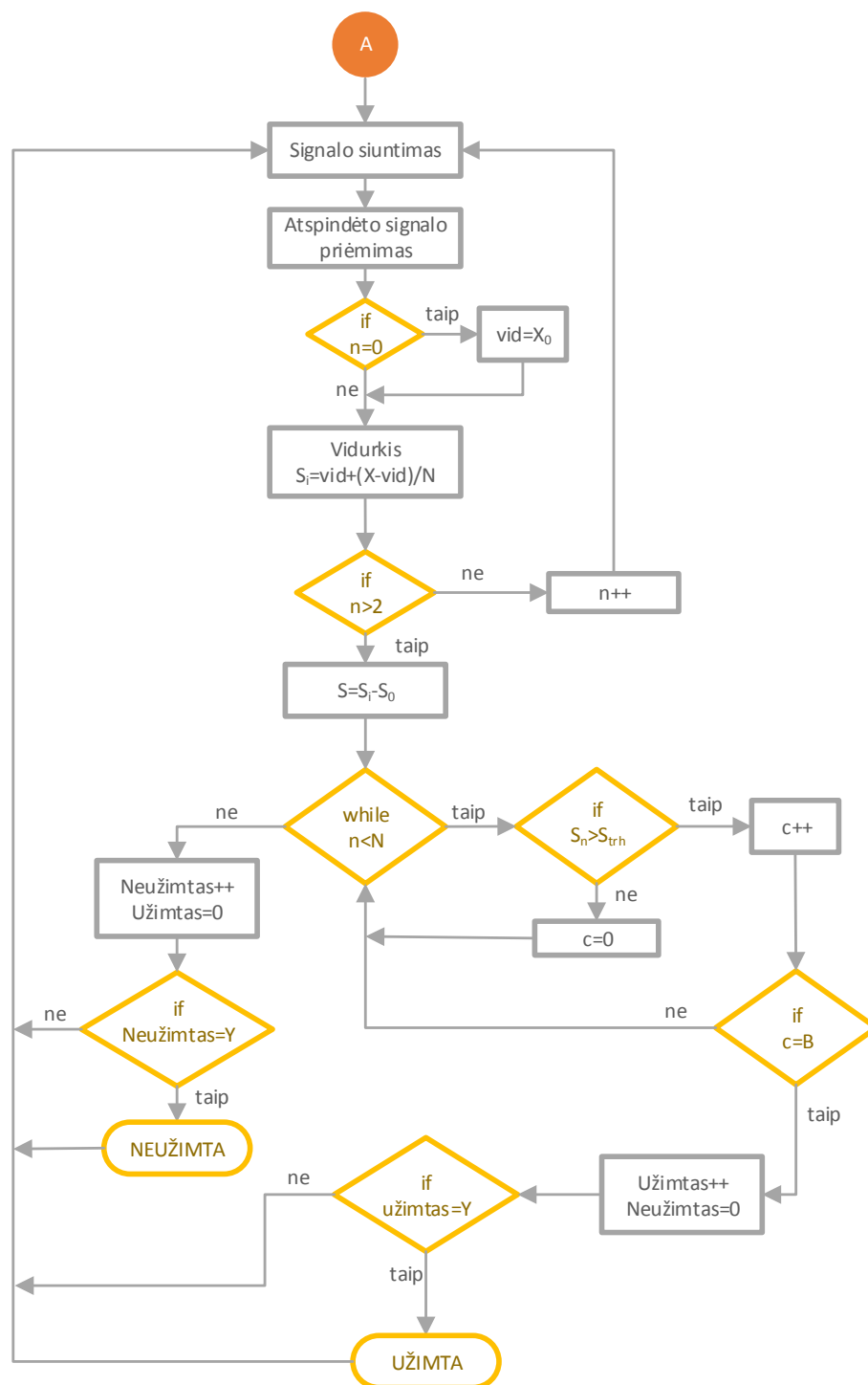
Ištyrus skirtingų automobilių detektavimą matyti, kad nuo visų tirtų trijų tipų automobilių gaunami ultragarso bangos atspindžiai. Priklausomai nuo automobilio tipo grįžtančio signalo amplitudė gerokai susilpnėja, kai automobilis nutolsta 2 metrus nuo stovėjimo vietos pradžios. Tai reiškia, kad tik itin trumpoms mašinoms gali padidėti klaidingo detektavimo tikimybė su sąlyga, kad jos bus įvažiavę iki stovėjimo vietos galo. Visais atvejais nuo visureigio tipo automobilio atsispindėję ir priimti signalai buvo aukščiau triukšmų ribos. Nuo mažesnių automobilių (sedano ir hečbeko) grįžtantis signalas priimamas su mažesne amplitude, tačiau juos vis tiek galima išskirti iš triukšmų ribos.

3.3. Veikimo algoritmas

Automobilių detektavimas pagrįstas toliau aprašytu veikimo algoritmu. Algoritmas susideda iš kelių dalių. Visų pirma jutiklis susikalibruoja (3.17 pav.). Kitas etapas - nuolatinis signalo siuntimo ir priėmimo ciklas (3.18 pav.). Šiame cikle signalas yra vidurkinamas slenkančiojo vidurkio metodu. Paskutiniame etape vyksta atspindėto signalo tikrinimas ir sprendimo priėmimas. Dviejų programos veikimo funkcijų kodai pateikiami prieduose.



3.17 pav. Algoritmo schema, jutiklio kalibravimo funkcijai



3.18 pav. Algoritmo schema ultragarso signalo siuntimui ir priėmimui

3.3.1. Kalibravimas

Jutiklio kalibravimo esmė turėti atramines atspindėto signalo vertes S_0 , kai stovėjimo vieta nėra užimta. Atraminės vertės bus naudojamos lyginant jas su gautomis darbo metu. Įjungus jutiklį patikrinama kalibravimo reikšmė. Jei ši reikšmė lygi nuliui – vykdomas jutiklio kalibravimas. Jei ši reikšmė nėra nulis, reiškia kad jutiklis šioje vietoje jau buvo sukalibruotas ir to daryti dar kartą nereikia. Jutiklio kalibravimas vykdomas siunčiant ir priimant atsispindėjusį signalą N kartų.

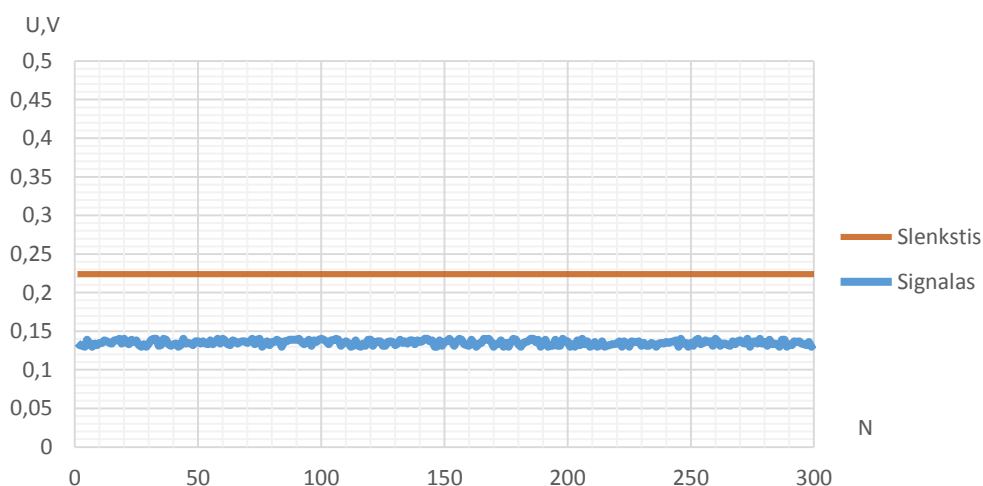
Priimamas signalas yra vidurkinamas. Vidurkinimas vykdomas slenkamojo vidurkio metodu, pagal 3.1 formulę.

$$vid = vid + \frac{(X-vid)}{N}, \quad (3.1)$$

čia X – pamatuota vidurkio reikšmė; n – matavimo numeris.

Pradinė vidurkio reikšmė lygi pirmam priimtam signalui. Pagrindinė sąlyga, vykdant kalibravimą – stovėjimo vieta, pageidautina ir visa aikštelė, turi būti tuščia. Laikantis šio reikalavimo, kalibravimo metu jutiklis priima atspindžio signalą, kuriame yra atspindžiai nuo visų objektų esančių aikštelėje ir patenkančių į jutiklio stebimą zoną. Gautas atraminis signalas nebūtinai bus visiškai tolygus ir be staigių amplitudės padidėjimų. Galimas signalo atspindys nuo aikštelės konstrukcijų – kolonų, perdangų.

Turint suvidurkintą atraminį signalą, papildomas signalo siuntimas ir priėmimas vykdomas nustatant slenksčio ribą (S_{trh}). Slenksčio riba bus naudojama lyginant ją su priimtu atspindėtu signalu nuo automobilio. Slenksčio riba nustatoma, kai iš kalibravimo metu gauto atraminio signalo atimamas papildomu matavimu išmatuotas tuščios vietos atspindžio signalas. Šio skirtumo tikslas nustatyti koks maksimalus galimas signalas bus priimamas tikrinimo metu, kai stovėjimo vietoje nebus transporto priemonės. Suradus maksimalią tuščio vietos signalo vertę, prie jos dar pridėdama *koef* (3.17 pav.) procentų to pačio signalo, apsidraudžiant, kad nedideli amplitudės padidėjimai nesukels klaidingų detektavimų. *koef* koeficientas išreikštas procentais įvedamas jutiklio kalibravimo metu atsižvelgiant į aikštelės apstatymą, vietą erdvėje. 3.19 pav. pateiktas tuščio signalo grafikas ir slenksčio riba, 40proc. didesnė už maksimalią signalo amplitudės vertę.



3.19 pav. Priimto tuščios vietos signalo grafikas su pažymėta slenksčio riba

Sėkmingai įvykdžius kalibravimo funkciją pradedamas darbinis jutiklio veikimo ciklas. Atraminis signalas ir slenksčio ribos reikšmė išsaugomi jutiklio pastoviojoje atmintyje,

nepriklausančioje nuo jutiklio maitinimo. Tai užtikrina atraminio signalo išsaugojimą net tada, kai jutiklis neteks maitinimo.

Jutiklio darbinio ciklo pradžioje atliekamas priimamų reikšmių vidurkio skaičiavimas ir signalo paruošimas tikrinimui. Vidurkio skaičiavimas atliekamas kaip ir kalibravimo metu, pagal slenkamojo vidurkio metodą. Sąlyga $n > 2$ reiškia, kad tolimesnė programa bus pradėta vykdyti tik tada, kai vidurkis bus suskaičiuotas tris kartus, t.y. bus turimas vidurkis ne tik iš pradinio signalo, o jau suskaičiuotas iš trijų priimtų signalų. Šis tikrinimas reikalingas tada, kai jutiklis paleidžiamas veikti ne pirmą kartą ir nevyksta pradinė kalibravimo procedūra. Tai sumažina neteisingo detektavimo tikimybę, jei pirmi priimti signalai būtų netikslūs ar turėtų trikdžių. Prieš vykdant tikrinimo procedūrą, iš priimto signalo (S_i) atimamas atraminis signalas (S_0) gautas kalibravimo metu. Atėmimo funkcija leidžia kompensuoti atspindžių nuo stacionarių „kliūčių“ įtaką signalui. Atraminiam signalui gaunami atspindžiai tuščios stovėjimo vietos nuo aikštelės pagrindo ar aikštelės konstrukcijų. Atėmus šiuos tuščios vietos atspindžius iš naudingo signalo, gaunami atspindžiai tik nuo naujai atsiradusių objektų – transporto priemonių, o jei jų nėra, signalo lygis bus artimas nuliui.

3.3.2. Tikrinimas

Jutikliui susikalibravus ir pradėjus tikrinimo ciklą, signalo skirtumas bus artimas nuliui, jei stovėjimo vietoje nieko nebus, arba signalo atsiradimas staigus amplitudės šuolis, kurį sukels atspindis nuo automobilio kai šis stovės stovėjimo vietoje. Signalo tikrinimas vykdomas lyginant visas ($n < N$) signalo esančias reikšmes su slenksčio riba (S_{trh}).

Jei signalo dedamoji viršija slenksčio lygį, didinama c skaitiklio vertė vienetu. Skaitiklis naudojamas tam, kad jutiklis nereaguotų į trumpalaikius impulsus signalo. Signalas turi būti pakankamo pločio amplitudės šuolis, kad atmestume triukšmų įtaką. Pasiekus B slenksčio viršijimo atvejų iš eilės didinamas kitas skaitiklis (skaitiklis *užimtas*), kuris reiškia užimtumo būseną. Šio skaitiklio didinimas reikalingas eliminuoti trumpalaikius vietos užimtumus, kai automobilis apsisukinėja arba po jutikliu praeina žmogus. Padidinus skaitiklio reikšmę, algoritmas grįžta į pradžią ir pradeda tikrinimo ciklą iš naujo. Ir tik aptikus, kad iš eilės einančiuose Y signaluose yra užimtumo požymiai, jutiklio būsena pakeičiama į užimtą. Neužimtumo būsena fiksuojama tokiu pačiu principu kaip ir užimtumo. Jei iš eilės einančiuose Y signaluose nebus aptikta vertė, kuri viršys slenksčio ribą, tada jutiklis pakeis savo būseną į neužimtas ir ciklą kartos iš naujo. Vienas matavimo ciklas trunka apytikriai 630 ms. Dėl šios trumpos matavimo trukmės reikalingas kelių iš eilės einančių signalų fiksavimas (balsavimas). Balsavimų (Y kintamojo) reikšmė parenkama eksperimentiškai. Žmogaus praėjimas po jutikliu gali trukti iki 1-2 sek, tuo

tarpu automobilio apsisukinėjimas įvažiuojant į stovėjimo vietą gali trukti apie 4-8 sek. Imant šių skaičių vidurkį gautume apie 4 sek. Pritaikius vieno tikrinimo laiką, nesunku apskaičiuoti, kad norint eliminuoti trumpalaikius vietos užimtumus, balsavimą reikėtų pakartoti 7 kartus.

3.4. Jutiklio veikimo tyrimas

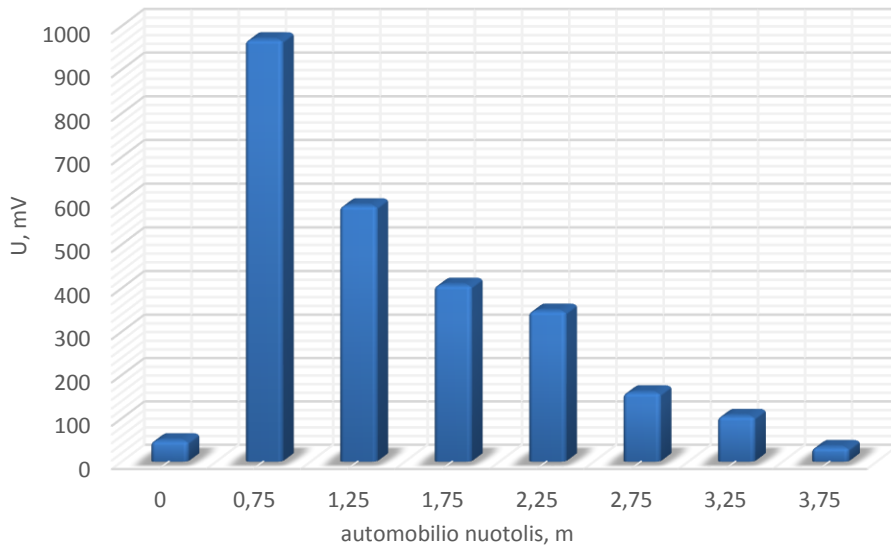
Sudarius jutiklio veikimo algoritmą ir jį pritaikius esamam automobilio jutikliui su pagamintu bangos formavimo įtaisu, jutiklis buvo išbandytas praktiškai. Bandymai buvo atliekami parinkus 67 laipsnių kampą, kurį jutiklis sudaro su aikštelės plokštuma. Šis kampas parinktas pagal 3.2.2 skyriuje gautus rezultatus, kuomet geriausias automobilių aptikimas buvo esant tokiam kampui. Eksperimentai buvo atlikti dviem metodais. Šio matavimo pagrindinis uždavinys – eksperimentiškai nustatyti slenksčio ribas ir kintamuosius, kuriems esant automobilio detektavimo paklaida bus mažiausia.

3.4.1. Išilginis matavimas

Pirmuoju matavimu automobilis buvo stumdomas išilgai jutikliui. Matavimo tikslas įsitikinti kaip jutiklis aptinka automobilius, kurie stovi arti ar netgi po jutikliu, ir taip pat trumpus automobilius, kurie gali įvažiuoti giliai į stovėjimo vietą.

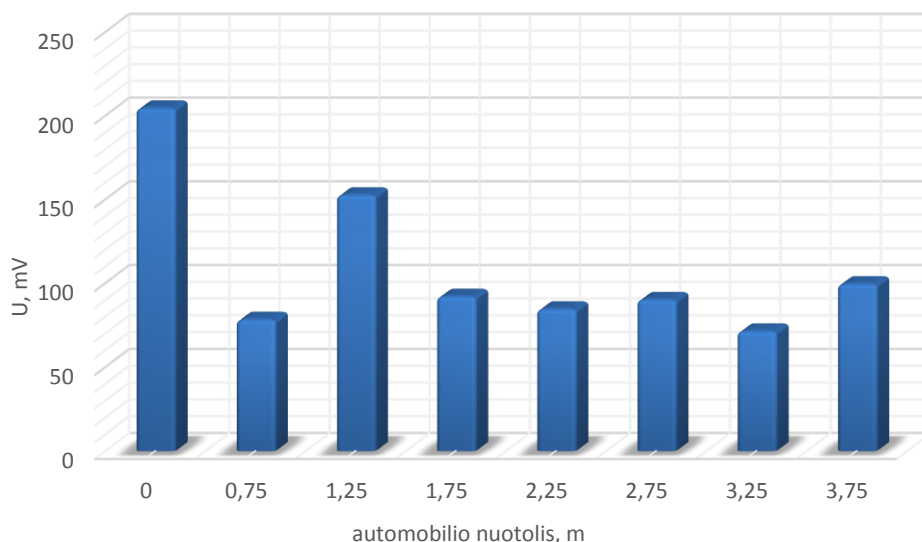
Eksperimento schema pateikta 3.10 pav. (3.2.2. skyriuje). Automobilis buvo stumiamas tolyn nuo jutiklio ir stebima priimamo signalo amplitudė ir automobilio detektavimo teisingumas. Automobilis stumiamas nuo jutiklio 3,75 m atstumu, pusės metro intervalais. Šį atstumą sudaro 1,75 m nuotolinis nuo jutiklio iki stovėjimo vietos pradžios, ir likę 2 m. automobilio postūmis stovėjimo vietoje. Atspindžio signalas fiksuojamas nuo 1,25 m, išvengiant siunčiamo signalo priėmimo.

3.20 pav. pateikti priimto signalo grafikai, kuriuose pavaizduota atsispindėjusio nuo automobilio priimamo signalo amplitudės priklausomybė nuo atstumo.



3.20 pav. Atspindėtos bangos amplitudės priklausomybė nuo automobilio atstumo iki jutiklio (hečbeko galas)

Iš 3.20 pav. matyti, kad hečbeko tipo automobiliui, kai šis stovi galu į jutiklį, atspindžio amplitudė yra atvirkščiai proporcinga atstumui iki jutiklio. Ši priklausomybė labiau primena eksponentę. Automobiliui esant arti jutiklio ar po juo (atstumas mažiau nei 1,25 m), automobilis nėra aptinkamas. Taip pat automobilis nėra aptinkamas ir nutolus daugiau kaip 2 m nuo stovėjimo vietos pradžios arba 3,75 m nuo jutiklio. Signalo atspindžio amplitudės vertė per maža, kad būtų išskiriama iš triukšmų lygio.

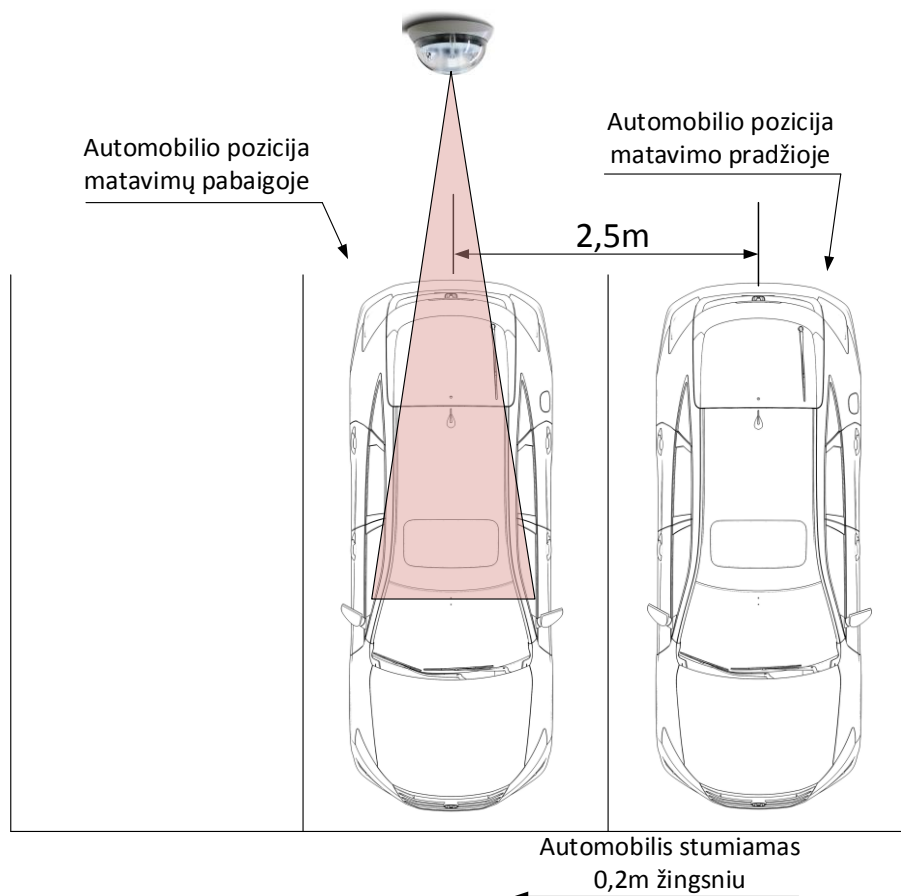


3.21 pav. Atspindėtos bangos amplitudės priklausomybė nuo automobilio atstumo iki jutiklio (sedano priekis)

3.21 pav. pavaizduota bangos atspindžio amplitudės priklausomybė nuo automobilio nuotolio, kai automobilio tipas yra sedanas ir jis atsuktas priekiu į jutiklį. Matyti, kad šiuo atveju atspindžių amplitudė ne tiesiogiai priklauso nuo automobilio nuotolio. Esant prie pat jutiklio, atspindžio amplitudė siekia tik 200 mV. Tolstant automobiliui amplitudė sumažėja, tačiau ši priklausomybė nėra tiesinė. Žemiausia grįžtančio signalo reikšmė yra 71 mV, kai automobilis nutolęs 3,25 m nuo jutiklio. Tai yra pakankama riba išskirti atspindžio signalą iš triukšmų.

3.4.2. Šoninis matavimas

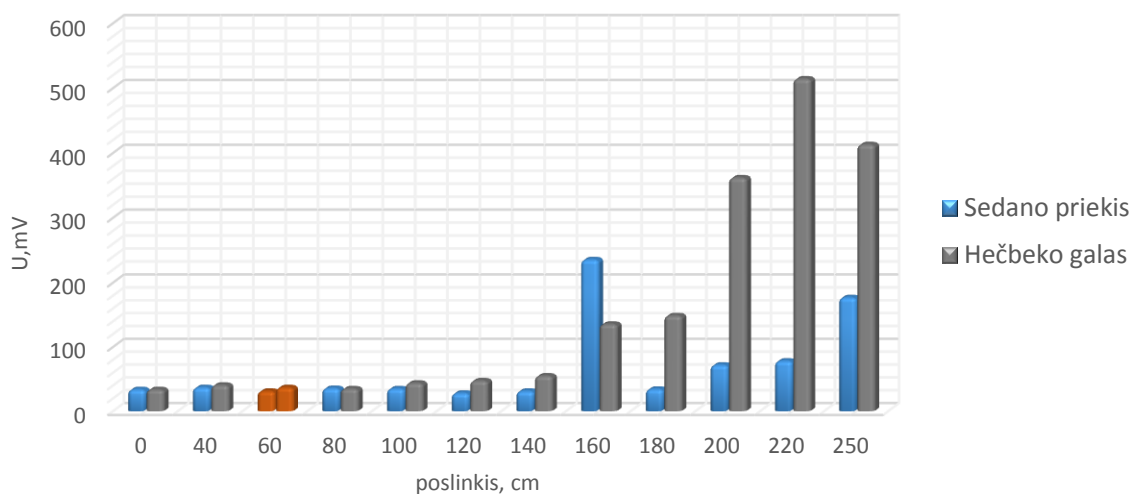
Antrasis matavimas buvo atliekamas, kai automobilis juda statmenai jutikliui. Šio matavimo tikslas nustatyti ar gretimose vietose stovintys automobiliai neturės įtakos jutikliui, jei jie stovės arti stovėjimo vietos krašto ar ant jo. Šio matavimo schema pateikta 3.22 pav.



1.22 pav. Eksperimento schema, kai automobilis buvo stumiamas išilgai jutikliui

Eksperimentas buvo pradėtas automobiliui stovint gretimos stovėjimo vietos centre. Automobilį stumiant vidutiniškai kas 20 cm, stebima priimamos bangos amplitudė. Automobilis stumiamas iki matuojamos stovėjimo vietos centro. 3.23 pav. pateiktas gautų matavimų grafikas,

matuojant dviejų tipų automobilius. Jame nurodomos maksimalių priimto signalo verčių priklausomybė nuo automobilio poslinkio jutiklio atžvilgiu.



3.23 pav. Priimamo signalo amplitudės priklausomybė nuo šoninio automobilio poslinkio

Iš eksperimento rezultatų matyti, kad automobilio postūmis daro įtaką tik nuo 160 cm. Tik esant šiam atstumui, grįžtančio signalo amplitudė viršija ribą, kuri reikalinga pakeisti jutiklio būseną į užimtą. Trečio matavimo rezultatai (60 cm poslinkis) pažymėtas raudona spalva. Esant automobiliui pastumtam į šią poziciją, jis stovi jau ant stovėjimo vietos ribos. Vadinasi visi sekantys matavimai atliekami automobiliui jau stovint gretimoje stovėjimo vietoje. Esant tolimesnėms automobilio pozicijoms matavimai nebeturi įtakos jutiklio darbui. Pastačius automobilį taip, kad jis būtų įvažiuavęs į gretimą vietą, toje vietoje jau nebebus galima statyti automobilio, vadinasi ir neužimtos būsenos rodymas neturės prasmės. Rodant užimtą būseną nebus klaidos, o rodant neužimtą – klaidos taip pat nebus, tačiau vairuotojai pasistatyti transporto priemonės negalės.

3.4.3. Matavimų apibendrinimas

Atlikus eksperimentinius matavimus su jutikliu, kuriame yra naudojamas automobilių aptikimo kamu algoritmas, buvo nustatytos ribinės koeficientų reikšmės naudojamos automobilio detektavimui. Žemiausias signalo lygis, bangai atsispindėjus nuo automobilio buvo virš 100 signalo padalų, kas atitinka 62,5 mV signalo lygį. Tuo tarpu triukšmų lygis, ar viso signalo lygis, kai stovėjimo vietoje nėra automobilio, pasiekė maksimalią 76 padalų ribą, kas atitinka 47,5 mV įtampos reikšmę. Įvertinus abu lygius, galime priimti slenksčio ribą viduryje jų, tai yra 90 padalų arba 56,3 mV.

Nustačius šią ribą buvo atlikti tyrimai, ar automobilis būna detektuojamas esant skirtingiems jo atstumams iki jutiklio, ir kaip gretimose vietose stovintys automobiliai gali daryti įtaką jutiklio darbą.

Išilginio matavimo metu, kai keitėsi automobilio pastatymo „gylis“ stovėjimo vietoje, buvo pamatuoti du automobiliai stovintys priekiu ir galu. Buvo atlikti 32 matavimai, iš kurių 2 kartus automobilis nebuvo aptiktas. Jutiklio aptikimo efektyvumas tiriant dviejų tipų automobilius buvo 94%. Automobilis nebuvo detektuojamas, kuomet jis buvo nutolęs du metrus nuo aikštelės stovėjimo vietos pradžios. Tokioje pozicijoje pastatytas gali būti tik labai trumpas automobilis, tačiau tokia situacija yra galima.

Išilginio matavimo metu nustatyta, jog gretimose vietose pastačius automobilį ant stovėjimo vietos žymės ar truputį už jos (40-60 cm postūmis nuo centro), gretimas automobilis nėra detektuojamas. Vadinasi automobilius pastačius taip, kad matuojamoje stovėjimo vietoje liktų bent minimalus tarpas pastatyti automobiliui, klaidingo suveikimo nebus, o jutiklis rodys neužimtą stovėjimo vietą. Tačiau dėl siauro vertikalaus spindulio (11°) gretimose vietose stovinti transporto priemonė bus aptinkama tik pastūmus ją 160 cm atstumu nuo gretimos vietos centro. Esant tokiam postūmiui, matuojamoje stovėjimo vietoje nebebus galima pastatyti transporto priemonės, vadinasi ir užimtumo rodymas bus teisingas. Tačiau dvi stovėjimo vietas jis užims ir pastūmus jį 120 cm nuo gretimos vietos centro. Tokiu atveju automobilis bus detektuojamas tik vienoje stovėjimo vietoje. O matuojamoje stovėjimo vietoje nebus galima pastatyti transporto priemonės, nors jutiklis rodys neužimtą stovėjimo vietą.

IŠVADOS

1. Apžvelgus rinkoje esančius parkavimo sistemų jutiklius buvo išsiaiškinta, kad plačiausiai naudojami infraraudonųjų spindulių ir ultragarso bangomis veikiantys jutikliai.
2. Modeliuojant bangos formavimo įtaisą, jo forma parinkta panaši į ruporinės antenos formą. Ją sudaro tiesi cilindrinė bangolaidinė dalis ir impedanso suderinimui skirta plėtėjanti detalės forma. Bangos formavimo įtaiso galo forma yra stačiakampis, kurio ilgesnioji kraštinė 40 mm, trumpesnioji – 13 mm.
3. Ultragarso bangos formavimo įtaiso modeliavimo rezultatas artimas užsibrėžtam teoriniam rezultatui. Gauta vėduoklės formos banga. Horizontalioje plokštumoje bangos pagrindinio lapelio plotis 17° , vertikalioje - 30° . Bangos intensyvumas 5,5 m. nuotolyje nuo antenos – 49 dB. Spinduliuojanti banga abiejose plokštumose turi šalutinius lapelius.
4. Eksperimentiškai nustatius bangos spinduliavimą su sumodeliuotu formavimo įtaisu, nustatyta, kad bangos plotis horizontalioje plokštumoje -3 dB signalo lygyje yra 11° , vertikalioje - 19° . 0 dB signalo lygis atitinka 696 mV signalo amplitudę.
5. Atlikus tiriamąjį eksperimentinį matavimą nustatyta, kad šoniniai lapeliai nei vienoje plokštumoje nedaro esminės įtakos automobilių detektavimui. Net ir esant gretimoje vietoje objektui, nuo jo atsispindėję signalai negrįžta į jutiklį. Atliekant tuos pačius tyrimus gauti rezultatai, jog nuo transporto priemonių signalas geriausiai atsispindi ir sugrįžta į jutiklį esant 67 laipsnių jutiklio pakreipimo kampui nuo vertikalios plokštumos.
6. Automobilio detektavimo algoritme numatyta kalibravimo funkcija, kuri leidžia jutikliui, pirmą kartą įjungtam naujoje stovėjimo vietoje, susikalibruoti pagal aikštelės aplinką. Automobilio detektavimas vykdomas balsavimo principu. Jei aptinkama, jog keliuose iš eilės vykusiųose matavimuose yra viršyta slenksčio riba, fiksuojama užimta stovėjimo vieta. Signalas yra nuolat vidurkinamas slenkamojo vidurkio metodu.
7. Pritaikius automobilių detektavimo algoritmą, iš atliktų eksperimentų rezultatų galima teigti, jog trijų populiarių automobilio tipų – sedano, hečbeko, visureigio – detektavimas su kampu orientuotu jutikliu galimas. 94% atvejų stovėjimo vietos būseną buvo nustatyta teisingai. Problemos gali kilti detektuojant automobilius, kurie į stovėjimo vietą jie įvažiuoja giliau nei 2 m. nuo jos pradžios.
8. Dėl siauro bangos formavimo įtaiso galo, pro kurį banga yra išspinduliuojama ir priimama, priimamos bangos amplitudė yra maža, todėl empiriškai nustatytas intervalas tarp slenksčio ir triukšmų ribos yra nedidelis, tik ~ 9 mV. Esant tokiam intervalui, prie nepalankių sąlygų (pvz. didelis vėjas), galimas jutiklio suveikimas net ir esant tuščiai stovėjimo vietai.. Siekiant

sumažinti tokių veiksmų įtaką algoritme įgyvendintas balsavimo metodas priimančiam sprendimą apie stovėjimo vietos būseną.

9. Kampu orientuoti jutikliai yra pranašesni, nei statmenai orientuoti. Šie jutikliai sumontuoti automobilių pravažiavimo viduryje gali skenuoti iš karto dvi automobilių statymo vietas. Naudojant tokius jutiklius sumažėja konstrukcijų, naudojamų jutikliams montuoti, kiekis, taip pat reikalingas mažesnis pačių jutiklių kiekis, nei naudojant statmenai orientuotus. Taip pat indikacija, rodanti būseną, geriau matoma, kai yra sumontuota pravažiavimo juostos viduryje.

NAUDOTA LITERATŪRA

1. Parking guidance system [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2014.10.29]. Prieiga per: <http://www.somfy.co.in/home/our-businesses/tertiary-access-and-security/parking-guidance-system.html>
2. ZUSHENG Zhang, MING Tao, HUAQIANG Yuan A Parking Occupancy Detection Algorithm based on AMR Sensor. IEEE Sensors Journal. 2014, 15(2), 1261-1269. Prieiga per: doi: dx.doi.org/10.1109/JSEN.2014.2362122
3. WAN-JOO Park, BYUNG-SUNG Kim, DONG-EUN Seo, DONG-SUK Kim, KWAE-HI Lee, Parking Space Detection Using Ultrasonic Sensor in Parking Assistance System. Intelligent Vehicles Symposium. 2008, 1039-1044. Prieiga per: doi: dx.doi.org/10.1109/IVS.2008.4621296
4. Inductive proximity sensor [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2014.10.30]. Prieiga per: <https://www.pc-control.co.uk/Inductive.htm>
5. GAJDA J., A vehicle classification based on inductive loop detectors. Instrumentation and Measurement Technology Conference. 2001, 18(1), 460-464. Prieiga per: doi: dx.doi.org/10.1109/IMTC.2001.928860
6. Detection of Bicycles by Quadrupole Loopsat Demand-Actuated Traffic Signals. [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2014.10.30]. Prieiga per: <http://www.humantransport.org/bicycledriving/library/signals/detection.htm>
7. Infra-Red Proximity Sensor Part 1 [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2014.11.26]. Prieiga per: <http://www.ikalogic.com/infra-red-proximity-sensor-part-1/>
8. How to build an IR Sensor [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2014.11.26]. Prieiga per: <http://maxembedded.com/2013/08/04/how-to-build-an-ir-sensor/>
9. YOUNGTAE Jo, INBUM Jung, Analysis of Vehicle Detection with WSN-Based Ultrasonic Sensors – Gangwondo. 2014, 14(8), 14050-14069. Prieiga per: doi: dx.doi.org/10.3390/s140814050
10. Acoustic logging tools [interaktyvus]. [žiūrėta 2014.11.26]. Prieiga per: http://petrowiki.org/Acoustic_logging_tools
11. Basic ultrasound, echocardiography and Doppler for clinicians [interaktyvus]. [žiūrėta 2014.12.02]. Prieiga per: <http://folk.ntnu.no/stoylen/strainrate/Ultrasound/>
12. Ultrasonic sensors [interaktyvus]. [žiūrėta 2014.12.02]. Prieiga per: http://www.ia.omron.com/support/guide/50/further_information.html
13. Longitudinal Wave [interaktyvus]. [žiūrėta 2016.04.25]. Prieiga per: <http://www.physicsclassroom.com/mmedia/waves/lw.cfm>
14. Ultrasonic Cleaning: Fundamental Theory and Application [interaktyvus]. [žiūrėta 2016.04.22]. Prieiga per: <http://www.ctgclean.com/blog/technology-library/articles/ultrasonic-cleaning-fundamental-theory-and-application/>
15. The Ultrasonic Field [interaktyvus]. [žiūrėta 2016.04.28]. Prieiga per: http://www.signal-processing.com/us_field.html

Cilindro aukštis (a1), mm	Intensyvumas, db	Kryptingumas, laipsniais	
		Vertikalus pasukimas	Horizontalus pasukimas
44	35	62	32
45	42	90	30
46	41	68	40
47	31	82	52
48	22	4	38
49	38	72	32
50	41	92	32
51	56	60	64
52	44	52	36
53	41	110	32
54	38	20	24
55	37	30	32
56	36	120	64

Kūgio pagrindo padėtis (a2), mm	Intensyvumas, db	Kryptingumas, laipsniais	
		Vertikalus pasukimas	Horizontalus pasukimas
30	50	34	20
31	38	30	8
32	40	160	60
33	10	40	60
34	72	110	34
35	48	30	110
36	67	34	66
37	48	90	28
38	46	28	48
39	48	90	28
40	42	60	28
41	30	24	0
42	32	30	8

Kūgio viršaus spindulys (a3), mm	Intensyvumas, db	Kryptingumas, laipsniais	
		Vertikalus pasukimas	Horizontalus pasukimas
18,4	52	84	60
18,6	48	60	58
18,8	50	84	60
19	44	40	60
19,2	67	20	80
19,4	56	80	62
19,6	54	70	28
19,8	52	76	30
20	50	86	28
20,2	48	82	40
20,4	48	64	32
20,6	45	60	28

Cilindro spindulys (a4), mm	Intensyvumas, db	Kryptingumas, laipsniais	
		Vertikalus pasukimas	Horizontalus pasukimas
5,4	44	54	28
5,6	48	86	34
5,8	62	78	54
6	57	64	64
6,2	67	86	26
6,4	60	72	28
6,6	54	72	30
6,8	52	86	30
7	57	78	30
7,2	43	54	28
7,4	42	32	38
7,6	37	30	30
7,8	42	120	36

Viršutinės dallies plotis (a5), mm	Intensy- vumas, db	Kryptingumas, laipsniais	
		Vertikalus pasukimas	Horizontalus pasukimas
7,9	54	20	150
8,1	53	64	64
8,3	53	64	84
8,5	52	90	86
8,7	51	60	66
8,9	42	60	62
9,1	46	120	90
9,3	58	24	64
9,5	55	40	60
9,7	50	60	60
9,9	40	60	60
10,1	70	40	60
10,3	54	60	30

Hečbekas priekiu				
		Amplitudė, mV		
Atstumas, cm	Triukšmai, mV	Kampas 1, 60°	Kampas 2, 67°	Kampas 3, 77°
175	48,83	209,96	100,12	67,14
195	48,83	64,09	222,83	58,59
215	48,83	128,17	194,75	166,63
235	48,83	76,29	227,72	122,68
255	48,83	73,85	62,88	77,51
275	48,83	65,31	104,40	60,42
295	48,83	194,09	133,70	93,38
315	48,83	56,15	48,00	74,46
335	48,83	62,26	133,70	56,15
355	48,83	48,00	47,62	48,22
375	48,83	48,00	48,00	112,92

Hečbekas galu				
		Amplitudė, mV		
Atstumas, cm	Triukšmai, mV	Kampas 1, 60°	Kampas 2, 67°	Kampas 3, 77°
175	48,83	465,09	139,16	242,92
195	48,83	240,48	599,98	260,62
215	48,83	267,94	471,19	160,52
235	48,83	242,31	303,96	125,73
255	48,83	83,62	216,06	441,28
275	48,83	121,46	100,71	323,49
295	48,83	137,94	111,08	223,39
315	48,83	46,39	122,07	151,98
335	48,83	159,91	95,21	63,48
355	48,83	84,84	47,00	106,81
375	48,83	90,94	57,37	46,39

Sedanas priekiu				
		Amplitudė, mV		
Atstumas, cm	Triukšmai, mV	Kampas 1, 60°	Kampas 2, 67°	Kampas 3, 77°
175	48,83	283,20	143,43	155,64
195	48,83	112,30	201,42	100,71
215	48,83	184,94	114,14	88,50
235	48,83	79,35	101,93	122,07
255	48,83	103,15	107,42	72,63
275	48,83	136,11	119,63	56,15
295	48,83	186,16	189,21	55,54
315	48,83	163,57	149,54	86,06
335	48,83	54,93	123,90	96,44
355	48,83	53,10	50,66	51,27
375	48,83	49,44	91,55	48,00

Sedanas galu				
		Amplitudė, mV		
Atstumas, cm	Triukšmai, mV	Kampas 1, 60°	Kampas 2, 67°	Kampas 3, 77°
175	48,83	221,56	280,76	106,20
195	48,83	151,98	211,79	59,81
215	48,83	151,37	148,32	128,17
235	48,83	127,56	115,97	104,37
255	48,83	109,86	91,55	59,20
275	48,83	134,89	115,97	95,21
295	48,83	144,65	231,32	189,82
315	48,83	67,14	83,62	98,88
335	48,83	103,76	173,95	72,63
355	48,83	54,32	48,83	51,27
375	48,83	133,06	208,74	116,58

Visureigis priekiu				
		Amplitudė, mV		
Atstumas, cm	Triukšmai, mV	Kampas 1, 60°	Kampas 2, 67°	Kampas 3, 77°
175	48,83	805,05	739,14	246,58
195	48,83	214,84	567,02	246,58
215	48,83	132,45	218,51	119,63
235	48,83	208,13	363,16	169,07
255	48,83	184,94	180,05	115,36
275	48,83	206,91	270,39	130,00
295	48,83	257,57	299,68	46,39
315	48,83	227,66	232,54	105,59
335	48,83	222,78	369,26	323,49
355	48,83	91,55	65,92	106,81
375	48,83	178,22	97,05	48,00

Visureigis galu				
		Amplitudė, mV		
Atstumas, cm	Triukšmai, mV	Kampas 1, 60°	Kampas 2, 67°	Kampas 3, 77°
175	48,83	560,91	815,43	737,92
195	48,83	300,29	218,51	210,57
215	48,83	610,96	374,76	159,30
235	48,83	587,16	276,49	109,25
255	48,83	245,97	584,72	368,04
275	48,83	642,70	347,90	350,95
295	48,83	445,56	416,26	335,69
315	48,83	81,79	324,10	121,46
335	48,83	189,21	150,76	123,90
355	48,83	77,51	133,67	271,61
375	48,83	114,75	73,24	119,02

Kalibravimo funkcijos kodas

```

REFCTL0 |= REFMSTR + REFVSEL_2 + REFON; // Enable internal 2.5V reference
ADC12CTL0 = ADC12SHT0_8 + ADC12ON;
ADC12CTL1 = ADC12SHP + 24; // enable sample timer
ADC12MCTL0 = ADC12SREF_1 + ADC12INCH_0; // ADC i/p ch A10 = temp sense i/p

ADC12IE = 0x001; // ADC_IFG upon conv result-ADCMEMO
_delay_cycles(37); // 35us init
ADC12CTL0 |= ADC12ENC;

vid_nr=1;
//100 kartu siunciamas burst ir priimamas signalas
while(vid_nr<100){
    u_flag=1;
    burst();
    therm_delay(2200); //pauzes tarp impulsu
    TA1CCTL0 = CCIE;
    ADC12IE = 0x001;
    therm_delay(50000);
    therm_delay(50000);
    if(smpl_nr>200){
        TA1CCTL0 &= ~CCIE;
        smpl_nr=0;
        vid_nr++;
    }
}
vid_nr=1;
u_flag=0;
u_max=0;

tuscia=1; //pradine reiksme
if(tuscia) {
    //saugom atramini signala
    memcpy(atraminissignalas, vidurk, 600);
    write_2_flash_buffer(flashbuff, PRADZIA_ADDRESS, 50);

    TA1CCTL0 &= ~CCIE; //timer isjungimas
    calibration_flag=1;
    activity_flag=1;
    Update_Flags();
    Flash_All();
    timer_cnt = 0;
    TA1CCTL0 = CCIE; //timer ijungiam
}
else { //jei aptiktas atspindys, kalibravimas blogas
    calibration_flag=0;
    activity_flag=0;
    Unflash_All();
}
}

```

Automobilio tikrinimo funkcijos kodas

```

for(int i=60;i<460;i++){//nuo 1,2m iki 6,2m
  Communication_task();//pagalbines funkcijos
  ledai(); //pagalbines funkcijos
  skirtumas[i]=vidurk[i]-atraminissignalas[i];
  u_greitis=334+0.6*IntDegC;
  atstumas = (float)((u_greitis*i*0.000075)/2);//atstumas
  slenkstis=(unsigned long)(koef*konst);//slenksio skaiciavimas
  //jei virsino tai zymimes
  if(skirtumas[i]>(signed short)slenkstis){
    j_virs++;
  }
  else {
    if(j_virs>2){//jei buvo bent trys virsinimai is eiles
      j_virs=0;
      piko_vieta[0]=i;
    }
    else
      j_virs=0;
  }
}

//jei yra bent vienas pikas
if(piko_vieta[0])
  car_flag_p=1;
else
  car_flag_p=0;

//jei buvo masina keiciam skaitliuka
if(car_flag_p==1)
  Fcountup++;
else
  Fcountdown++;

//kiek ciklu masina buvo, mes nustatom 5 kokius
if(Fcountup>3){
  Fcountup=0;
  Fcountdown=0;
  car_flag=1;
} //jei nebuvo is eiles keleta kartu
else if (Fcountdown>3){
  Fcountdown=0;
  Fcountup=0;
  car_flag=0;
}

```