



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Motociklininko šalmo žibinto kūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Rokas Naujalis
Projekto autorius

Doc. Robertas Keršys
Vadovas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Motociklininko šalmo žibinto kūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (6211EX021)

Rokas Naujalis

Projekto autorius

Doc. Robertas Keršys

Vadovas

Asist. Janina Jablonskytė

Recenzentė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Vardenis Pavardenis

Motociklininko šalmo žibinto kūrimas ir tyrimas

Akademinių sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Rokas Naujalis

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Išduota studentui – Rokas Naujalis

1. Projekto tema

Motociklininko šalmo žibinto kūrimas ir tyrimas

(Lietuvių kalba)

Development and Research of a Motorcyclist's Helmet Light

(Anglų kalba)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Tikslas: sukurti motociklininko šalmo žibinto modelį ir ištirti žibinto apšviestumą.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjama motociklininkų matomumo problema, išnagrinėti šalmų žibintų konstrukcijas.
2. Nustatyti žibinto funkcinius ir konstrukcinius parametrus, atsižvelgiant į saugumo, matomumo ir ergonomikos reikalavimus.
3. Sudaryti šalmo žibinto 3D modelį naudojant programą SolidWorks.
4. Ištirti žibinto apšviestumą, esant įvairiems atstumams.
5. Įvertinti gautus tyrimų duomenis, identifikuoti galimus patobulinimus ir pasiūlyti rekomendacijas dėl žibinto optimizavimo.

3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

Sukurti optimalų žibinto dizainą ir veikimo principą, įskaitant šviesos šaltinio, maitinimo ir tvirtinimo prie šalmo sprendimus.

4. Papildomi reikalavimai projektui, ataskaitai ir jos priedams

Netaikoma.

Projekto autorius

Rokas Naujalis

2025-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Projekto vadovas

Robertas Keršys

2025-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Krypties studijų
programų vadovas

Prof. Artūras Keršys

2025-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Naujalis, Rokas. Motociklininko šalmo žibinto kūrimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. Robertas Keršys; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Transporto inžinerija (E12), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: motociklas, šalmas, žibintas, šviesa.

Kaunas, 2025. 62 p.

Santrauka

Motociklai yra populiari transporto priemonė eisme. Ją galima įsigyti už prieinamą kainą, lengvai prižiūrėti. Kiekvienais metais motociklininkų skaičius eisme vis daugėja, ypač šiltuoju metų laiku. Šia priemone galima greitai įsibėgėti, pasiekti didelį greitį, atlikti manevrus, pavyzdžiui, staigiai persirikiuoti į kitą eismo juostą ar atlikti lenkimo manevrą. Tačiau panašūs veiksmai kelia grėsmę ir riziką motociklo vairuotojui bei aplinkiniams eismo dalyviams pakliūti į avariją. Motociklininko matomumas – dar viena priežastis, kodėl įvyksta eismo įvykiai. Motociklas nepasižymi dideliais gabaritais lyginant juos su automobiliais ar sunkvežimiais. Motociklo dydis lemia šviesos prietaisų kiekį ir jų dydį, tad sunku pamatyti, kai motociklininkas stabdo ar atlieka posūkio manevrą. Nors didžioji dalis avarių tarp motociklo ir kitų transporto priemonių įvyksta kaktomuša, tačiau neišvengiama avarių, kai į motociklą atsitrenkiama iš galo. Transporto institucijos įspėja saugotis motociklų vairuotojų – tikrinti akląją zoną, laikyti didesnę atstumą nuo motociklininkų. Institucijos motociklų vairuotojams rekomenduoja dėvėti ryškesnes spalvas, kad būtų geriau matomi eisme. Rinkoje galima rasti šalmo žibintų, tačiau pasirinkimas nedidelis bei ne visi žibintai sudaryti iš stabdžių, kairės ir dešinės pusės posūkių signalų. Šio darbo tikslas yra sukurti motociklininko šalmo žibinto modelį, kurį sudarytų prieš tai išvardinti signalai bei ištirti galimą žibinto apšviestumą.

Tyrimo metu atliekama žibinto apšviestumo ir matomumo tyrimas su optine programine įranga. Taip pat atliekamas realus eksperimentinis tyrimas matomumui nustatyti. Tyrimui sudarytas žibinto prototipas naudojantis SolidWorks programine įranga. Žibintas sudarytas iš korpuso, šviesos diodų, dangtelių bei parinkta reikalinga elektronika sklandžiam veikimui. Prototipas parenkamas su stabdžių, dešinės ir kairės pusės posūkių signalų žibintais. Tai leis geriau matyti motociklininko veiksmus vairuotojams, kurie važiuoja už motociklininko. Sudarytas žibinto prototipas įsikeliamas į Ansys Speos optinę programą, kurioje atliekami apšviestumo skaičiavimai bei matomumo patikrinimas skirtingais atstumais simuliuojant miesto eismo sąlygas. Simuliacijose ir skaičiavimuose naudojami iš viso keturi jutikliai, nutolę penkių metrų intervalais (5 m, 10 m, 15 m, 20 m). Vykdamas apšviestumo tyrimą, sudaromi jutikliai, kurie nurodo spindulių kiekį ir maksimalią spindulių vertę liuksais, kuri patenka ant jutiklio paviršiaus. Tiriant matomumą, sukuriama jutikliai, kurie leidžia patikrinti sukurtą žibinto matomumą bei nustatyti šviesos šaltinio skaištį. Eksperimentinio tyrimo metu nuotraukos daromos tamsiu paros metu norint nustatyti žibinto signalų matomumą. Atlikti skaičiavimai ir simuliacijos palyginamos tarpusavyje, pateikiami apšvietos ir matomumo rezultatai. Apžvelgiami gauti rezultatai, pateikiamos išvados ir rekomendacijos.

Naujalis, Rokas. Development and Research of a Motorcyclist's Helmet Light. Masters's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. Robertas Keršys; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Transport Engineering (E12), Engineering Science.

Keywords: motorcycle, helmet, headlamp, light.

Kaunas, 2025. 62 p.

Summary

Motorcycles are a popular means of transport in traffic. They are affordable and easy to maintain. The number of motorcyclists in traffic is increasing every year, especially during the warm season. It can be used to accelerate quickly, reach high speeds and perform manoeuvres such as sudden lane changes or overtaking. However, such actions pose a threat and a risk of an accident for the rider of the motorcycle and for other road users around them. The visibility of the motorcycle is another reason why accidents occur. Motorcycles do not have large dimensions compared to cars or lorries. The size of the motorcycle determines the number and size of the lights, making it difficult to see when the rider is braking or making a turning manoeuvre. Although the majority of accidents between motorcycles and other vehicles are head-on collisions, rear-end collisions are unavoidable. Transport authorities warn motorcyclists to watch out for motorcyclists by checking their blind spots and keeping a greater distance between riders. Authorities also recommend wearing brighter colours to be more visible in traffic. Helmet lights are available on the market, but the choice is limited and not all lights are chosen to include brake, left and right turn signals. The aim of this work is to develop a model of a motorcycle helmet lamp and to investigate the possible illuminance of the lamp.

The study includes a headlamp illuminance study and a visibility study with optical software. A real experimental study is also carried out to determine the visibility. A prototype of the lantern has been built for the study using SolidWorks software. The lantern consists of a housing, LEDs, covers and the necessary electronics for smooth operation. The prototype shall be selected with brake, right-hand and left-hand turn signal lamps. This will allow a better view of the rider's actions for drivers behind the rider. The prototype headlamp is then fed into the Ansys Speos optical software, where the illuminance calculations and visibility testing are carried out at different distances simulating urban traffic conditions. A total of four sensors are used in the simulations and calculations, spaced at five-metre intervals (5 m, 10 m, 15 m, 20 m). For the illuminance study, sensors are set up to indicate the amount of radiation and the maximum value in lux of the radiation incident on the sensor surface. For the visibility study, sensors shall be developed to verify the visibility of the lantern designed and to determine the luminance of the light source. During the experimental study, photographs are taken during the dark hours of the day to determine the visibility of the lantern signals. The calculations and simulations are compared with each other and the illuminance and visibility results are presented. The results obtained shall be summarised and conclusions and recommendations shall be drawn.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Įvadas.....	10
1. Literatūros analizė.....	11
2. Parametrų nustatymas.....	24
2.1. Prototipo kūrimas	24
2.1.1. Žibinto šviesos elementų kūrimas	24
2.1.2. Korpuso ir fiksatorių kūrimas.....	26
2.1.3. Reikalinga elektronika.....	27
3. Sudarytas prototipas	30
4. Tiriamoji dalis.....	32
4.1. Pasiruošimas tyrimui	32
4.2. Tyrimo eiga	32
4.2.1. Optinės detalių savybės	32
4.3. Šviesos šaltiniai	33
4.4. Jutiklių sudarymas	34
4.5. Simuliacijų parinkimas.....	37
4.6. Realus eksperimentinis tyrimas	37
5. Tyrimo rezultatai.....	38
Rezultatų aptarimas	57
Išvados	59
Literatūros sąrašas	60

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Didžiausias galvos modelio pagreitis [G], esant įvairiam kiaučio standumui ir įdėklo tankiui [19]	17
1.2 lentelė. Pagrindinės sužalojimų charakteristikos pagal turimos apsaugos lygį [29].....	19
1.3 lentelė. Įvairių transporto priemonių matmenys ir siluetų plotai	21
2.1 lentelė. Šviesos diodo (vieno vieneto) pagrindiniai parametrai [46]	29

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Kruizinis motociklas [2].....	11
1.2 pav. Standartinis motociklas [4].....	12
1.3 pav. Sportinis motociklas [6]	12
1.4 pav. Kelioninis motociklas [7]	13
1.5 pav. Labiausiai sužeistos kūno vietos avarijos metu [8].....	13
1.6 pav. Šalmų tipai [10].....	14
1.7 pav. Šalmo konstrukcija [8]	15
1.8 pav. Šalmo sudedamosios dalys – apsauginės ir [arba] komforto funkcijos [8].....	15
1.9 pav. Šalmo su FRP (kairėje) ir PC (dešinėje) kevalais deformacijos skirtumai [14].....	16
1.10 pav. Dvigubo D žiedo šalmo tvirtinimo sistemos veikimas [26].....	18
1.11 pav. Ventiliacijos sistema [8].....	18
1.12 pav. Silueto plotas – 180 laipsnių (galinis vaizdas) [33]	20
1.13 pav. „Trailstrike“ žibintas [35].....	22
1.14 pav. „Vata7 X1“ šalmas su integruotais šviesos elementais [36]	22
1.15 pav. Šalmo žibintas „BreakFree“ [37]	23
1.16 pav. Šalmo apšvietimo sistemos elektros laidų konfigūracijos schema [34].....	23
2.1 pav. Audi A6 C6 galiniai žibintai [38].....	24
2.2 pav. Dodge Charger galiniai žibintai [39].....	24
2.3 pav. Žibinto prototipo šviesų išplanavimas.....	25
2.4 pav. Žibinto šviesų stikliukai/dangteliai	25
2.5 pav. Korpuso dalys ir fiksatoriai	26
2.6 pav. Tvirtinimas iš arčiau.....	27
2.7 pav. Mikrovaldiklio plokštė [42]	27
2.8 pav. Samsung Galaxy S3 telefono baterija [43].....	28
2.9 pav. MPU6050 modulis [44].....	28
2.10 pav. Šviesos diodas Osram LW TVSG.BB-BXCY-JBNC-Z486 [46].....	29
3.1 pav. Žibinto dalių išskaidymas bei šviesos elementų išdėstymas	30
3.2 pav. Produkto vizualizacija naudojimo metu	30
3.3 pav. Gabaritiniai žibinto prototipo matmenys.....	31
4.1 pav. Jutiklių išdėstymo schema su nurodytais atstumais	32
4.2 pav. LED lempučių optinės medžiagos savybės	33
4.3 pav. Šviesos šaltinio parametrai.....	33
4.4 pav. Kairio posūkio signalo šviesos šaltinio vaizdavimas LED lemputėse	34
4.5 pav. Apšvietos jutiklis.....	34
4.6 pav. Jutiklio matmenys. X ašimi nurodytas ilgis, Y ašimi nurodytas aukštis.....	35
4.7 pav. Sėdėjimo pozicija ir šalmo žibinto tvirtinimo vieta	35
4.8 pav. Honda Civic gabaritiniai matmenys [47]	36
4.9 pav. Šalmo žibinto ir jutiklių koordinčių sistemų aukščių schema žiūrint iš šono	36
4.10 pav. Sukurtas žmogaus akies jutiklis 10 metrų atstumu	37
5.1 pav. Dešinės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 5 metrams nuo žibinto	38
5.2 pav. Dešinės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 10 metrų nuo žibinto.....	38
5.3 pav. Dešinės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 15 metrų nuo žibinto.....	38
5.4 pav. Dešinės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 20 metrų nuo žibinto.....	39

5.5 pav.	Gautos maksimalios dešinio posūkio signalo liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose.....	39
5.6 pav.	Kairės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 5 metrams nuo žibinto.....	40
5.7 pav.	Kairės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 10 metrų nuo žibinto .	40
5.8 pav.	Kairės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 15 metrų nuo žibinto .	40
5.9 pav.	Kairės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 20 metrų nuo žibinto .	40
5.10 pav.	Gautos maksimalios kairio posūkio signalo liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose	41
5.11 pav.	Stabdžių signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 5 metrams nuo žibinto.....	41
5.12 pav.	Stabdžių signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 10 metrų nuo žibinto	42
5.13 pav.	Stabdžių signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 15 metrų nuo žibinto	42
5.14 pav.	Stabdžių signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 20 metrų nuo žibinto	42
5.15 pav.	Gautos maksimalios stabdžių signalo liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose.....	43
5.16 pav.	Maksimalių liukso reikšmių palyginimas tarp įspėjamųjų signalų	43
5.17 pav.	Kairės pusės posūkio signalo matomumas esant 5 metrams nuo jutiklio	44
5.18 pav.	Kairės pusės posūkio signalo matomumas esant 10 metrų nuo jutiklio.....	44
5.19 pav.	Kairės pusės posūkio signalo matomumas esant 15 metrų nuo jutiklio.....	45
5.20 pav.	Kairės pusės posūkio signalo matomumas esant 20 metrų nuo jutiklio.....	45
5.21 pav.	Dešinės pusės posūkio signalo matomumas esant 5 metrams nuo jutiklio	46
5.22 pav.	Dešinės pusės posūkio signalo matomumas esant 10 metrų nuo jutiklio	46
5.23 pav.	Dešinės pusės posūkio signalo matomumas esant 15 metrų nuo jutiklio	47
5.24 pav.	Dešinės pusės posūkio signalo matomumas esant 20 metrų nuo jutiklio	47
5.25 pav.	Stabdžių signalo matomumas esant 5 metrams nuo jutiklio	48
5.26 pav.	Stabdžių signalo matomumas esant 10 metrų nuo jutiklio.....	48
5.27 pav.	Stabdžių signalo matomumas esant 15 metrų nuo jutiklio.....	49
5.28 pav.	Stabdžių signalo matomumas esant 20 metrų nuo jutiklio.....	49
5.29 pav.	Stabdžio matomumas nutolus per 5 metrus.....	50
5.30 pav.	Stabdžio matomumas nutolus per 10 metrų	50
5.31 pav.	Stabdžio matomumas nutolus per 15 metrų	51
5.32 pav.	Stabdžio matomumas nutolus per 20 metrų	51
5.33 pav.	Kairio posūkio matomumas nutolus per 5 metrus.....	52
5.34 pav.	Kairio posūkio matomumas nutolus per 10 metrų	52
5.35 pav.	Kairio posūkio matomumas nutolus per 15 metrų	53
5.36 pav.	Kairio posūkio matomumas nutolus per 20 metrų	53
5.37 pav.	Dešinio posūkio matomumas nutolus per 5 metrus	54
5.38 pav.	Dešinio posūkio matomumas nutolus per 10 metrų	54
5.39 pav.	Dešinio posūkio matomumas nutolus per 15 metrų	55
5.40 pav.	Dešinio posūkio matomumas nutolus per 20 metrų	55
5.41 pav.	Stabdžių signalo matomumas nutolus per 70 metrų.....	56
5.42 pav.	Posūkio matomumas nutolus per 50 metrų	56
5.43 pav.	Realaus žibinto prototipo gabaritiniai matmenys.....	57
5.44 pav.	Pakoreguotas posūkių žibintų eskizas	58

Ivadas

Šiuo metu motociklininkų sauga yra labai svarbi, nes kasmet šių vairuotojų skaičius auga. Kelyje motociklų vairuotojai privalo dėvėti apsaugos priemones: trinčiai atsparias kelnės, švarką, pirštines, batus ir svarbiausia – šalną. Šios priemonės apsaugo nuo kūno sužalojimų bei rimtų galvos sutrenkimų, tad kiekvienas motociklo vairuotojas turėtų investuoti į šias priemones norėdamas saugiai mėgautis kelione.

Tačiau motociklininkų tarpe išlieka problema – jų matomumas kelyje. Lyginant su lengvaisiais automobiliais ar sunkvežimiais, motociklo gabaritai nėra dideli ir juos pamatyti yra sunkiau, tuo labiau matyti tolimesnius veiksmus dėl mažesnio šviesos elementų dydžio. Vienas šios problemos sprendimų būtų integruoti žibintus ant šalmo, kurie pagerintų motociklo vairuotojo matomumą ir būtų galima matyti tolimesnius vairuotojo veiksmus.

Šiame darbe apžvelgta skirtingų tipų motociklai, apsaugos priemonės ir jų sandara, plačiau apžvelgta ir analizuota motociklo šalmo konstrukcija, atlikti tyrimai su jais bei žibintų analizė. Taip pat atliekamas motociklo žibinto prototipo kūrimas. Prototipą sudarys du stabdžių žibintai, kairės ir dešinės pusės posūkių signalai. Apžvelgiamos ir parenkamos gamybai reikiamos medžiagos bei elektronikos komponentai.

Temos naujumas ir aktualumas – darbe sudaromas motociklininko šalmo žibinto prototipas, kuris yra parenkamas su stabdžių ir abiejų pusių posūkių signalais bei atliekamas matomumo ir apšvietos tyrimas. Rinkoje galima rasti keletą vienetų tokio tipo žibintų, tačiau dažniausiai žibintai parenkami tik su stabdžių signalu, kurie perspėja, kai motociklininkas mažina greitį arba stabdo. Atliekant mokslinę analizę, kurioje tiriamas panašių prietaisų apšvietimas arba su apšvietimu susiję tyrimai, tyrimų rasti nepavyko.

Projekto tikslas – sukurti motociklininko šalmo žibinto modelį ir ištirti žibinto apšvietumą. Pagrindiniai tyrimo uždaviniai:

1. Išanalizuoti literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjama motociklininkų matomumo problema, išnagrinėti šalmo žibintų konstrukcijas.
2. Nustatyti žibinto funkcinius ir konstrukcinius parametrus, atsižvelgiant į saugumo, matomumo ir ergonomikos reikalavimus.
3. Sudaryti šalmo žibinto 3D modelį naudojant programą SolidWorks.
4. Ištirti žibinto apšvietumą, esant įvairiems atstumams.
5. Įvertinti gautus tyrimų duomenis, identifikuoti galimus patobulinimus ir pasiūlyti rekomendacijas dėl žibinto optimizavimo.

1. Literatūros analizė

Motociklas – tai dviratė arba triratė transporto priemonė, kuria gali važiuoti vienas žmogus, vairuotojas, arba vairuotojas kartu su keleiviu, priklausomai nuo motociklo rūšies. Šiuo metu egzistuoja nemažai motociklų rūšių. Jie tarpusavyje gali skirtis savo paskirtimi, kur ir kokiomis sąlygomis juos galima naudoti, maksimaliu galingumu ir sukimo momentu, cilindų skaičiumi, variklio darbinio tūriu, daiktadėžės dydžiu, sėdėjimo pozicija. Vieni populiariausių motociklų – kruiziniai motociklai (žr. 1.1 pav.). Šie motociklai populiariūs dėl savo žemos sėdėjimo pozicijos, todėl yra patogūs važiuoti ilgesnius atstumus tiek miesto gatvėmis, tiek važiuojant užmiestyje, kadangi jiems būdinga šiek tiek atlošta važiavimo padėtis. Kruiziniai motociklai parenkami su minkštesne pakaba, kad važiavimas būtų malonus. Taip pat jie yra lengvai tobulinami keičiant išorines motociklo kėbulo detales. Šiems motociklams būdingas didesnis sukimo momentas esant žemesniems variklio sūkiams. Tačiau sunkiau valdyti transporto priemonę, kai važiuojama posūkiais nedideliu greičiu dėl didesnės motociklo masės [1].



1.1 pav. Kruizinis motociklas [2]

Kita populiari motociklų rūšis yra standartiniai (angl. „*Street*“) motociklai (žr. 1.2 pav.). Šie motociklai yra ganėtinai paprastos konstrukcijos, patogūs, praktiški, universalūs, todėl galima naudoti tiek neilgomis kelionėms, tiek važiuojant vingiuotais keliais. Šie motociklai lengvesni, todėl yra galimybė pasirinkti norimo darbinio tūrio variklį. Paprastai šių motociklų darbinis tūris svyruoja tarp 125–1000 cm³. Pradedantiesiems vairuotojams rekomenduojama rinktis kiek mažesnio darbinio tūrio variklius, jog išmoktų valdyti motociklą, kai maksimali galia nėra tokia didelė, palyginus su didesnio darbinio tūrio standartiniais motociklais. Šie motociklai pasižymi neutralia sėdėjimo pozicija, kuri nėra skirta agresyviai ar pernelyg atpalaiduojančiam važiavimui [3, 1].



1.2 pav. Standartinis motociklas [4]

Kaip ir sportiniai automobiliai, sportiniai motociklai taip pat yra populiarus pasirinkimas tarp vairuotojų (žr. 1.3 pav.). Mažesnė kėbulo masė dėl lengvesnio lydinio metalo bei geresnė aerodinamika šiai priemonei padeda pasiekti didesnius greičius ir greičiau įveikti posūkius, tačiau jie labiau skirti patyrusiems vairuotojams. Sėdynė yra atitraukta kiek toliau, kad vairuotojas galėtų atsigulti ant degalų bako ir pasislėpti už priekinio skydelio, kad oro srautas, tekantis aplink dviratę priemonę, nepagautų vairuotojo ir jo nenumestų nuo transporto priemonės. Taip pat yra pakeltos kojų atramos, kad nekliudytų asfalto dangos, kai vairuotojas nusveria motociklą kuo arčiau žemės įveikdamas posūkį [5, 1].



1.3 pav. Sportinis motociklas [6]

Kelioniniai arba turistiniai motociklai šiek tiek skiriasi nuo prieš tai minėtų motociklų (žr. 1.4 pav.). Jiems parenkamas papildomas krepšių ir bagažo skyrius, norint susidėti daugiau daiktų ilgesnei

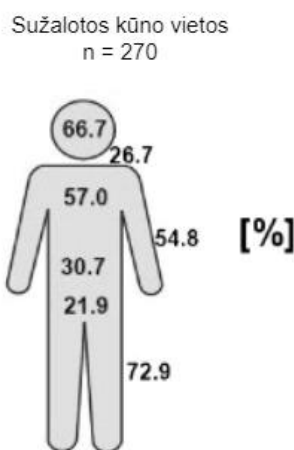
kelionei. Parenkamas didesnis priekinis skydelis, norint užtikrinti geresnę apsaugą nuo vėjo, bei didesnis kuro bakas, kad būtų galima nuvažiuoti didesnę atstumą be papildomo kuro užpylimo. Šiems motociklams būdinga neutrali, labiau vertikali sėdėjimo pozicija, kad kūnas nepavargtų važiuojant ilgus atstumus. Turistiniai motociklai turi didesnius variklius, kuriems būdingas didesnis sukimo momentas. Taip galia perduodama sklandžiai ir tolygiai [1, 3].



1.4 pav. Kelioninis motociklas [7]

Dėl savo konstrukcijos motociklai yra mažiausiai apsaugoti kilus avarinei situacijai lyginant su automobilių vairuotojais, kuriuos saugo automobilio kėbulas bei kitos apsaugos priemonės: oro pagalvės, saugos diržai, stiklai. Apskaičiuota, jog motociklo vairuotojai turi 30 kartų didesnę tikimybę susižeisti ar net žūti lyginant su automobilio vairuotojais. Besivystančiose šalyse, kur dviratės transporto priemonės yra pagrindinė susisiekimo priemonė, mirčių skaičius siekia 90 % [8]

1.5 pav. galima matyti, kokios kūno vietos procentiškai nukenčia avarijos metu: dažniausiai patiriamos traumos galvos (66,7%), kojų (72,9%), rankų (54,8%) ir krūtinės (57%) srityse. Kiek mažiau sužeidimų patiriama pečių (26,7%), dubens (21,9%), pilvo (30,7%) srityse. Sprendžiant iš pateiktos nuotraukos, galima matyti, jog viso kūno apsaugos priemonės yra esminis dalykas, norint apsaugoti save ir išvengti rimtų traumų.



1.5 pav. Labiausiai sužeistos kūno vietos avarijos metu [8]

Svarbiausia apsaugos priemonė, kurią turi dėvėti motociklininkas, yra šalmas. Atsižvelgiant į kitas kūno vietas, galvos sritis yra esminė ir ją būtina tinkamai apsaugoti. Šalmo paskirtis yra sumažinti smūgio energiją, kuri per galvos odą patenka į kaukolę ir vėliau į minkštuosius smegenų audinius. Tokiu būdu šalmas sumažina galvos ir smegenų pažeidimus, kurie yra pagrindinė mirtingumo priežastis [8]. Be to, ši apsaugos priemonė apsaugo nuo išorės veiksnių: vėjo, dulkių, purvo ar lietaus. Šalmai dažniausiai būna (žr. 1.6 pav.):

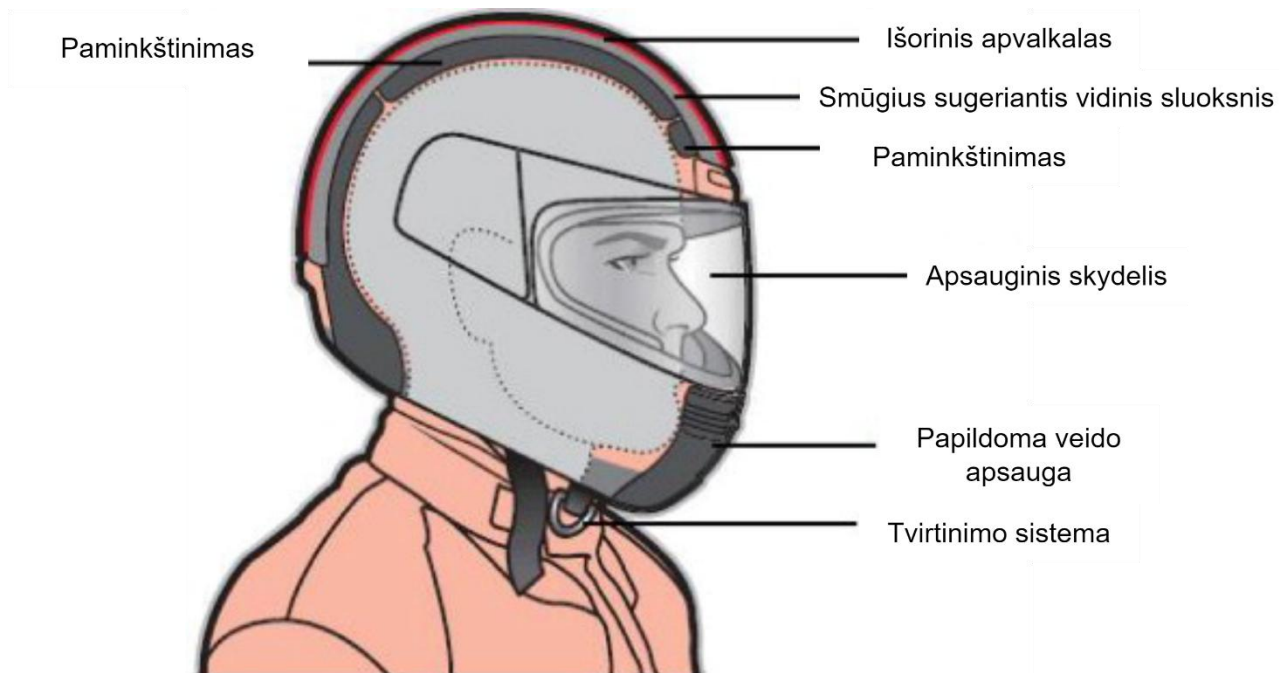
- uždari, kai apsaugoma galva ir veido sritis;
- atverčiami, kai pasikelia priekinė šalmo dalis ir apnuoginama veido sritis;
- atviri veido šalmai, kai dengiama tik galvos sritis, o veido sritis lieka atvira;
- bliudelio tipo šalmai, kurie dengia tik viršutinę galvos dalį;
- krosiniai šalmai, kurie skirti važiuoti bekele [9].



1.6 pav. Šalmų tipai [10]

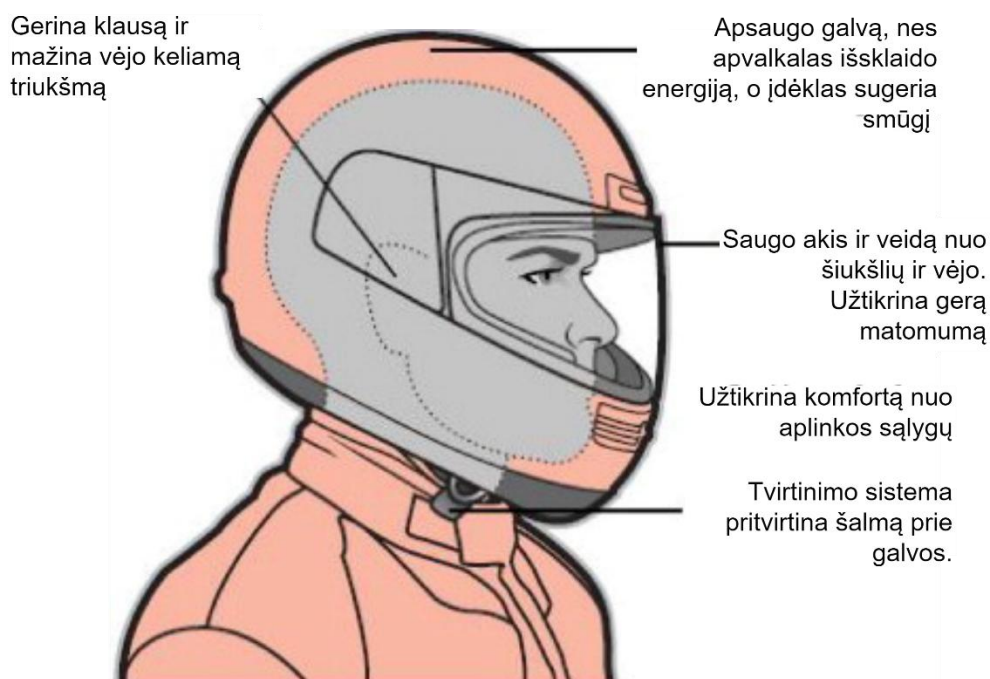
Šalmo konstrukcija susideda iš šešių pagrindinių sudedamųjų dalių (žr. 1.7 pav.):

- plono ir kieto išorinio apvalkalo;
- storo ir minkšto, smūgius sugeriančio vidinio sluoksnio;
- paminkštinimo;
- tvirtinimo sistemos;
- apsauginio skydelio;
- vėdinimo sistemos [8].



1.7 pav. Šalmo konstrukcija [8]

Šalmo komponentų suteikiama apsauga ir komfortas nurodytas 1.8 pav.



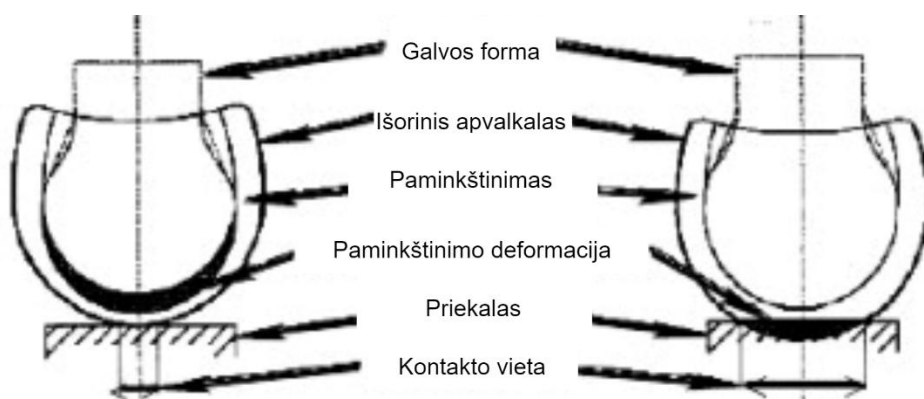
1.8 pav. Šalmo sudedamosios dalys – apsauginės ir [arba] komforto funkcijos [8]

Išorinė šalmo dalis yra atsakinga už apkrovos paskirstymą dideliame šalmo plote sumažinant koncentruotus smūgio įtempius susidūrimo metu. Išorinis sluoksnis dažniausiai padengiamas kompozitine medžiaga, kuri yra stipri ir gali atlaikyti smarkų susidūrimą. Išoriniam sluoksniui naudojama termoplastikai, pavyzdžiui, polikarbonatas (PC), akrilonitrilo butadieno stirenas (ABS) arba kompozitinės medžiagos, pavyzdžiui, pluoštu sustiprinto plastiko (FRP), kaip stiklo pluoštu armuotas plastikas (GRP), anglimi armuotas plastikas (CRP), anglies pluoštas ar kevlaras [8]. Iš

termoplastinių medžiagų pagaminti apvaskalai yra izotropiniai, o FRP apvaskalai pasižymi anizotropine medžiagos elgsena apvaskalo plokštumoje [11].

Įvykus susidūrimui, paminkštėjimo putos visiškai suyra, o neabsorbuota energija perduodama į galvos sritį, todėl susidaro itin didelės smūgio jėgos. Šios smūgio jėgos sumažės, jei bus kitas mechanizmas, kuris galės sugerti energiją [8]. Viena iš galimybių – turėti išorinį apvaskalą, kuris smūgio metu sugeria šiek tiek papildomos energijos [12]. Dėl šios savybės kompozitinės medžiagos yra labiau tinkamos šalmo kevalams, kadangi gali sugerti energiją dėl pažeidimo procesų: pluošto lūžimo, matricos įtrūkimo ir atsisluoksniavimo. Esminis kompozitų privalumas yra tas, kad jie gali sugerti daugiau energijos trūkimo metu nei termoplastiniai išoriniai kevalai. Termoplastiniai kevalai gali sugerti energiją ir dėl išlinkimo, ir dėl nuolatinės plastinės deformacijos, tačiau tik nedideliais kiekiais, palyginti su kompozitiniais kevalais, darant prielaidą, kad suveikia energijos sugerties procesai, kurie daugiausia priklauso nuo kompozito pluošto trūkimo [13].

Korpuso standumas pasižymi didele įtaka bendroms šalmo dinaminėms charakteristikoms. Vienas tyrimas parodė, jog FRP kevalo standumas yra didesnis nei termoplastinio kevalo. Eksperimentiškai palyginus abu kevalus, standus FRP išorinis kevalas pasižymėjo nedidele deformacija, o daugiausiai energijos sugėrė putplasčio deformacija (žr. 1.9 pav.) [14]. Kiti mokslininkai tyrė ABS ir GRP deformacijos mechanizmus ir priėjo prie tos pačios išvados, jog kompozitiniai apvaskalai deformuojasi mažiau nei termoplastiniai. Tačiau nustatyta, kad smūgio jėgos su pluoštiniais kompozitiniais šalmų kevalais yra didesnės negu su termoplastiniais kevalais [15].



1.9 pav. Šalmo su FRP (kairėje) ir PC (dešinėje) kevalais deformacijos skirtumai [14]

Kompozitinis išorinis sluoksnis yra standesnis, o tai gali lemti didelį pagreitį esant mažos energijos smūgiams, nes jų gebėjimas sugerti energiją priklauso nuo pluošto trūkimo. Tačiau kompozitai yra veiksmingesni, kai smūgio jėga yra didelė [16]. Mokslininkai įrodė, kad atsisluoksniavimui reikia didelės smūgio energijos, ir pažymėjo, kad smūgio jėgos su pluoštiniais kompozitiniais šalmų kevalais yra gerokai didesnės nei su termoplastiniais kevalais [15]. Kiti mokslininkai atliko smūginius bandymus su įvairių formų priekalo formos motociklininkų šalmais su GRP apvaskalu. Mokslininkų teigimu, GRP kevalai efektyviai paskirsto apkrovą nepriklausomai nuo to, ar jie yra bortelio, briaunos tipo ar plokšti [17].

Kita vertus, esant nedidelės energijos smūgiams, termoplastinis išorinis sluoksnis, pavyzdžiui, polikarbonatas, gali būti veiksmingesnis, pasižymintis didesnėmis apsauginėmis savybėmis nesant tokiam standžiam išoriniam sluoksniui [18]. Šį faktą patvirtina ir kitų mokslininkų tyrimai. Viena iš tyrimų buvo testuojama išorinio sluoksnio medžiagos ir kaip jos veikia žmogaus galvos akceleraciją

šalmo viduje. Tyrimo metu naudoti šalmai su keturiomis skirtingomis išorinio apvalkalo medžiagomis: didelio tankio polietilenas (HDPE), akrilonitrilo butadieno stirenas (ABS), polikarbonatas (PC), pluoštu sustiprintas plastikas (FRP). Buvo atlikti smūgio amortizacijos bandymai, kai smūgio greitis buvo 5,6 m/s, 8,3 m/s ir 11,1 m/s [19]. Gauti rezultatai nurodyti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Didžiausias galvos modelio pagreitis [G], esant įvairiam kiaušto standumui ir įdėklo tankiui [19]

Išorinio sluoksnio medžiaga	HDPE			ABS			PC			FRP		
Įdėklo tankis [kg/m ³]	24	44	57	24	44	57	24	44	57	24	44	57
Mažas greitis [5,6 m/s]	114	157	186	126	176	185	132	196	208	141	219	248
Vidutinis greitis [8,3 m/s]	164	174	301	174	288	290	175	286	299	179	292	334
Maksimalus greitis [11,1 m/s]	–	466	537	–	456	514	–	412	491	–	371	437

Iš rezultatų galima matyti, kad mokslininkų išvados pasiteisina, jog esant mažesniems greičiams, termoplastinės medžiagos išorinio sluoksnio šalmai lemia mažesnį galvos pagreitį šalmo viduje. Tačiau esant didesniems greičiams, kaip buvo minėta anksčiau, kompozitinės medžiagos šalmo išorinis sluoksnis yra saugesnis nei termoplastinis išorinis sluoksnis.

Smūgio metu gniuždant ir pailginant galvos stabdymo atstumą bei trukmę, vidiniu įdėklo putplasčiu siekiama sugerti likusią smūgio jėgą, kurią išorinis sluoksnis galėjo sugerti ir iš dalies išsklaidyti. Taip sumažinama galvai perduodama apkrova, galvos judėjimas ir sugerama didžioji smūgio dalis [8]. Mokslininkų atliktų tyrimų viena iš išvadų buvo ta, kad putų, naudojamų kaip vidinis apvalkalas, tamprumo riba turi didžiausią įtaką galvos traumos kriterijaus (angl. trump. HIC) atsakui, tačiau jų Jungo modulis turi didžiausią įtaką biomechaniniam galvos atsakui [20]. Įkloto tankis taip pat svarbi savybė, nes tiesiogiai veikia tamprumo įtempį, kuriam esant putplastis sutrupa [21]. Šiuo metu labiausiai paplitusi apsauginių šalmų įdėklo medžiaga yra EPS putplastis, kuris yra sintetinė akvė medžiaga, pasižyminti puikiomis smūgius sugeriančiomis savybėmis, kainos ir naudos santykiu. Šios medžiagos tankis svyruoja maždaug nuo 30 iki 90 kg/m³ [22, 23].

Patogų paminkštinimą sudaro pakankamai kietas putplastis, padengtas audinio sluoksniu, kuris priglundą prie galvos ir ją apgaubia. Šis vidinis patogus putplastis paprastai gaminamas iš minkštų ir lanksčių nedidelio tankio putų, pavyzdžiui, polivinilchlorido (PVC) [23]. Paskirstydami statines kontaktines jėgas, jie užtikrina patogumą ir tinkamą šalmo pritaikymą. Statinės kontaktinės jėgos pasiskirstymas yra svarbus siekiant išvengti galvos skausmo [24]. Mokslininkų pasiūlytos kitos medžiagos, tokios kaip vilna, kurią naudojo kurdami naują ir patogų motociklininko šalmo vidinį įdėklą. Pasak autorių, naujas dizainas su natūraliais pluoštais pagerina prakaito sugėrimą ir šiluminio komforto suvokimą. Naudojant natūralias medžiagas, jos gali palengvinti kvėpavimą ir greičiau išgarinti drėgmę. Tai užtikrina komfortą ir gerą savijautą [25].

Tvirtinimo sistema skirta laikyti šalną ant galvos. Visi šalmai privalo turėti tvirtinimo sistemą. Dirželis dažniausiai gaminamas iš nailono arba polietileno tereftalato (PET) [8]. Saugiausia ir dažniausiai naudojama tvirtinimo sistema – dvigubas D (angl. *Double D*). Joje dirželis veriamas per dviejų žiedų centrus, tada per išorinį žiedą ir atgal per vidinį žiedą (žr. 1.10 pav.) [26].



1.10 pav. Dvigubo D žiedo šalmo tvirtinimo sistemos veikimas [26]

Apsauginis skydelis gaminamas iš patvarios skaidrios medžiagos, pavyzdžiui, polikarbonato. Skydelis padengtas danga, atsparia vandeniui ir įbrėžimams, saugo veidą nuo lietaus, nuolaužų ir kitų veiksnių. Taip pat užtikrina gerą matomumą [8, 27]. Ventiliacinė sistema leidžia išeiti iškvėptam orui ir drėgmei bei leidžia šviežiam orui patekti į šalną, taip sumažinant temperatūrą šalmo viduje.



1.11 pav. Ventiliacijos sistema [8]

Kita svarbi motociklo vairuotojo apsaugos dalis yra speciali apranga. Ji susideda iš pirštinių, kelnių, švarko, batų. Tinkama apranga, kaip ir šalmas, gali sumažinti avarijos padarinius. Apranga gaminama iš specialių medžiagų, todėl yra atsparesnė trinčiams negu įprastiniai drabužiai, tad slystant asfaltu ar kitu paviršiumi apranga leidžia apsaugoti odą nuo žaizdų ir nubrozdinimų [28]. Iš analizuotos literatūros matyti, jog speciali apranga gali palengvinti sužeidimus arba išvengti gydymo patyrus avariją. Vienas atliktas tyrimas parodė, kaip nuo specialios aprangos priklauso patiriamos traumos, jų sunkumas, būsimas gydymas (žr. 1.2 lentelė). Šiame tyrime surinkti duomenys yra iš nukentusių, kurie buvo neapsaugoti (užsidėję tik šalną), dalinai apsaugoti (užsidėję šalną ir vilkėjo tik švarką), pilnai apsaugoti (mūvėjo pilną aprangą). Apibendrinus rezultatus galima matyti, kad motociklininkai, kurie mūvi pilną apsauginę aprangą, daug rečiau kreipiasi į gydytojus, patiria lengvesnius sužalojimus bei mažiau nukenčia jų galūnės [29].

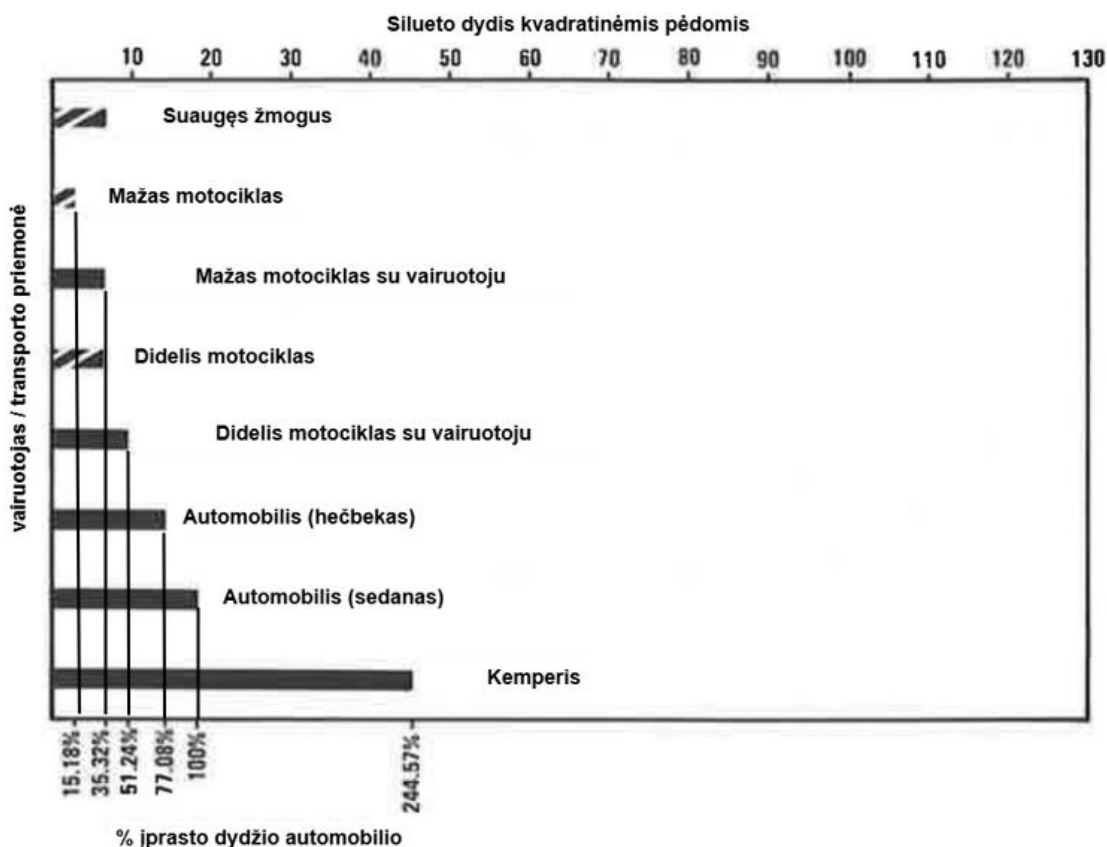
1.2 lentelė. Pagrindinės sužalojimų charakteristikos pagal turimos apsaugos lygį [29]

	Apsaugos lygis		
	Neapsaugotas % (n=19)	Dalinai apsaugotas % (n=80)	Pilnai apsaugotas % (n=47)
Būtinasis medicininis gydymas			
Gydymas netaikomas	105	16,3	17
Suteikta bendroji pagalba	5,3	13,8	19,1
Skubios pagalbos skyrius	42,1	48,8	51,1
Paguldintas į ligoninę	42,1	21,3	12,8
Sužalojimų tipai – įsijrovimai/nubrozdinimai			
Galva	5,3	6,3	6,4
Viršutinė liemens dalis	0,0	0,0	0,0
Rankos/pečiai	57,9	26,3	23,4
Plaštakos	31,6	22,5	12,8
Apatinė liemens dalis	10,5	6,3	4,3
Kojos	52,6	55,0	29,8
Pėdos	10,5	15,0	10,6
Didžiausias sužalojimo sunkumas (MAIS)			
Jokių sužalojimų	0,0	1,3	2,1
MAIS 1[nedidelis sužalojimas]	63,2	72,5	76,6
MAIS 2 [vidutinis sužalojimas]	26,3	17,5	19,1
MAIS 3–6 [rimtas, sunkus sužalojimas]	10,5	8,8	2,1

Motociklas yra nedidelė, ganėtinai lengva transporto priemonė lyginant su kitomis transporto priemonėmis, pavyzdžiui, automobiliais ar sunkvežimiais, tačiau gana galinga, nes gali greitai akceleruoti ir pasiekti didelę greitį. Nepaisant to, dėl savo nedidelės masės ir didelio galios santykio, yra pavojinga, ypač ant drėgnos kelio dangos, kadangi motociklininkai važinėja su padangomis, skirtomis sausai dangai. Šiuo metu ši dviratė transporto priemonė yra populiari, nes galima įsigyti už prieinamą kainą bei pigiai prižiūrėti. Deja, didėjant motociklininkų skaičiui, didėja avarijų skaičius. Tikimybė, jog motociklo vairuotojas patirs avariją yra 6-13 kartų didesnė nei kitos transporto priemonės vairuotojas [30]. Dažniausiai motociklų avarijos įvyksta dėl paties motociklininko kaltės. Pagrindinės to priežastys – staigus persirikiavimas per eismo juostas arba pasirinktas nesaugus greitis. Vairuotojai yra įspėjami stebėti motociklininkus ir jų veiksmus. Dėl mažesnio dydžio motociklas nėra matomas automobilių aklojoje zonoje. Taip pat reikia stengtis palaikyti didesnę atstumą nuo priešais važiuojančio motociklo. Nors didžioji dalis avarijų tarp motociklų ir kitų transporto priemonių vyksta kaktomuša, tačiau neišvengiama susidūrimų, kai į motociklą atsitrenkiama iš nugaros. Pasak JAV nacionalinės greitkelių eismo saugumo administracijos (angl. *NHTSA*), 2021 metų statistika teigia, jog 3471 (57%) iš 6082 motociklų, patekusių į mirtinus eismo įvykius, dažniausi buvo susidūrimai su transporto priemonėmis. Dviejų transporto priemonių susidūrimo metu 75 proc. motociklų, patyrusių mirtinas avarijas, susidūrė kaktomuša. Tik 8% transporto priemonių buvo susidūrusios iš galo [31]. Pagal 2022 m. statistiką 3687 (58%) iš 6359 motociklų, dalyvavusių mirtinose avarijose, didžiausią žalą sukėlę įvykiai taip pat buvo susidūrimai su transporto priemonėmis. Dviejų transporto

priemonių susidūrimo metu mirtinuose susidūrimuose 77% dalyvavusių motociklų buvo atsitrenkta į priekį. Tik 6% transporto priemonių buvo susidūrusios iš galo [32]. Pati NHTSA įspėja motociklų vairuotojus pasirūpinti savo saugumu: naudodami gerai matomas spalvas ir šviesą atspindinčias medžiagas, kad aplinkiniai vairuotojai galėtų geriau juos matyti.

Motociklo nematomumas yra dar viena priežastis, dėl kurios įvyksta motociklo ir automobilio susidūrimai. Matomumo trūkumą lemia skirtingos oro sąlygos: krituliai, rūkas, stiprus vėjas. Taip pat dėl motociklo konstrukcijos ir mažesnio dydžio gali būti netiksliai įvertintas jo greitis, todėl dažnai gali būti neteisingai apskaičiuojamas lėtėjimo greitis ir reakcijos į stabdymą trukmė. Be to, motociklininko apsauginės įrangos spalvos paprastai būna neryškios ir nesudaro didelio kontrasto su aplinka, ypač naktį. Naktį įvertinti motociklo atstumą ir greitį vairuotojui yra daug sudėtingiau nei dieną [33]. Viena tyrimų palyginima, kaip skiriasi silueto sritis tarp skirtingų dydžių motociklų bei automobilių tipų. Tyrimo pateikiami siluetai rezultatai iš skirtingų kampų, tačiau šiuo atveju aktualiausias rezultatas – koks silueto plotas žiūrint iš galo. Procentinis palyginimas nurodomas 1.12 pav. Tyrimo metu naudojamų transporto priemonių ir asmens matmenys bei kiti rezultatai pateikiami 1.3 lentelėje.



1.12 pav. Silueto plotas – 180 laipsnių (galinis vaizdas) [33]

Motociklo ir jo vairuotojo matomas plotas siekia maždaug trečdalį lyginant su įprastiniu automobiliu. Taip pat 1.12 pav. galime matyti, jog suaugusio žmogaus silueto plotas yra labai panašaus dydžio, lyginant nedidelį motociklą su vairuotoju.

Tyrimo autoriai siūlo naudoti gerai matomas ir kontrastingas priemones, pavyzdžiui, oranžinės spalvos elementus. Jie turi būti pakankamai dideli, kad būtų lengvai pastebimi. Ryškesnis šviesos plotas geriau perteiktų santykinę atstumą ir motociklininko judėjimo greitį [33].

1.3 lentelė. Įvairių transporto priemonių matmenys ir siluetų plotai

Transporto priemonė	Aukštis (m)	Plotis (m)	Ilgis (m)	Silueto plotas (m ²)					Kompozitinis vidurkis (m ²)
				(0°)	(45°)	(90°)	(135°)	(180°)	
Suaugęs žmogus	1,79	0,64	0,38	0,63	0,48	0,44	0,54	0,63	0,53
Mažas motociklas	1,59	0,77	1,97	0,27	0,82	0,95	0,82	0,27	0,63
Mažas motociklas su vairuotoju	1,59	1,47	1,97	0,64	1,21	1,25	1,18	0,64	0,98
Didelis motociklas	1,40	0,77	2,26	0,57	1,32	1,39	1,29	0,57	1,03
Didelis motociklas su vairuotoju	1,79	0,77	2,26	0,80	1,58	1,73	1,58	0,80	1,30
Hečbekas (Volkswagen)	1,47	1,47	3,82	1,33	2,89	3,27	3,05	1,33	2,37
Sedanas (1969 Oldsmobile)	1,47	1,91	5,35	1,64	4,32	4,59	3,43	1,64	3,12
Kemperis (Ford pikapas su kemperiu)	2,87	2,10	5,73	4,31	9,12	11,23	11,59	4,31	8,12

Matomumą galima pagerinti padidinant šviesos prietaisų dydį ar naudojant ryškesnes spalvas [30]. Didesni apšvietimo elementai gali pagerinti matomumą, tačiau reiktų keisti originalius prietaisus į nestandartinius. Tai kainuotų papildomai, be to, ne visos detalės gali tikti į standartinės vietos. Vairuotojai būtų labiau matomi, jei vilkėtų ryškias, šviesą atspindinčias liemenes. Tačiau dauguma motociklo vairuotojų vengia jas vilkėti, kadangi tai nėra stilinga ir atrodo keistai. Norint pasiekti geresnį matomumą, galima išnaudoti motociklininko šalną.

Motociklų žibintai yra įprasta įranga ir veikia kaip lengvųjų transporto priemonių žibintai. Kaip ir lengvuosiuose automobiliuose, motociklo apšvietimo sistemą sudaro priekiniai ir galiniai bei stabdžių ir posūkių žibintai. Tačiau tarpusavyje palyginus automobilių ir motociklų galinio apšvietimo sistemas, dviratės transporto priemonės galinio apšvietimo sistemos nusileidžia kitoms transporto rūšims dėl savo mažesnio dydžio. Motocikluose dažniausiai naudojamas vienas galinis žibintas, todėl aplinkiniams vairuotojams gali būti sunku įvertinti stabdymą ir nustatyti saugų atstumą. Be to, motociklų vairuotojai stabdo rečiau nei kitų tipų transporto priemonių vairuotojai. Daugelis jų lėtėja nenaudodami stabdžių ir naudojasi variklio stabdymu, kai yra atleidžiama akceleratoriaus rankena ir paliekama įjungta pavara. Galima daryti prielaidą, jog motociklams yra reikalingas papildomas žibintas arba žibintai. Papildomo žibinto panaudojimas būtų efektyvus, jei būtų montuojamas arba tvirtinamas tokioje vietoje, kur kiti vairuotojai galėtų juos tiesiogiai matyti. Vieta, kurioje būtų tvirtinamas žibintas, būtų dviratės transporto priemonės vairuotojo galvos lygyje [34].

Šiuo metu galima rasti įvairių apšvietimo sistemų, kurias gali naudoti dviračių bei motociklų vairuotojai. Galima įsigyti kraunamus žibintus, kurie yra priklijuojami prie paties šalmo, o išsikrovę pakraunami iš elektros lizdo. Pirmieji žibintai turi keletą režimų: gali nuolat skleisti šviesą arba mirksėti skirtingais intervalais. Tokie šviestuvai nepasižymi dideliais gabaritais, yra paprastos konstrukcijos, pigūs, sudaryti iš nedidelio kiekio šviesos diodų, nėra estetiškai ir patrauklūs. Vienas tokių pavyzdžių yra „TrailStrike“ šalmo saugos žibintas (žr. 1.13 pav.).

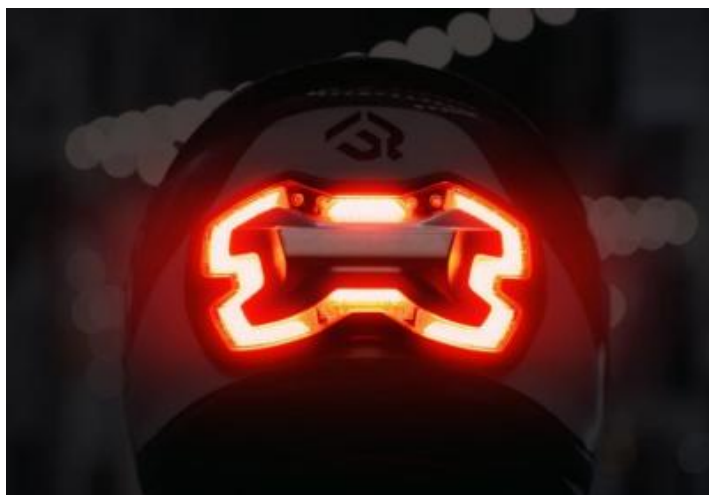


1.13 pav. „Trailstrike“ žibintas [35]

Laikui bėgant, žibintai tapo modernesni, inovatyvūs, išskirtinių formų bei tapo didesni. Tai leidžia patalpinti ne tik daugiau šviesos elementų į prietaisą, bet ir įdėti papildomų jutiklių, tokių kaip akcelerometras ar giroskopas. Taip pat galima rasti šalmus, kurie yra integruoti kartu su šviesos elementais, tačiau tokia kombinacija kainuoja daugiau nei įprastas šalmas be jokių žibintų. Rinkoje galima rasti žibintų su jutikliais, kurių pagalba galima matyti tolimesnius motocikliniko veiksmus. Pavyzdžiui, „Vata7 X1“ šalmas yra pagamintas kartu su stabdžių bei posūkių žibintais (žr. 1.14 pav.). Mobilia programėle galima koreguoti šio šalmo nustatymus – šviesos elementų ryškumą bei šviesos režimus. Šalmo kaina 900\$. Toks šalmas pagerintų matomumą, tačiau ne visi motociklo vairuotojai gali įsigyti tokią brangią prekę. Dar vienas iš pavyzdžių – „BreakFree“ šalmo žibintas (žr. 1.15 pav.). Šis žibintas yra atskiras elementas, kuris tvirtinamas prie šalmo galinės dalies. Tvirtinimui naudojami fiksatoriai. Viena fiksatoriaus dalis tvirtinama prie paties šalmo su dvipuse lipnia juosta, kita fiksatoriaus dalis yra pritvirtinta prie žibinto. Važiavimo metu šis žibintas atlieka stabdžio žibinto funkciją: giroskopo ir akcelerometro pagalba šviestuovo lemputės šviečia ryškiai, taip perspėdamos gale esančius vairuotojus, kai motociklo vairuotojas mažina greitį arba stabdo.

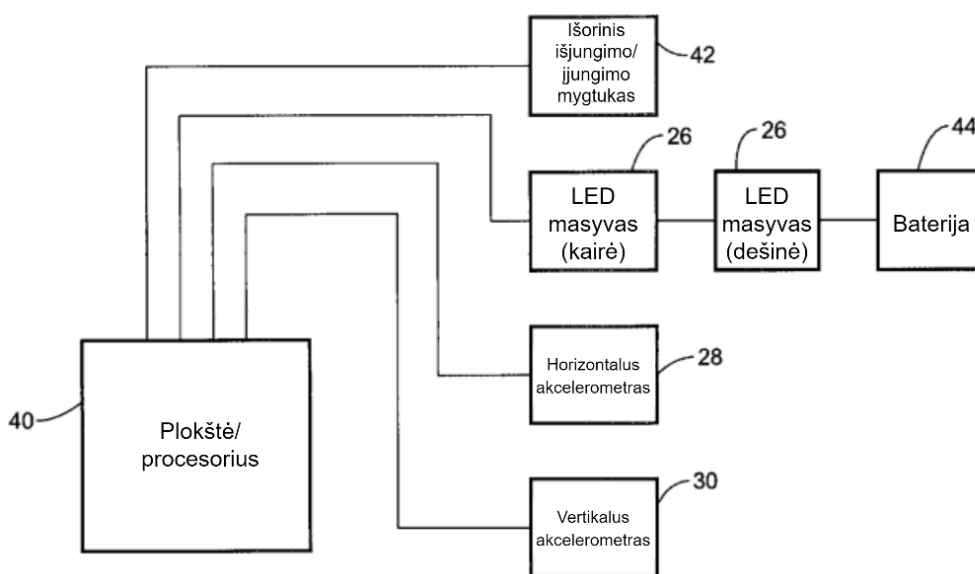


1.14 pav. „Vata7 X1“ šalmas su integruotais šviesos elementais [36]



1.15 pav. Šalmo žibintas „BreakFree“ [37]

Modernius šalmo žibintus sudaro procesorius kartu su spausdintine plokšte, horizontalus ir vertikalus akcelerometrai, šviesos diodai ir energijos šaltinis. Principinę sudedamųjų komponentų schemą galima matyti 1.16 pav. [34]. Abu akcelerometrai siunčia signalus į procesorių. Procesorius reaguoja į gautą signalą ir siunčia signalus į LED masyvus. Šie du skirtingi akcelerometrai yra skirti tam, kad matuotų pagreičius dviem ašimis.



1.16 pav. Šalmo apšvietimo sistemos elektros laidų konfigūracijos schema [34]

2. Parametrų nustatymas

2.1. Prototipo kūrimas

2.1.1. Žibinto šviesos elementų kūrimas

Visų pirma reikia pradėti nuo paties žibinto prototipo kūrimo. Iš pradžių apžvelgiama lengvųjų transporto priemonių galiniai žibintai, jų forma, šviesos šaltinių išdėstymas. Tai gali padėti kurti motociklo žibinto pirminį prototipą.

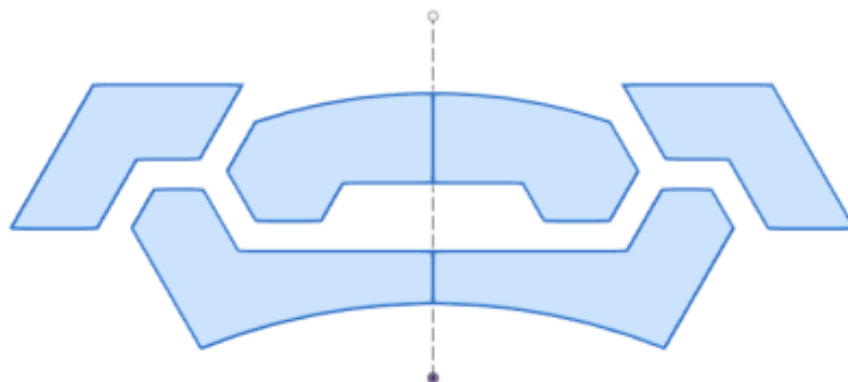


2.1 pav. Audi A6 C6 galiniai žibintai [38]



2.2 pav. Dodge Charger galiniai žibintai [39]

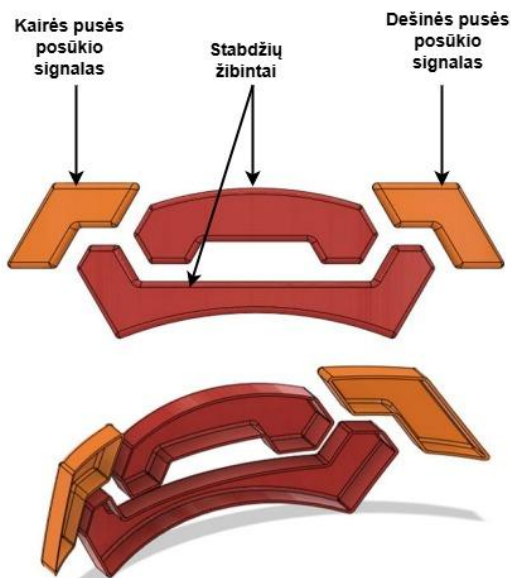
Šių automobilių galiniai žibintai pasižymi ryškiomis, storomis stabdžių šviesų juostomis. Automobiliui stabdant, šviesos puikiai matyti ir iš artimesnio bei tolimesnio atstumo. Panašus principas bus taikomas ir žibinto vystyme. Parinkus norimą šviesos elementų išdėstymą, sudaromas prototipo eskizas ir perkeliamas į pasirinktą projektavimo paketą. Šiuo atveju pasirenkama SolidWorks programinė įranga. Ši programinė įranga yra patogi, kadangi suteikia galimybę išsaugoti modelį, kurį būtų galima atidaryti kitomis programomis. Prototipo eskizas nurodytas 2.3 pav.



2.3 pav. Žibinto prototipo šviesų išplanavimas

Pagrindinė žibinto signalinė sudedamoji dalis yra šviesą sklaidantis dangtelis. Jis turi būti tinkamos spalvos ir išsklaidyti šviesos diodų šviesą. Nesant stiklams, šviesa būtų sunkiai pastebima iš toli ir akintų šalia esančius vairuotojus. Šį prototipą sudaro keturi pagrindiniai šviesos šaltiniai (žr. 2.4 pav.). Žibintą sudaro kairės ir dešinės pusės posūkio signalas bei du stabdžių žibintai. Važiuojant pastoviu greičiu arba greitėjant, stabdžių žibintai šviestų kaip gabaritinės lempos, neryškiai, tačiau jas būtų galima pastebėti. Lėtėjant arba stabdant, stabdžių žibintai šviestų ryškiau, indikuojant, jog yra mažinamas greitis arba yra stabdoma. Kaip ir automobiliuose, posūkių žibintai yra oranžinės spalvos, o stabdžių žibintai – raudonos spalvos. Šviesų stiklai yra išgaubtos formos. Taip bus padidinamas žibinto matymo kampas, kad žibintą pastebėtų gretimose juostose esantys vairuotojai.

Gaminant korpuso ir dangtelių detales, bus naudojama 3D spausdinimo procesas. Šia technologija galima atlikti daug prototipo gaminių, spausdinti sudėtingas detales efektyviai, taip sumažinant galimas atliekas [40]. Parinkta stikliukų medžiaga yra polietileno tereftalatas, geriau žinomas kaip PET-G plastikas. Šis plastikas yra modifikuotas glikoliu, kuris palengvina 3D spausdinimo procesą [41]. Galima rasti įvairių spalvų tokio tipo plastiko. Taip pat egzistuoja PET-G plastikas, kuris yra pralaidus šviesai. Būtent tokio tipo ir pasirenkamas PET-G skaidrus plastikas. Raudonas permatomas plastikas naudojamas stabdžių gaubtų gamybai, oranžinės spalvos permatomas plastikas naudojamas posūkių signalų gaubtams. Pirminis dangtelių storis – 1 mm.



2.4 pav. Žibinto šviesų stikliukai/dangteliai

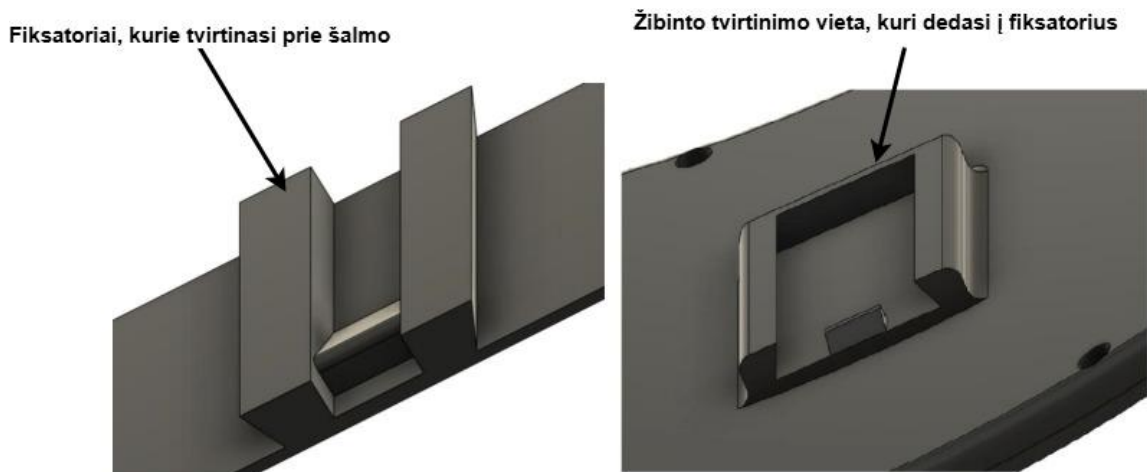
2.1.2. Korpuso ir fiksatorių kūrimas

Atsižvelgiant į stikliukų eskizą, sudaromas bendras žibinto korpusas. Jame talpinami šviesos elementai, mikroschemos ir kiti prietaisai, kurie leis veikti žibintui. Planuojama korpusą daryti iš dviejų dalių – priekinės ir galinės dalies (žr. 2.5 pav.). Priekinė dalis bus matoma visiems vairuotojams dėl šviesos elementų, o galinė dalis bus tvirtinama prie šalmo. Priekinė ir galinė dalis tvirtinamos varžteliais. Dėl to žibintą bus galima lengvai išardyti bei turėti lengvesnę prieigą norint patikrinti viduje esančias dalis ar komponentus, atlikti apžiūrą, patikrinti, ar nėra pažeistos sudedamosios dalys, esant būtinybei, jas tvarkyti ar pakeisti naujomis. Korpuso gamybai taip pat pasitelkiama 3D spausdinimo technologija. Šiuo atveju parinkta korpuso medžiaga yra polilaktidas arba PLA plastikas, kadangi yra lengvai perdirbamas, universalus, paprastas naudoti. Pirminis korpuso storis yra 1 mm.



2.5 pav. Korpuso dalys ir fiksatoriai

Žibinto tvirtinimui bus naudojami fiksatoriai. Prototipe numatyta naudoti du fiksatorius. Fiksatoriai tvirtinami su dvipuse lipnia juosta. Prieš tvirtinant fiksatorius, būtina paruošti paviršių – nuvalyti dulkes, nešvarumus, nuriebalinti paviršių, jog klijavimo metu fiksatoriai stipriai laikytųsi. Kai paviršius tinkamai nuvalytas, galima pradėti centruoti fiksatorių padėtį. Svarbu, jog abu fiksatoriai būtų viename lygyje vienas su kitu, nepasislinkę į vieną ar į kitą šalmo pusę. Norint tinkamai išcentruoti fiksatorių padėtį, pridedamas centravimo šablonas su fiksatorių ertmėmis. Tinkamai išcentravus ir pritvirtinus fiksatorius, šalmo žibintas tvirtinamas prie fiksatorių stumiant iš viršaus į apačią, kol girdimas spragtelėjimas. Tai reikštų, jog žibintas tinkamai pritvirtintas.



2.6 pav. Tvirtinimas iš arčiau

2.1.3. Reikalinga elektronika

Didžiąją prietaiso kainos dalį sudaro įvairūs elektroniniai komponentai. Kad šviestuvai tinkamai veiktų ir atliktų visas numatytas funkcijas, jame turi būti įrengti įvairūs jutikliai ir valdikliai. Pagrindinis įrenginio valdymas atliekamas mikrovaldiklio plokštėje ESP32-DevKitC [42] (žr. 2.7 pav.). Šiuo atveju bus naudojamos dvi mikrovaldiklio plokštės. Viena plokštė montuojama šalmo žibinte, kita plokštė bus montuojama prie motociklo elektros sistemos. Šias plokštes galima kartu suporuoti Wi-Fi pagalba. Pirmoji plokštė, kuri bus jungiama prie motociklo elektros sistemos, reikalinga, kad siųstų signalą į kitą ESP32 plokštę, kai bus rodomas kairės arba dešinės pusės posūkis. Antroji plokštė, kuri įmontuota į šalmo žibintą, gauna siunčiamą signalą iš pirmosios plokštės. Tokiu būdu galima suprogramuoti, jog šios dvi plokštės veiktų tarpusavyje ir rodytų vieną arba kitą posūkio signalą.



2.7 pav. Mikrovaldiklio plokštė [42]

Maitinimo šaltinį sudarytų ličio jonų baterijos. Kadangi žibintas nėra didelis, todėl galima panaudoti išimamas telefono baterijas. Jos ganėtinai plonos, kad tilptų į žibintą, bei pakraunamos, tad puikiai tinka kaip žibinto energijos šaltinis. Pavyzdinis žibinto energijos šaltinis nurodytas 2.8 pav. Panašių baterijų talpa svyruoja maždaug nuo 3000-5000 mAh.



2.8 pav. Samsung Galaxy S3 telefono baterija [43]

MPU6050 modulis (žr. 2.9 pav.) naudojamas stabdymo ir greitėjimo veiksams matuoti. MPU6050 yra plačiai naudojamas, kurio viename kompaktišrame korpuse integruotas 3 ašių akcelerometras ir 3 ašių giroskopas. Šis derinys leidžia matuoti linijinį pagreitį ir kampinį greitį pagal X, Y ir Z ašis. Taip pat jis turi vidinį skaitmeninį judesio procesorių, kuris gali apdoroti judesio algoritmus ir sumažinti apkrovą, kuri tenka pagrindiniam mikrovaldikliui. Tačiau tokia funkcija gali papildomai apkrauti motociklininką.



2.9 pav. MPU6050 modulis [44]

Apšvietimui naudojami LED šviesos elementai. Pasirinkti balti šviesos diodai yra Osram LW TVSG.BB-BXCY-JBNC-Z486 su 120° apšvietos kampu. Šis Osram LED SMT yra aukštos kokybės, didelės šviesos srauto šviesos diodas. Jis pasižymi ilgu tarnavimo laiku, atsparumu oro sąlygoms ir UV spinduliams. Esminiai parametrai nurodyti 2.1 lentelėje. Gaminio dokumentacijoje pateikta tik Cx ir Cy spalvos reikšmės pagal CIE 1931 (Tarptautinė apšvietimo komisija). Turint šias reikšmes apskaičiuojama spalvos temperatūra. Formulė pateikta apačioje [45].

$$CCT(x, y) = 449n^3 + 3525n^2 + 6823,3n + 5520,33 \approx 5600 \text{ K} \quad (1)$$

čia CCT – koreliacinė spalvinė temperatūra, n – kintamasis.

Apskaičiuojamas kintamasis n: $x_e = 0,332$, $y_e = 0,1858$.

$$n = \frac{x - x_e}{y_e - y} = \frac{0,33 - 0,332}{0,1858 - 0,34} = 0,01297 \quad (2)$$

Kol kas prototipui naudojama 18 šių diodų. Jie išdėstomi tolygiai, kad nebūtų akivaizdžių nukrypimų, kai vienoje pusėje šviečia ryškiau, kitoje blankiau. Pavyzdiniai diodai nurodomi apačioje (žr. 2.10 pav.). Šviesos elementų išdėstymą galima matyti 3.1 pav. – po tris lemputes kairiajame ir dešiniajame posūkiuose. Likę elementai paskirstomi tolygiai pagal stabdžių žibintų dydžius: 5 diodai priskiriami viršutiniam stabdžių žibintui, 7 diodai apatiniam stabdžių žibintui. 3.2 pav. galima matyti, kaip atrodytų žibintas, kai yra uždėtas ant šalmo.

2.1 lentelė. Šviesos diodo (vieno vieneto) pagrindiniai parametrai [46]

Parametras		Reikšmė	Matavimo vienetas
Švytėjimo kampas		120	°
Spalvos temperatūra		5600	K
Masė		0,33	g
Minimalus šviesos intensyvumas		1800	mcd
Maksimalus šviesos intensyvumas		3300	mcd
Spalva pagal CIE 1931	Cx	0.33	-
	Cy	0.34	-



2.10 pav. Šviesos diodas Osram LW TVSG.BB-BXCY-JBNC-Z486 [46]

3. Sudarytas prototipas

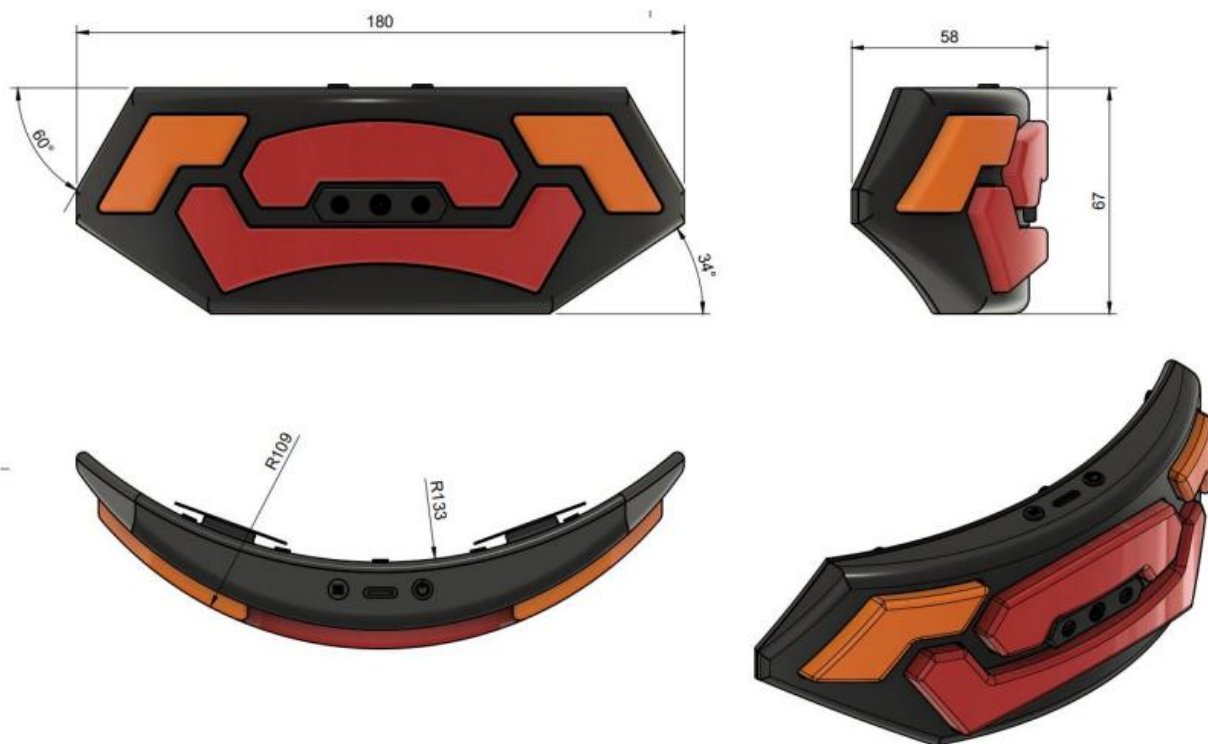
Prototipas sudaromas SolidWorks programa, kadangi galima nesunkiai sukurti skirtingus failų tipus, norint atlikti skaičiavimus ir tyrimus su skirtingomis programomis. Apačioje matomas išskaidytas žibinto vaizdas su esminiais komponentais: žibinto stikliukai, korpusas, fiksatoriai ir lemputės (žr. 3.1 pav.). 3.2 pav. pavaizduota žibintas, jau pritvirtintas prie motocikliniko šalmo. Taip pat nurodoma pagrindiniai žibinto prototipo matmenys (žr. 3.3 pav.). Nurodžius reikalingas medžiagas 3D modeliavimo programoje bei atsižvelgiant į elektronikos komponentų kiekį ir masę, šio prototipo masė yra ~140 gramų. Gaminio savikaina siektų ~60 eurų.



3.1 pav. Žibinto dalių išskaidymas bei šviesos elementų išdėstymas



3.2 pav. Produkto vizualizacija naudojimo metu



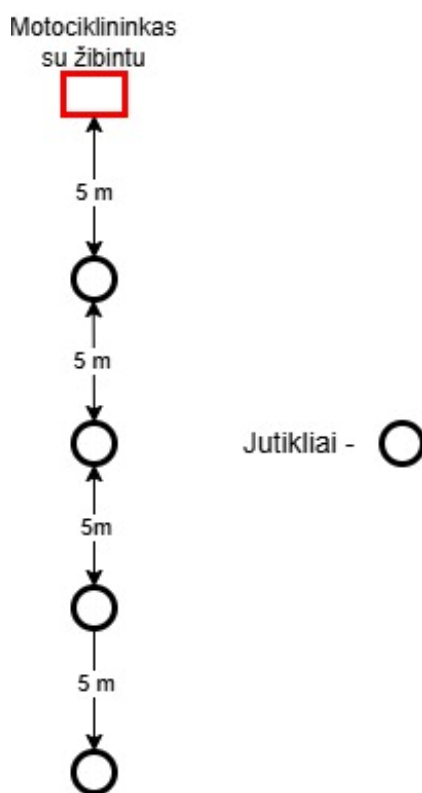
3.3 pav. Gabaritiniai žibinto prototipo matmenys

4. Tiriemoji dalis

4.1. Pasiruošimas tyrimui

Bandymams atlikti naudojama Ansys Speos programinė įranga. Ši programa leidžia prognozuoti optinių sistemų apšvietimą, optinį našumą. Programinė įranga leidžia sutaupyti prototipo kūrimo laiką ir išlaidas bei leidžia padidinti gaminio efektyvumą atliekant skirtingas optines simuliacijas.

Tyrimo metu į Ansys Speos įsikeliamas žibinto modelis be korpuso – tai sumažins skaičiavimo trukmę ir sumažins skaičiavimų kiekį. Programos aplinkoje paliekama LED lemputės kartu su PCB plokštėmis ir stikliukais. Tyrimo metu bus tiriamas žibinto matomas apšviestumas, kuris yra išskiriamas pagal pasirinktus šviesos diodus. Taip pat atliekamos simuliacijos sudarant jutiklius, kurie simuliuoja tai, ką mato žmogaus akis. Jutiklių išdėstymo schema (žiūrint iš viršaus) nurodyta 4.1 pav. Jutikliai sudaromi 5 metrų intervalais nuo žibinto, kad palygintume rezultatų pasikeitimą. Iš viso sudaryti 4 jutikliai tiek apšvietos, tiek matomumo matavimams. Priimama, jog simuliacija atliekama miesto sąlygomis.



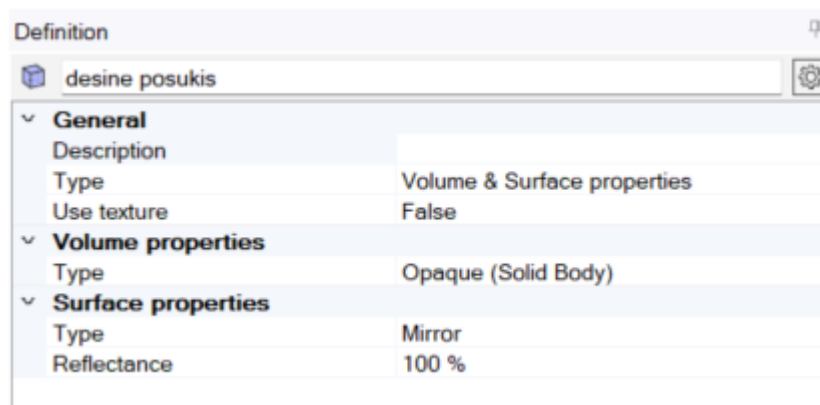
4.1 pav. Jutiklių išdėstymo schema su nurodytais atstumais

4.2. Tyrimo eiga

4.2.1. Optinės detalių savybės

Ansys Speos įkeliamas žibinto prototipo modelis. Šioje aplinkoje reikalinga PCB plokštės kartu su LED šviesos diodais bei šviesos diodų dangteliai. Visų pirma parenkami optiniai rodikliai reikalingoms dalims. Visoms LED lemputėms (stabdžių ir posūkių) *General* skiltyje, ties *Volume & Surface properties*, *Use texture* paliekama *False*. Tokiu būdu pasirinktai geometrijai taikomos tūrio ir paviršiaus optinės savybės. Toliau *Volume properties* skiltyje pasirinkime *Type* parenkamas *Opaque (Solid Body)* tipas. Šis pasirinkimas nurodo, jog medžiaga yra nepermatoma, todėl šviesos

diode skleidžiama šviesa atsimuš į diodo sieneles ir neleis daliai šviesos susigerti į paviršių. Galiausiai *Surface properties* skiltyje ties *Type* parenkama *Mirror* ir nurodoma 100% atspindys nuo sienelių.



4.2 pav. LED lempučių optinės medžiagos savybės

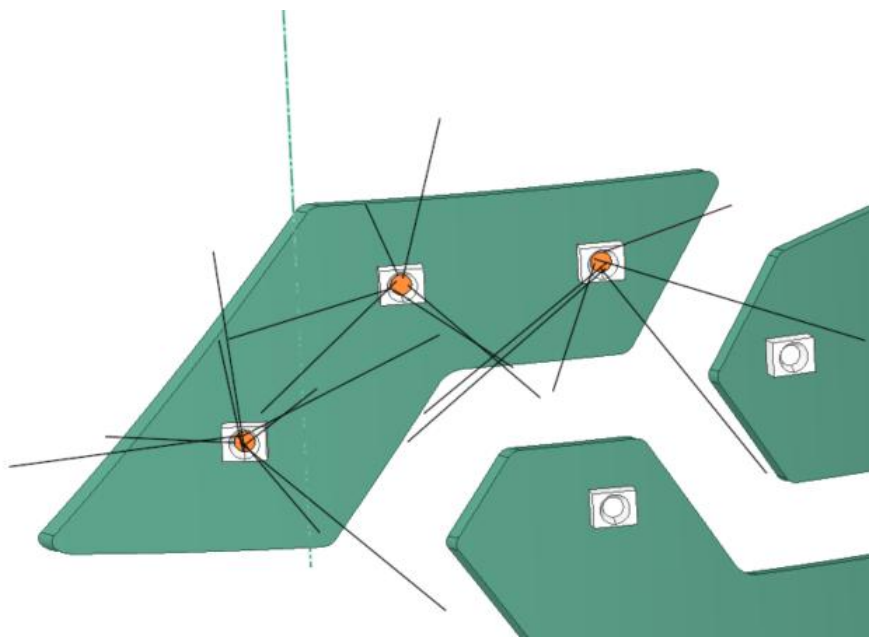
Žibinto LED dangteliams parenkama medžiaga iš Ansys Speos bibliotekos.

4.3. Šviesos šaltiniai

Parinkus optines savybes, sukuriami šviesos šaltiniai LED lemputėms. Šiai simuliacijai bus naudojamas paviršiaus šviesos šaltinis. Pirmiausia parenkama, kuriose vietose bus skleidžiama šviesa. Šiuo atveju parenkama, jog šviesos šaltinis bus LED lemputės viduje. Toliau parenkami reikalingi parametrai. Šioje vietoje pasinaudojama 2.1 lentelėje esančia informacija. Aktualiausi parametrai yra apšvietos kampas, šviesos intensyvumas ir šviesos šaltinio skleidžiama spalvos temperatūra. Suvedus reikalingą informaciją, šviesos šaltinio lentelė matoma 4.3 pav. Pavyzdys, kaip modelyje atrodo sudarytas šviesos šaltinis, nurodytas 4.4 pav. Sudaromos trys atskiros šviesos šaltinių grupės – stabdžių, kairės ir dešinės pusės posūkių signalų.

▼ Flux	
Type	Luminous intensity (cd)
Value	3.3 cd
▼ Exitance	
Variable exitance	False
▼ Intensity	
Type	Lambertian
Total angle	120 °
▼ Spectrum	
Type	Blackbody
Temperature	5600 K

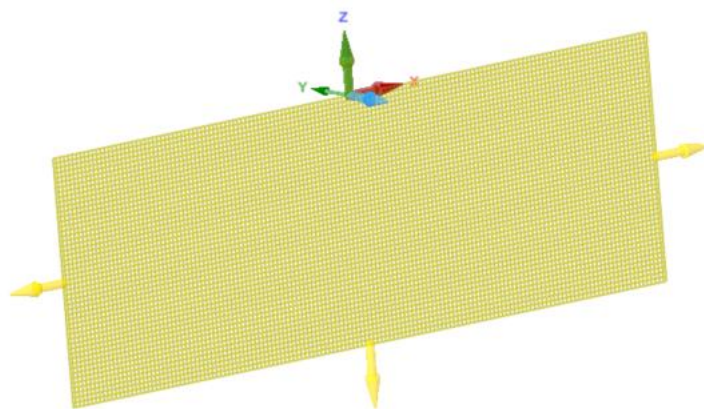
4.3 pav. Šviesos šaltinio parametrai



4.4 pav. Kairio posūkio signalo šviesos šaltinio vaizdavimas LED lemputėse

4.4. Jutiklių sudarymas

Šiame darbe bus naudojami 2 jutiklių tipai. Vienas jų yra apšvietos (angl. *Irradiance*) jutiklis, kitas jutiklis yra žmogaus akies jutiklis. Abu jutiklių tipai sudaryti 5 metrų intervalais. Apšvietos jutiklis naudojamas, kad pamatytume šviesos pasiskirstymą tam tikrame plote, pavyzdžiui, ant automobilio priekinio lango. Šio jutiklio matavimo vienetai yra liuksai (lx). Šis matavimo vienetas nurodo paviršiaus apšvietą, kurią sukelia šviesos srautas. Nustatant jutiklio matmenis atsižvelgiama tik į lengvasias transporto priemones, kadangi simuliacija atliekama miesto sąlygomis. Jutiklio dydžiui (aukštis ir ilgis) nustatyti išmatuojamas lengvojo automobilio priekinis stiklas. Šiuo atveju matavimai atliekami turint 6 kartos Honda Civic automobilį. Matavimo metu išmatuojama žemiausia ir aukščiausia automobilio priekinio lango dalis nuo žemės bei išmatuojamas priekinio lango ilgis. Išmatuotas aukštis ~510 mm, išmatuotas ilgis ~1475 mm. Pagal gautus išmatavimus sudaryti tokio dydžio apšvietos jutikliai (žr. 4.5 pav. ir 4.6 pav.).

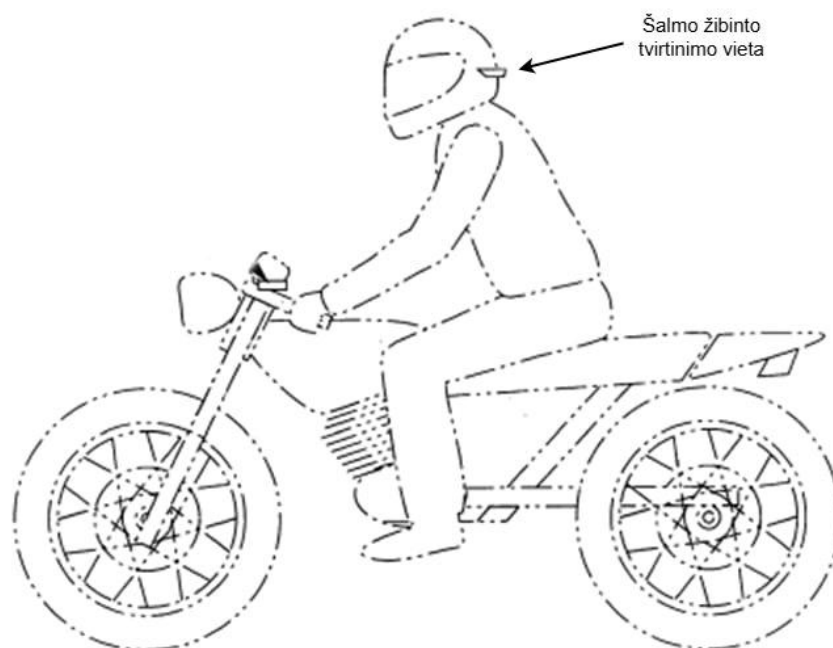


4.5 pav. Apšvietos jutiklis

X range	
Mirrored extent	False
Start	-737 mm
End	737 mm
Sampling	100
Resolution	14.74 mm
Y range	
Mirrored extent	False
Start	-510 mm
End	0 mm
Sampling	100
Resolution	5.1 mm

4.6 pav. Jutiklio matmenys. X ašimi nurodytas ilgis, Y ašimi nurodytas aukštis

Šalmo žibintas jau patalpintas originalioje koordinatų ašyje. Norint sudėlioti jutiklius, išmatuojama, kokiame aukštyje būtų šalmo žibintas. Išmatuotas motociklininkas, kurio ūgis 175 cm, sėdintis ant motociklo (Yamaha MT09) kartu su šalmu. Motociklininkui nurodyta užimti tokią sėdėjimo poziciją, kokia būtų patogi važiuoti motociklu miesto gatvėmis. Kai vairuotojas užima reikiamą poziciją, išmatuojamas atstumas nuo žemės iki šalmo galinės vietos, kur maždaug būtų montuojamas šalmo žibintas (žr. 4.7 pav.). Atlikus matavimą, gautas atstumas ~1620 mm. Šis matavimas pravers vėliau, kuriant jutiklių koordinatų sistemas pagal pasirinktą automobilį.

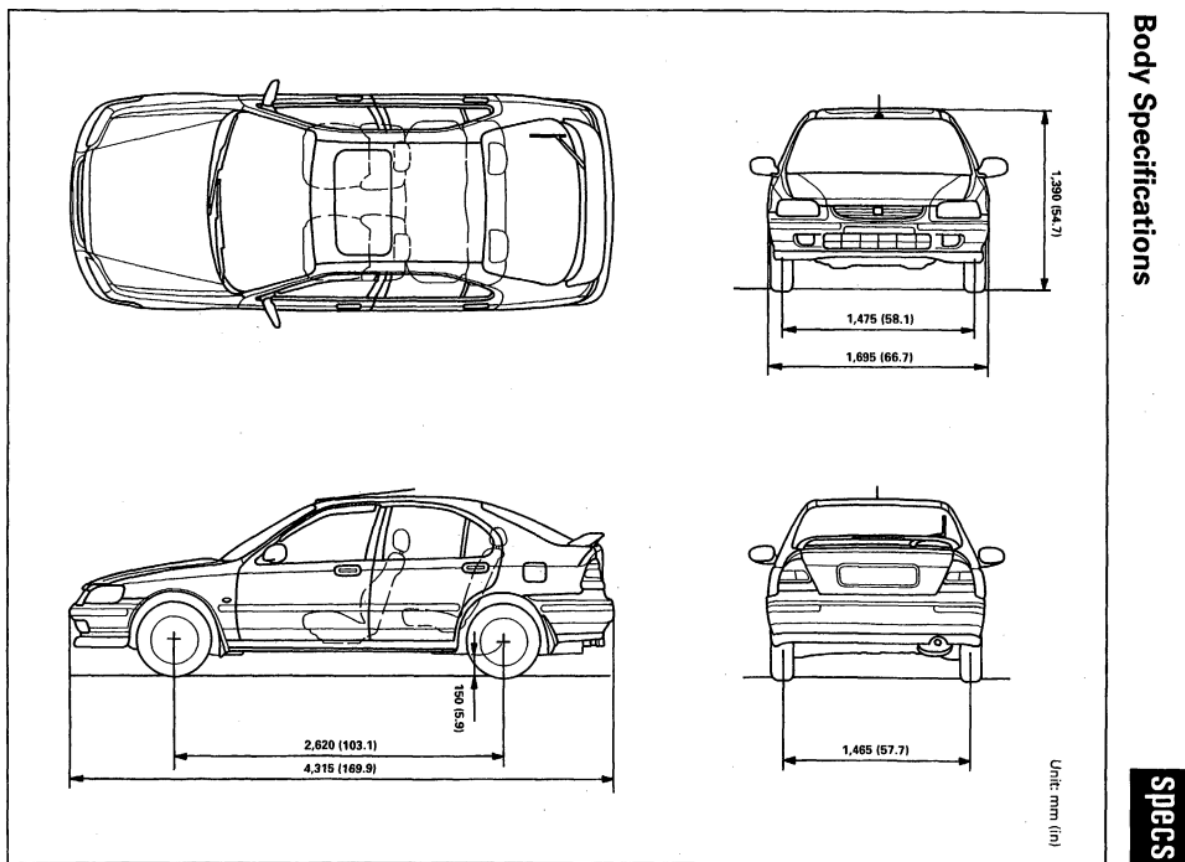


4.7 pav. Sėdėjimo pozicija ir šalmo žibinto tvirtinimo vieta

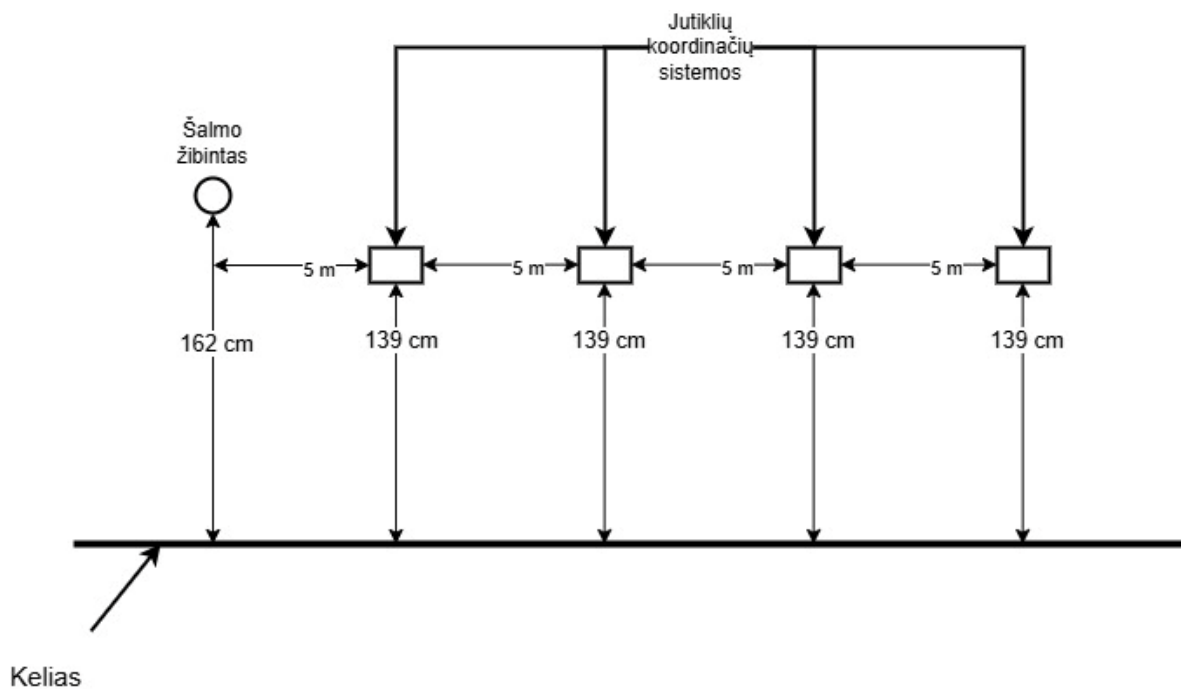
Turint žibinto atstumą nuo žemės, reikalingas automobilio aukštis, kad sudarytume koordinatų sistemas jutikliams patalpinti. Čia taip pat naudojamas 6 kartos Honda Civic automobilis. Šio automobilio gabaritiniai matmenys nurodyti (žr. 4.8 pav.). Pateiktoje nuotraukoje matoma, kad automobilio aukštis siekia 1390 mm. Turint automobilio aukštį ir šalmo žibinto atstumą nuo žemės, galima sudaryti jutiklių koordinatų sistemas.

Sudarant koordinatų sistemas jos nuleidžiamos žemyn per 230 mm. Šis matmuo gaunamas atimant šalmo žibinto atstumą nuo žemės ir automobilio aukštį. Jutiklių koordinatų ir šalmo žibinto aukščių

schema iš šono nurodyta 4.9 pav. Iš viso sudaryti 4 apšvietos jutikliai. Visiems jutikliams parenkamas fotometrinis apšvietos jutiklio tipas. Tai leis pamatyti, kokia apšvietos dalis atsimuša į jutiklį.

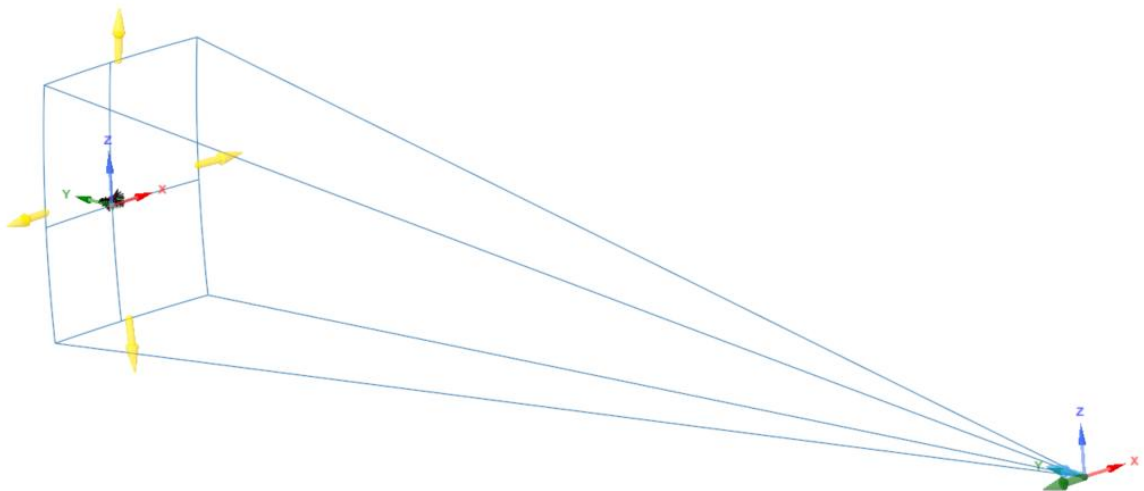


4.8 pav. Honda Civic gabaritiniai matmenys [47]



4.9 pav. Šalmo žibinto ir jutiklių koordinčių sistemų aukščių schema žiūrint iš šono

Žmogaus akies jutiklis naudojamas tiksliai atkartoti žmogaus regėjimą ir suvokimą esant šviesos šaltiniui. Jutiklio matavimo vienetai yra kandela kvadratiniam metrui (cd/m^2). Šis matavimo vienetas nurodo skaistį. Tai fotometrijos dydis, tenkantis šviesos ploto vienetui. Skaistis apibūdina, kaip akis suvokia šviesą skleidžiančius paviršius [48]. Jutiklių sudarymo principas panašus į apšvietos jutiklius. Žmogaus akies jutikliai taip pat išdėliojami kas 5 metrai. Sudarinėjant jutiklį yra du esminiai punktai, kuriuos reikia atlikti: tinkamai parinkti akies koordinatės ir tikslinį tašką. Tikslinis taškas yra šalmo žibintas, todėl jis yra parenkamas priešais įrenginį. Akies koordinatėms nustatyti pasitelkiama prieš tai naudotos koordinatinių ašys. 4.10 pav. galima matyti sukurtą žmogaus akies jutiklį. Dešinėje esanti koordinatinių sistema nurodo žmogaus akies koordinatės. Kairiau esantis kvadratas nurodo žmogaus akies matymo lauką. Matymo laukas yra priešais žibintą. Šiam jutikliui taip pat parenkamas fotometrinis jutiklio tipas.



4.10 pav. Sukurtas žmogaus akies jutiklis 10 metrų atstumu

4.5. Simuliacijų parinkimas

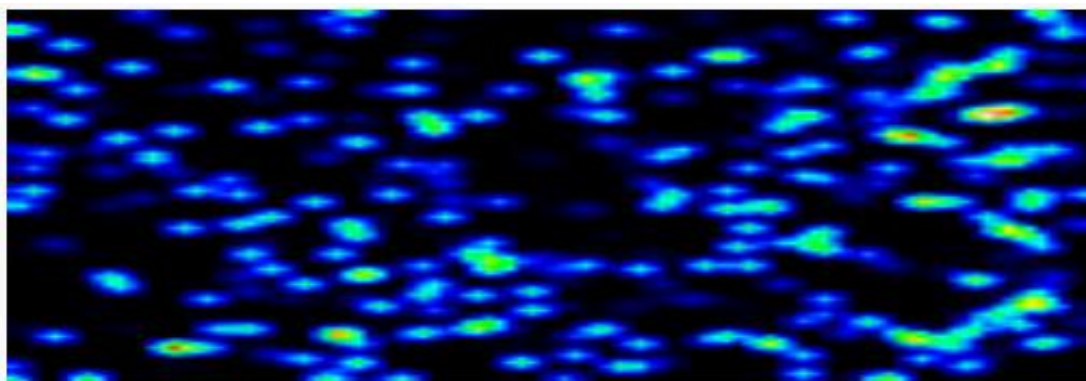
Darbe naudojamas tiesioginis (angl. *Direct Simulation*) ir atvirkštinis (angl. *Inverse Simulation*) simuliacijos tipas. Abiejų simuliacijų sudarymo principas vienodas. Pirma, reikia pasirinkti geometriją. Čia yra parenkamos LED lempučių ir LED dangteliai. Antra, reikia pasirinkti šviesos šaltinių grupę (kairysis, dešinysis posūkis, stabdžiai). Užbaigiant simuliacijos sudarymą, parenkami suderinami jutikliai – tiesioginėje simuliacijoje naudojami apšvietos jutikliai, atvirkštinėje naudojami žmogaus akies jutikliai. Viską atlikus, galima atlikti skaičiavimus ir analizuoti gautus rezultatus.

4.6. Realus eksperimentinis tyrimas

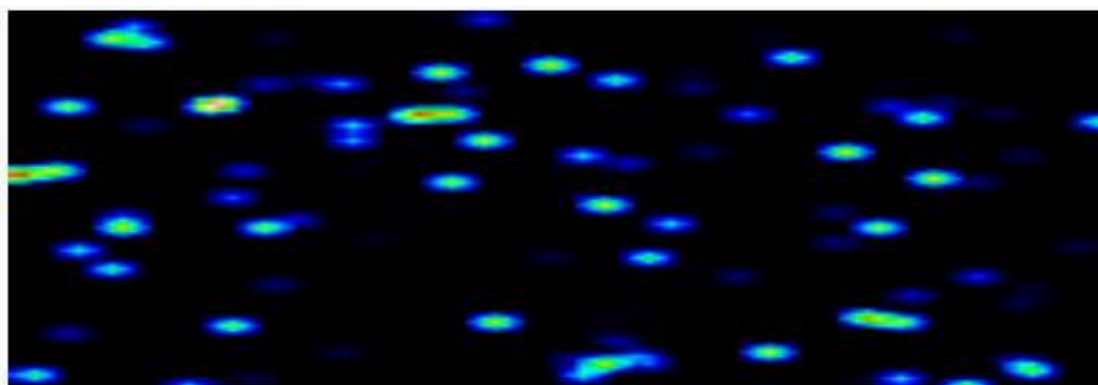
Atliekamas realus matavimo patikrinimas. Realus prototipas sudarytas naudojant telefono bateriją, įtampos keitiklį, rezistorius, jungiklius, krovimo lizdą, LED šviesos diodus (žr. 2.10 pav.). Eksperimentas atliekamas tamsiu paros metu. Nuotraukos atliktos gegužės 2 d. 00:12 laiku. Tos dienos saulėlydis prasideda 20:55. Matavimo tyrimo metu atliekamos nuotraukos su iPhone 12 Mini telefonu. Atliekant nuotraukas nenaudojamas naktinio fotografavimo režimas, kad pamatytume realų žibinto apšvietimą. Atliktos nuotraukos pateikiamos tyrimų rezultatuose. Nuotraukos atliekamos 5 m, 10 m, 15 m ir 20 m atstumais. Paskui žibintas padedamas vis toliau, kol nustatomas didžiausias atstumas, kada dar yra matomi žibinto signalai.

5. Tyrimo rezultatai

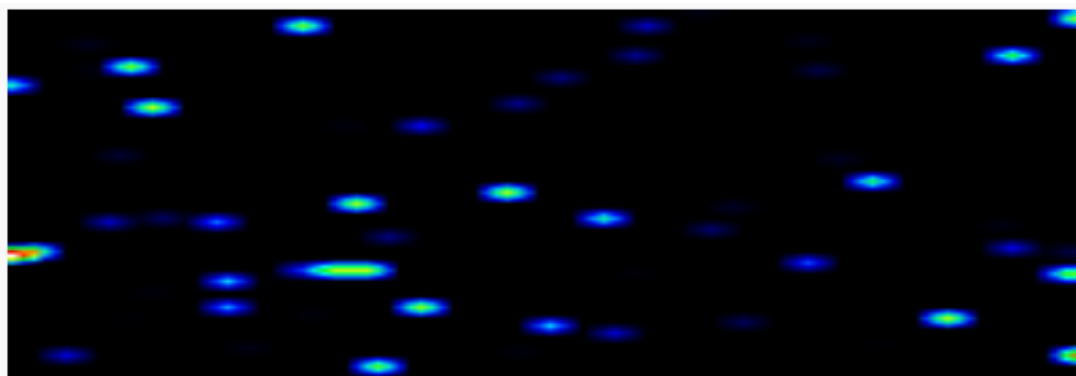
Pateiktose nuotraukose (žr. 5.1 pav.–5.4 pav.) matoma, kokia dalis spindulių atsimuša į apšvietos jutiklius. Daugiausia spindulių tenka jutikliui, kuris yra arčiausiai žibinto. Jutikliams tolstant nuo žibinto matoma, kad spindulių kiekis jutikliuose vis mažėja. Kai jutiklis yra 5 metrų atstumu nuo žibinto, didesnė spindulių koncentracija susidaro dešinėje jutiklio pusėje. Tačiau jutikliams tolstant nuo šviesos šaltinio, spindulių kiekis mažėja ir spinduliai išsidėsto netolygiai.



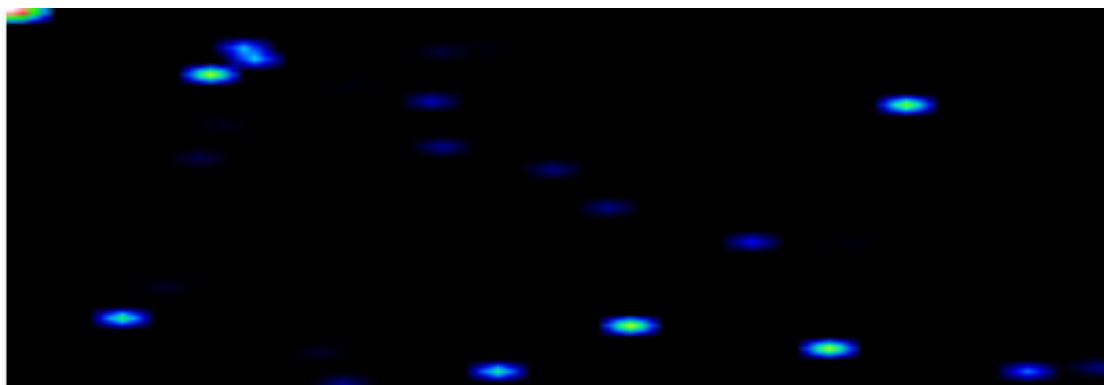
5.1 pav. Dešinės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 5 metrams nuo žibinto



5.2 pav. Dešinės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 10 metrų nuo žibinto

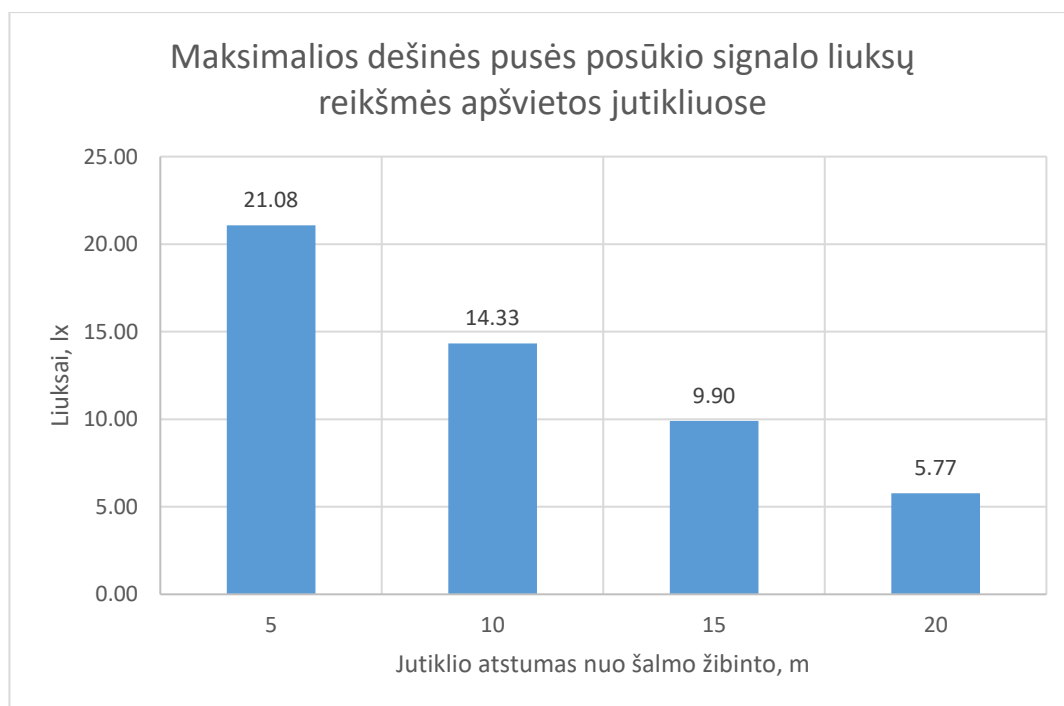


5.3 pav. Dešinės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 15 metrų nuo žibinto



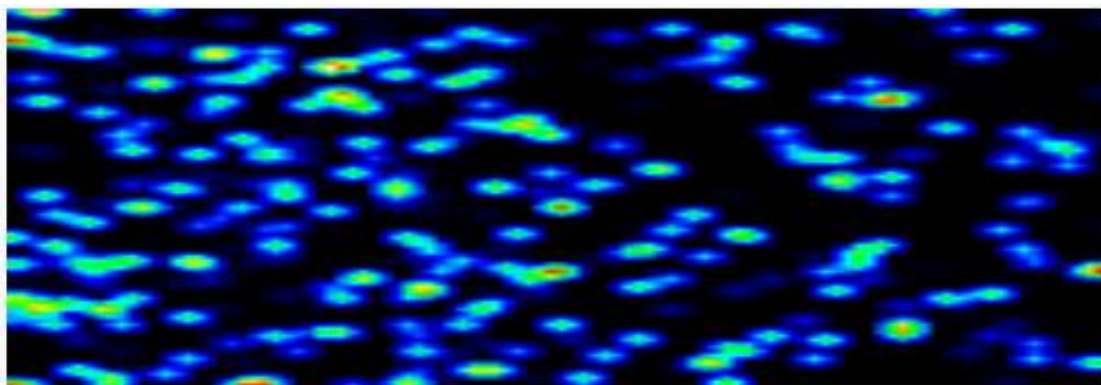
5.4 pav. Dešinės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 20 metrų nuo žibinto

Ansysis Speos programa atliktos penkios simuliacijos, kadangi atliekant tą pačią simuliaciją iš naujo, skiriasi duomenys. Todėl atliekamos penkios simuliacijos ir išvedamas maksimalus liuksų reikšmių vidurkis. Apatiniame paveiksle (žr. 5.5 pav.) vaizduojamos maksimalios dešinio posūkio liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose.

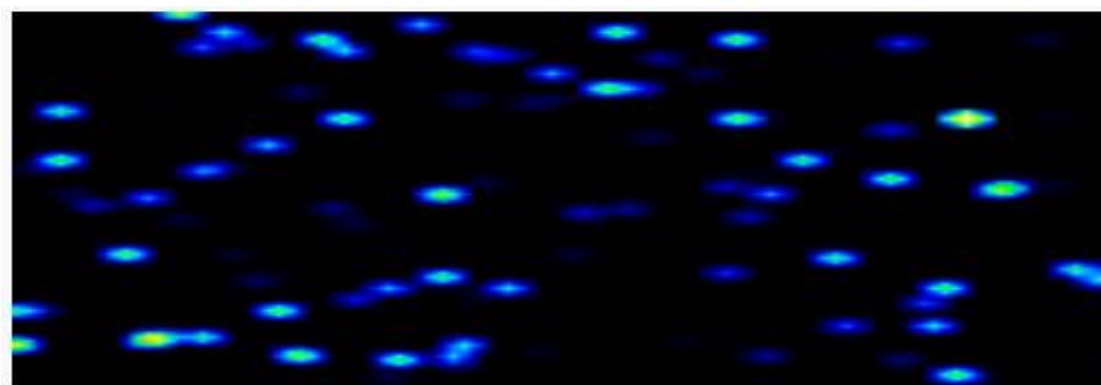


5.5 pav. Gautos maksimalios dešinio posūkio signalo liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose

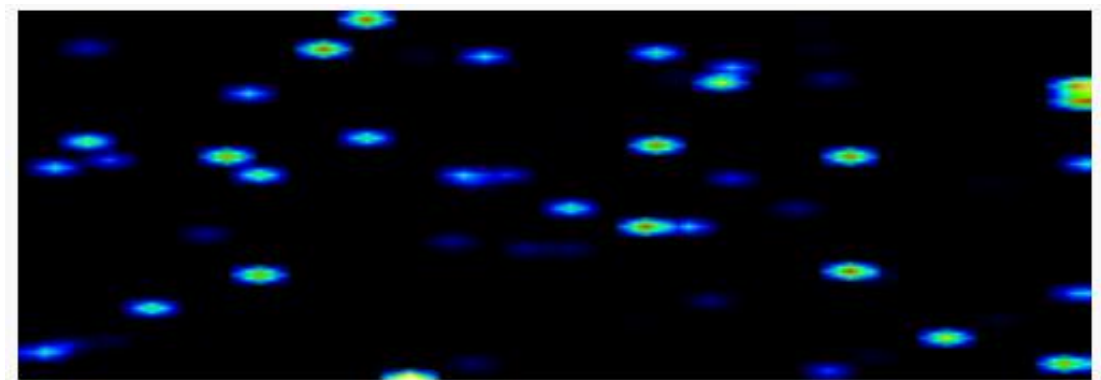
Paveiksluose (žr. 5.6 pav.–5.9 pav.) pavaizduotas spindulių kiekis ant apšvietos jutiklių, kai šviečia kairės pusės posūkio signalas. Kaip ir dešinės pusės posūkio signalo, čia taip pat matomas spindulių kiekio kritimas, kai jutiklis yra pastatytas toliau nuo šviesos šaltinio. Kai jutiklis yra 5 metrų atstumu, matoma, kad daugiau spindulių koncentruojasi kairėje jutiklio pusėje. Tačiau didėjant atstumui, spindulių kiekis krenta ir spinduliai netolygiai išsidėsto visame jutiklio plote.



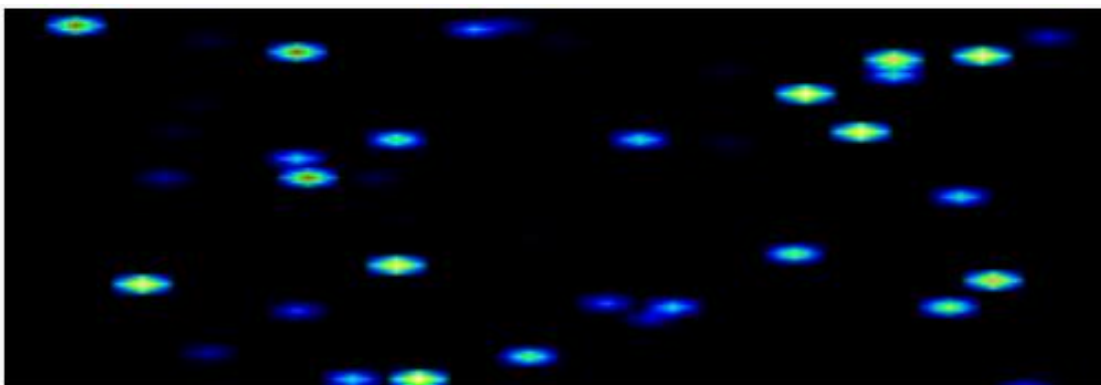
5.6 pav. Kairės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 5 metrams nuo žibinto



5.7 pav. Kairės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 10 metrų nuo žibinto

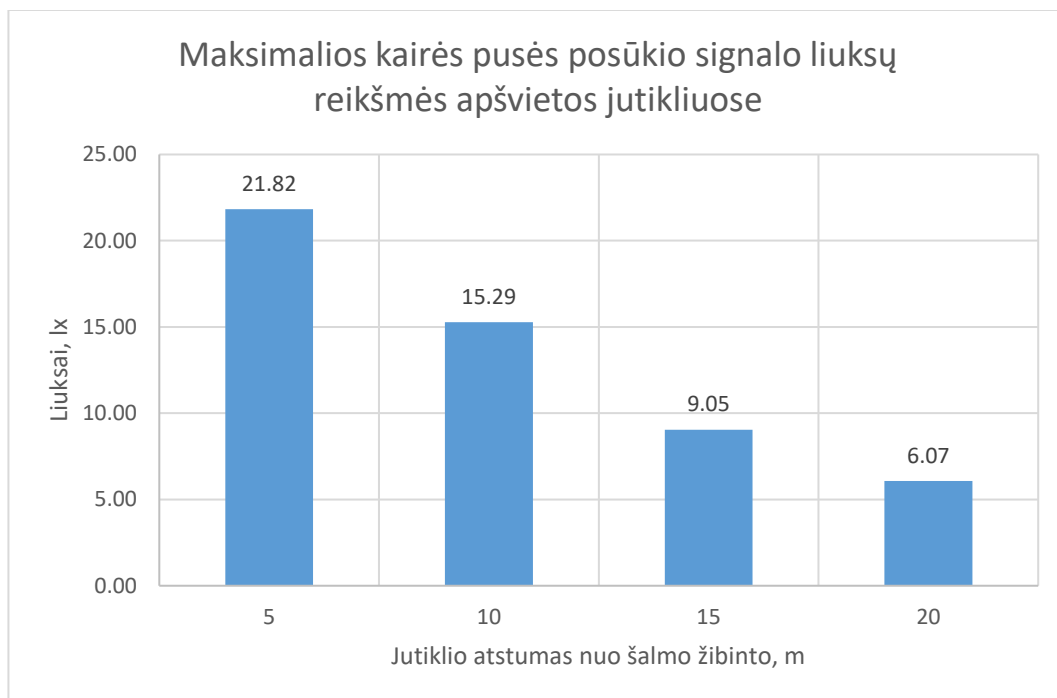


5.8 pav. Kairės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 15 metrų nuo žibinto



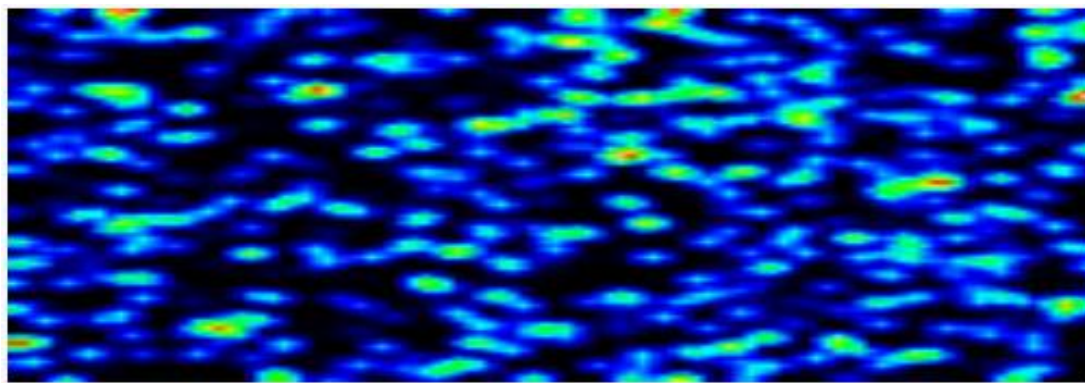
5.9 pav. Kairės pusės posūkio signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 20 metrų nuo žibinto

Kairio posūkio signalui taip pat atliekami penki simuliaciniai skaičiavimai, jog būtų galima išvesti maksimalios liuksų reikšmės vidurkį jutikliuose. Apatiniame paveiksle (žr. 5.10 pav.) vaizduojamos maksimalios dešinio posūkio liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose.

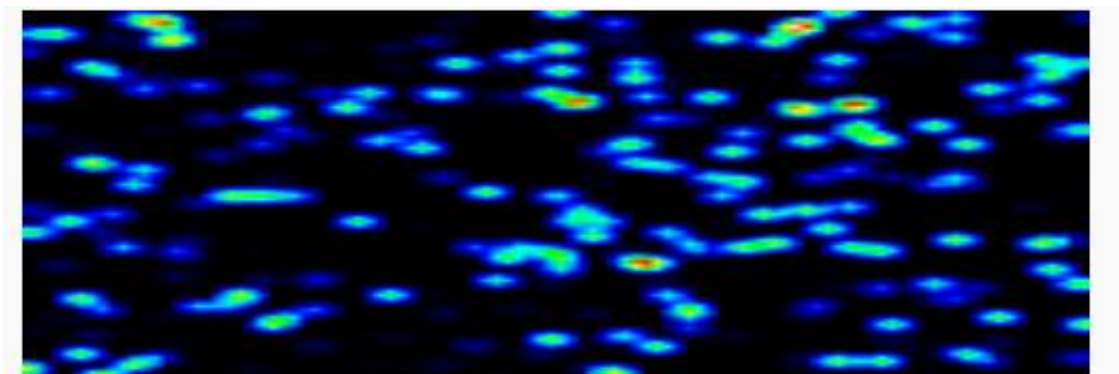


5.10 pav. Gautos maksimalios kairio posūkio signalo liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose

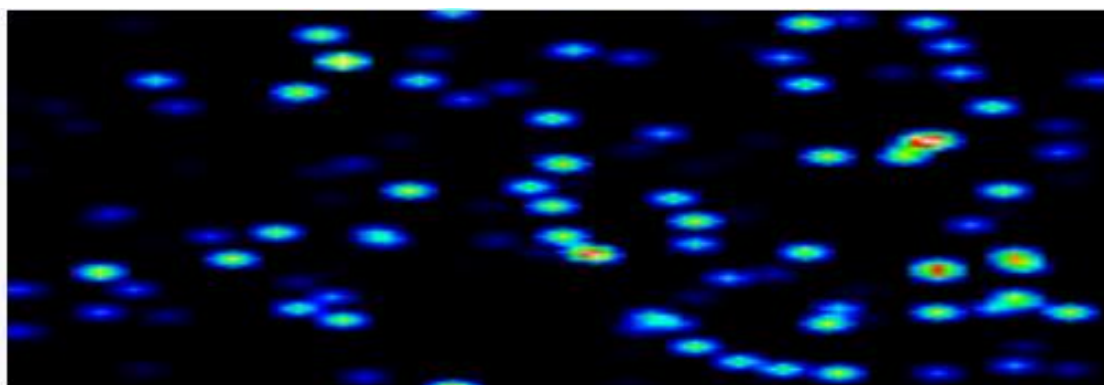
Paveiksluose (žr. 5.11 pav.–5.14 pav.) pavaizduotas spindulių kiekis ant apšvietos jutiklių, kai šviečia stabdžių signalas. Kaip ir posūkių signalų, čia taip pat pastebimas spindulių kiekio kritimas, kai jutiklis yra pastatytas toliau nuo šviesos šaltinio. Didžiausia spindulių koncentracija susidaro artimiausiame jutiklyje ir spinduliai yra išsidėstę tolygiai. Tačiau jutikliams tolstant, spindulių kiekis mažėja ir, esant skirtingiems atstumams, spinduliai išsidėsto nevienodai.



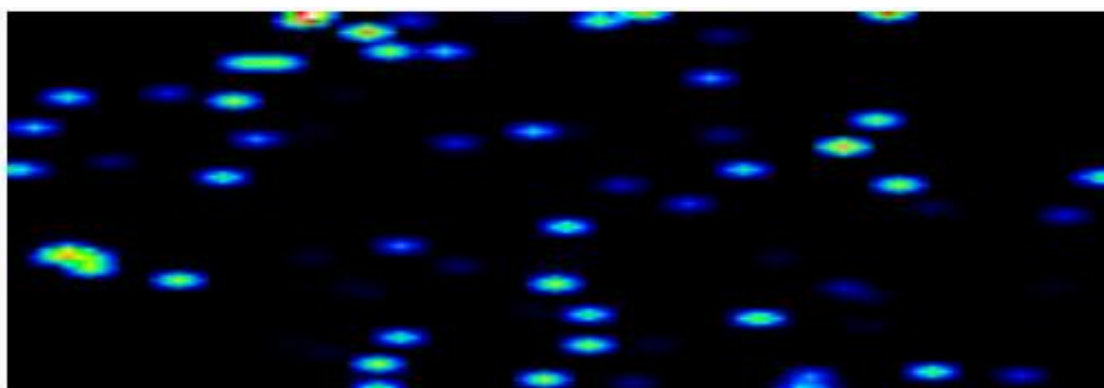
5.11 pav. Stabdžių signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 5 metrams nuo žibinto



5.12 pav. Stabdžių signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 10 metrų nuo žibinto

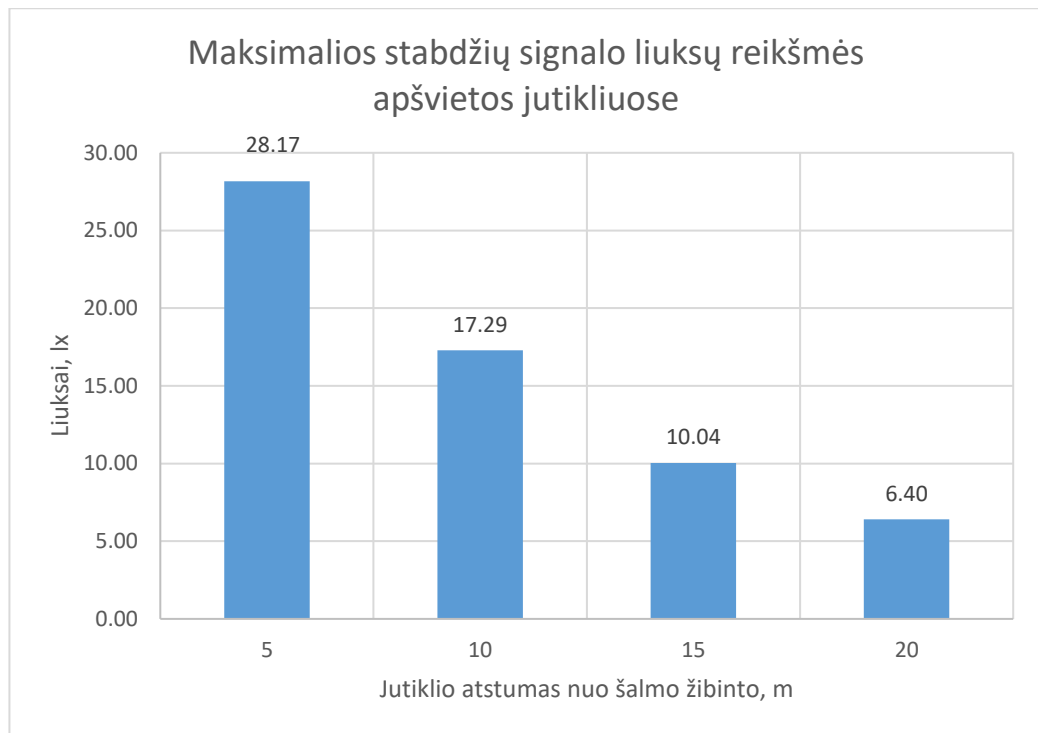


5.13 pav. Stabdžių signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 15 metrų nuo žibinto



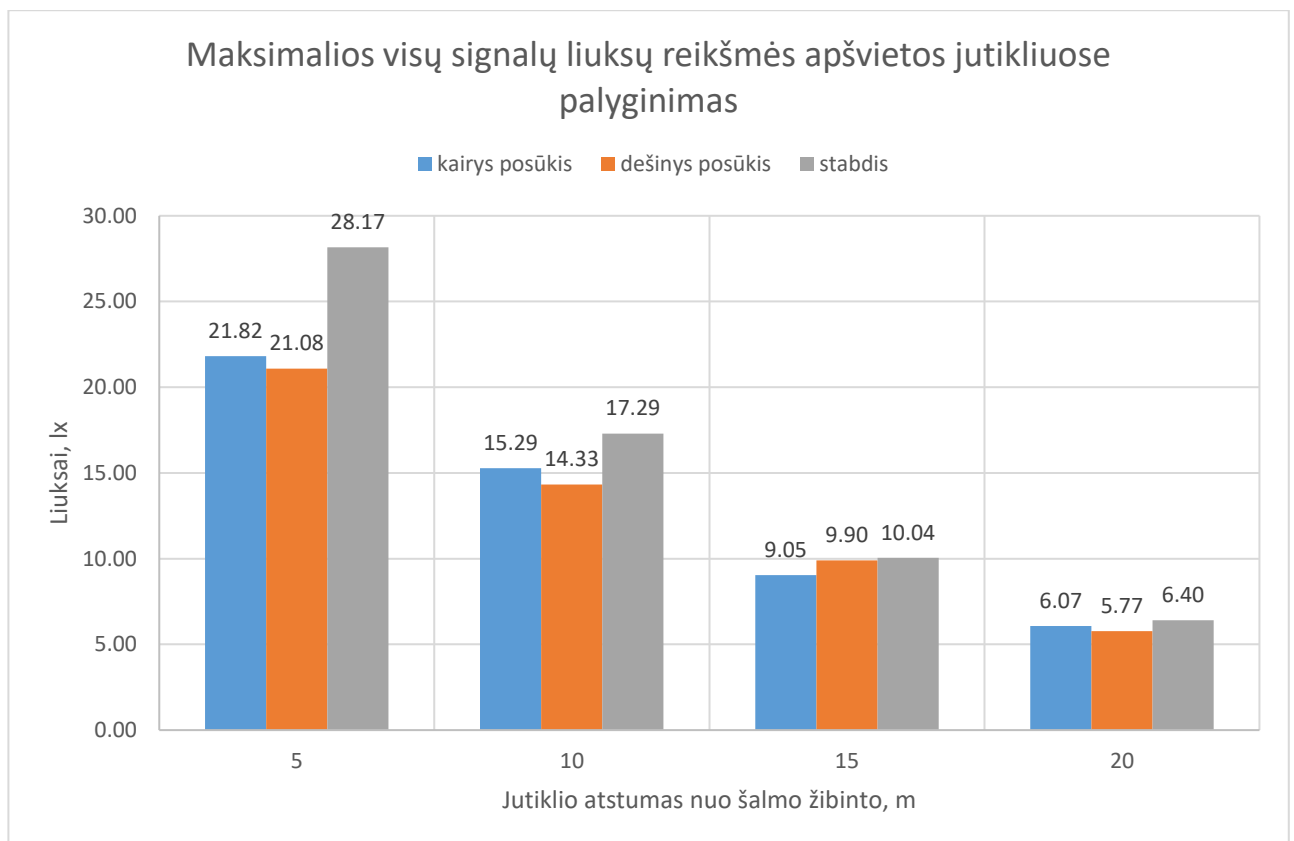
5.14 pav. Stabdžių signalo apšvietos jutiklio vizualizacija esant 20 metrų nuo žibinto

Stabdžių signalui taip pat atliekami penki simuliaciniai skaičiavimai, jog būtų galima išvesti maksimalios liuksų reikšmės vidurkį. Apatiniame paveiksle (žr. 5.15 pav.) vaizduojamos maksimalios stabdžių signalo liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose.



5.15 pav. Gautos maksimalios stabdžių signalo liuksų reikšmės apšvietos jutikliuose

Apatiniame paveiksle (žr. 5.16 pav.) pateiktas palyginimas maksimalių liukso verčių tarp kairės, dešinės posūkių signalų bei stabdžio signalo. Didžiausios reikšmės yra stabdžių signalo, kadangi naudojama 12 LED lempučių ir jos tiesiogiai šviečia į jutiklį. Jutikliams tolstant (15 ir 20 m) yra panašūs tiek posūkių, tiek stabdžių signalo rezultatai.

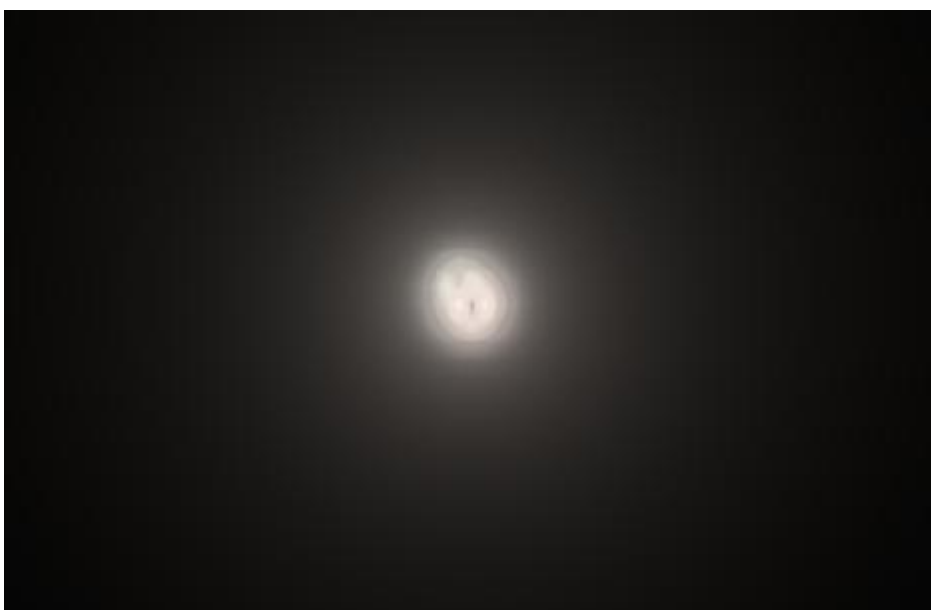


5.16 pav. Maksimalių liukso reikšmių palyginimas tarp įspėjamųjų signalų

Apačioje pateiktose nuotraukose galima matyti kairės pusės posūkio signalo matomumą skirtingais atstumais (žr. 5.17 pav.–5.20 pav.). Pasinaudojant žmogaus akies jutikliu ir žmogaus regėjimo režimu galima matyti, jog kairysis posūkis yra gerai matomas visais atstumais. Gautas skaitis lygus 17152 cd/m^2 .



5.17 pav. Kairės pusės posūkio signalo matomumas esant 5 metrams nuo jutiklio



5.18 pav. Kairės pusės posūkio signalo matomumas esant 10 metrų nuo jutiklio



5.19 pav. Kairės pusės posūkio signalo matomumas esant 15 metrų nuo jutiklio



5.20 pav. Kairės pusės posūkio signalo matomumas esant 20 metrų nuo jutiklio

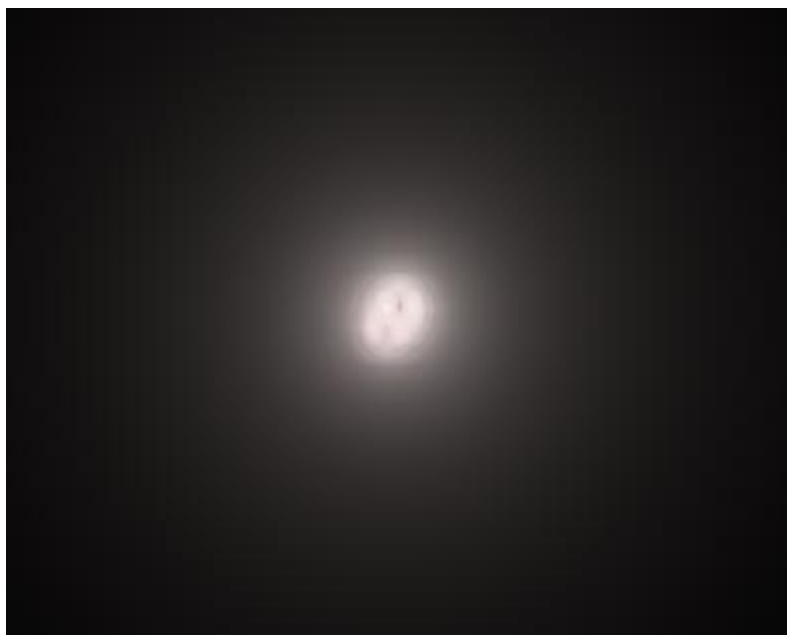
Apačioje pateiktose nuotraukose galima matyti dešinės pusės posūkio signalo matomumą skirtingais atstumais (žr. 5.21 pav.–5.24 pav.). Pasinaudojant žmogaus akies jutikliu ir žmogaus regėjimo režimu galima matyti, jog dešinysis posūkis yra gerai matomas visais atstumais. Gautas skaistis lygus 17152 cd/m^2 .



5.21 pav. Dešinės pusės posūkio signalo matomumas esant 5 metrams nuo jutiklio



5.22 pav. Dešinės pusės posūkio signalo matomumas esant 10 metrų nuo jutiklio

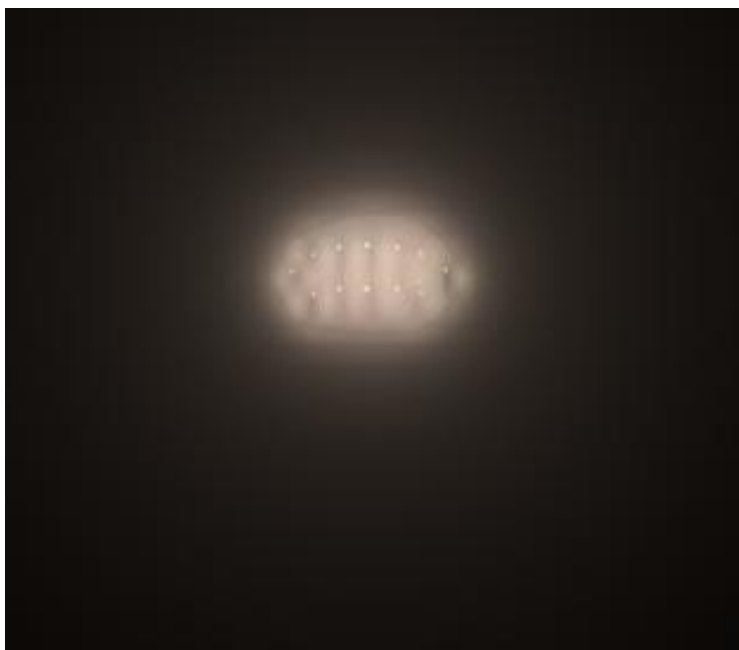


5.23 pav. Dešinės pusės posūkio signalo matomumas esant 15 metrų nuo jutiklio



5.24 pav. Dešinės pusės posūkio signalo matomumas esant 20 metrų nuo jutiklio

Apačioje pateiktose nuotraukose galima matyti stabdžių signalo matomumą skirtingais atstumais (žr. 5.25 pav.–5.28 pav.). Pasinaudojant žmogaus akies jutikliu ir žmogaus regėjimo režimu galima matyti, jog stabdžio signalas gerai matomas visoje distancijoje. Gautas skaistis lygus 30756 cd/m^2 .



5.25 pav. Stabdžių signalo matomumas esant 5 metrams nuo jutiklio



5.26 pav. Stabdžių signalo matomumas esant 10 metrų nuo jutiklio

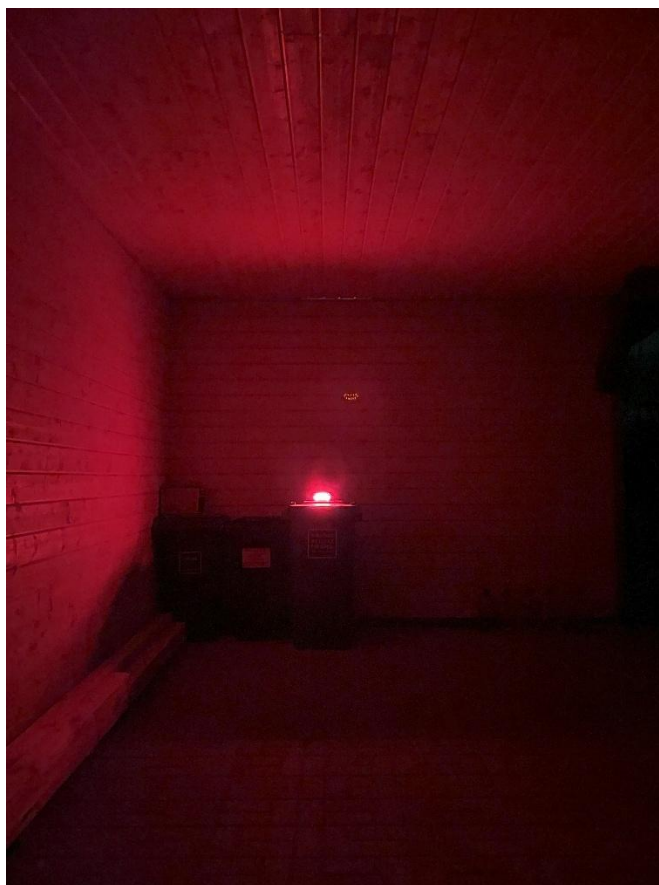


5.27 pav. Stabdžių signalo matomumas esant 15 metrų nuo jutiklio

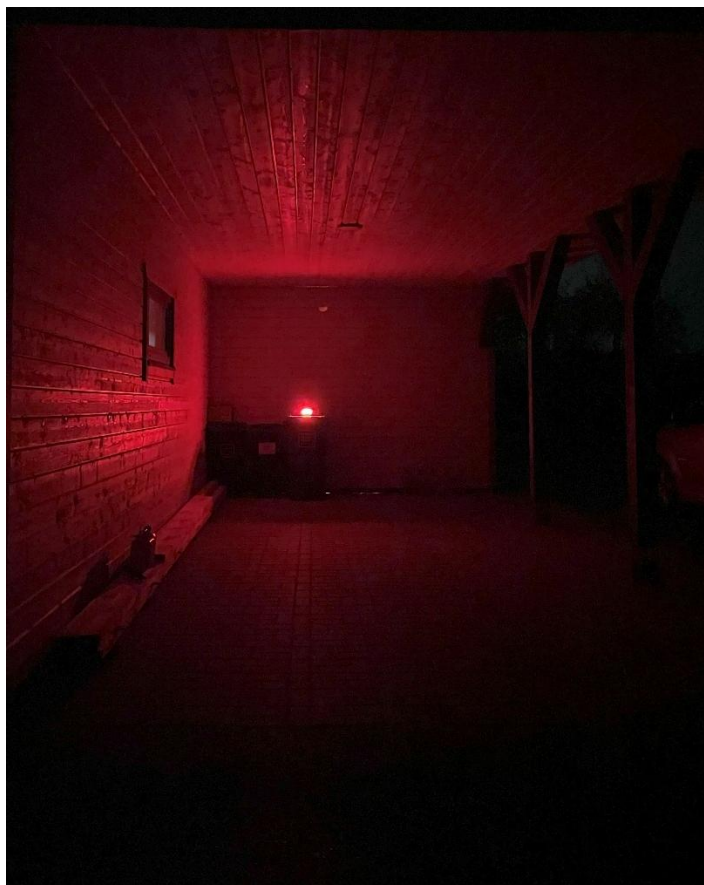


5.28 pav. Stabdžių signalo matomumas esant 20 metrų nuo jutiklio

Atliktas realus žibinto prototipo eksperimentinis matomumo tyrimas. Žibintas padėtas maždaug 130 cm aukštyje. Atliktos nuotraukos 5 m, 10 m, 15 m ir 20 m atstumais nuo žibinto. Žemiau pateiktos nuotraukos parodant kiekvieno signalo matomumą. Stabdis pasižymi didžiausiu ryškumu (žr. 5.29 pav.–5.32 pav.). Jis gerai matomas tiek artimoje, tiek tolimoje distancijoje.



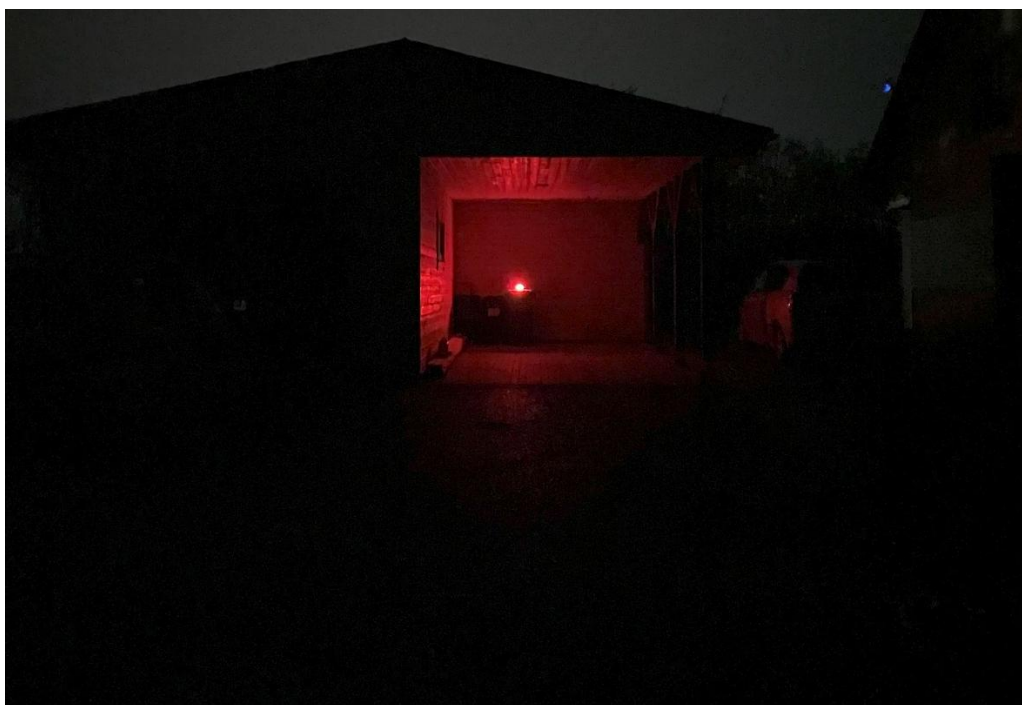
5.29 pav. Stabdžio matomumas nutolus per 5 metrus



5.30 pav. Stabdžio matomumas nutolus per 10 metrus

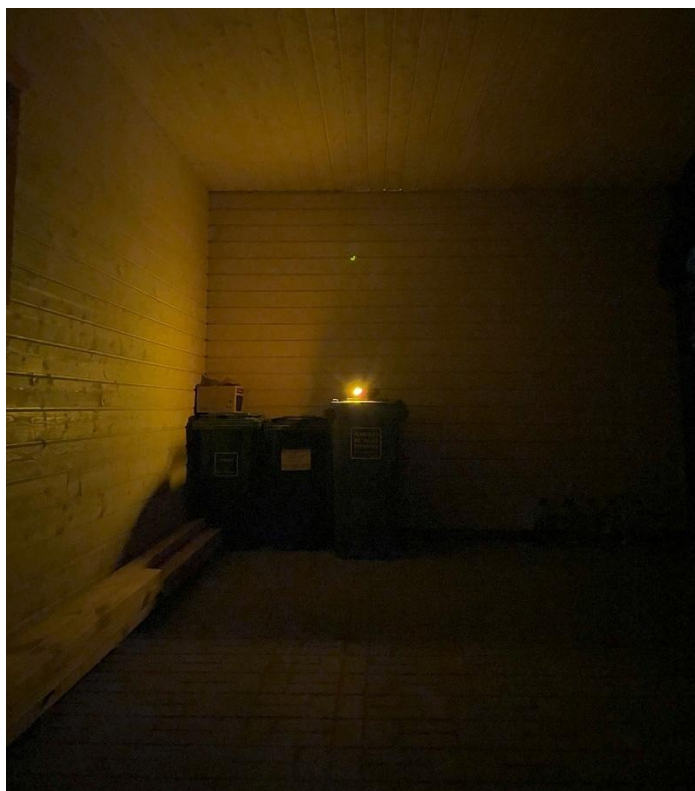


5.31 pav. Stabdžio matomumas nutolus per 15 metrų

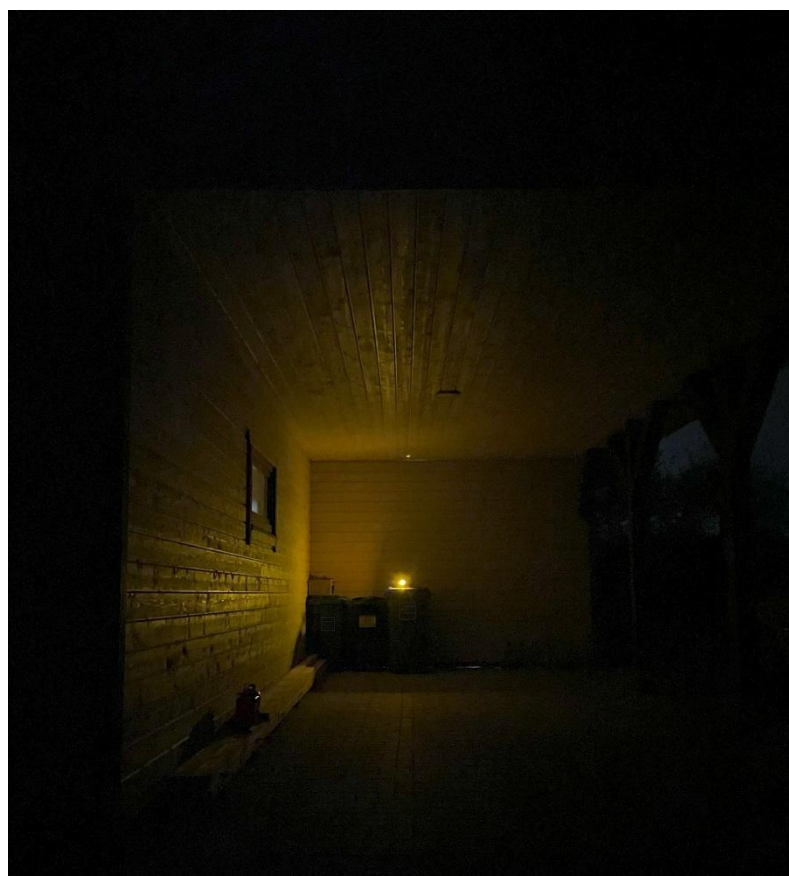


5.32 pav. Stabdžio matomumas nutolus per 20 metrų

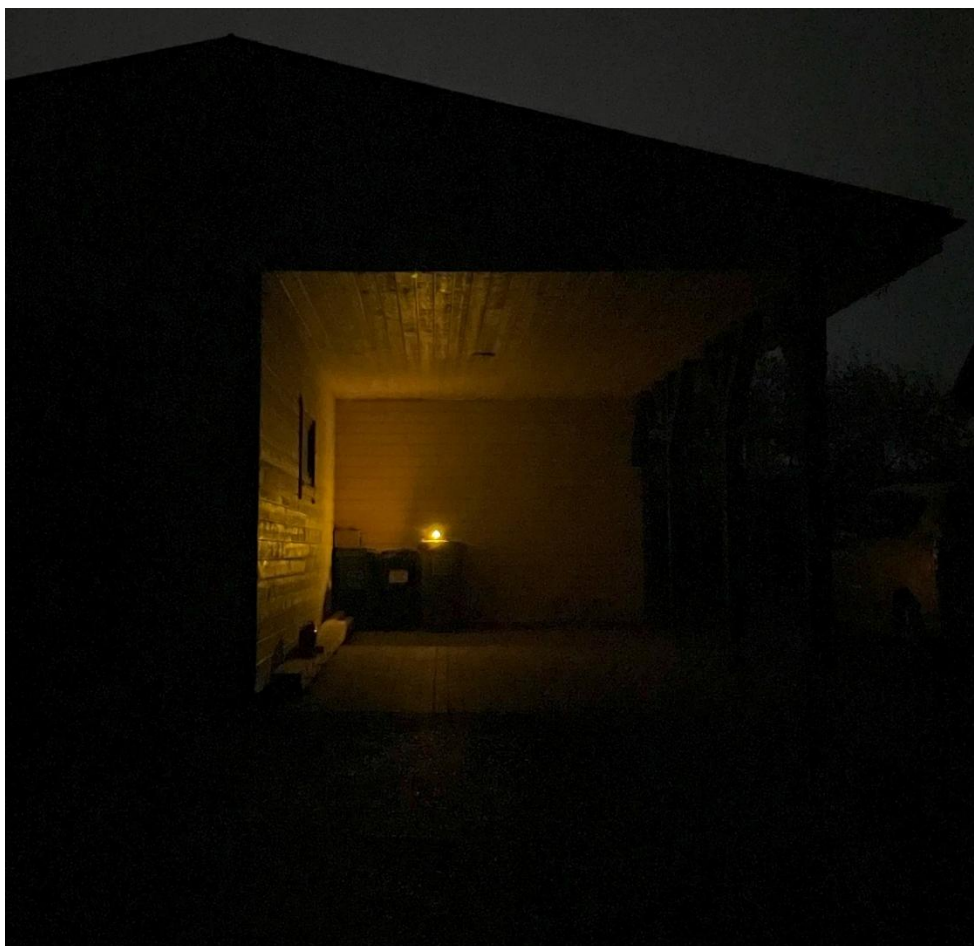
Atliekant kairiojo posūkio matomumo eksperimentą, jis taip pat matomas visoje distancijoje (žr. 5.33 pav.–5.36 pav.). 5 m ir 10 m distancijoje matoma, kurioje pusėje šviečia posūkis. Atsitraukus toliau, gali būti sunku pasakyti, kurioje pusėje jis šviečia. Tokiu atveju stabdis padeda atskirti, kurioje pusėje yra posūkis, kadangi jis šviečia ryškiau ir atsiranda kontrastas tarp dviejų signalų.



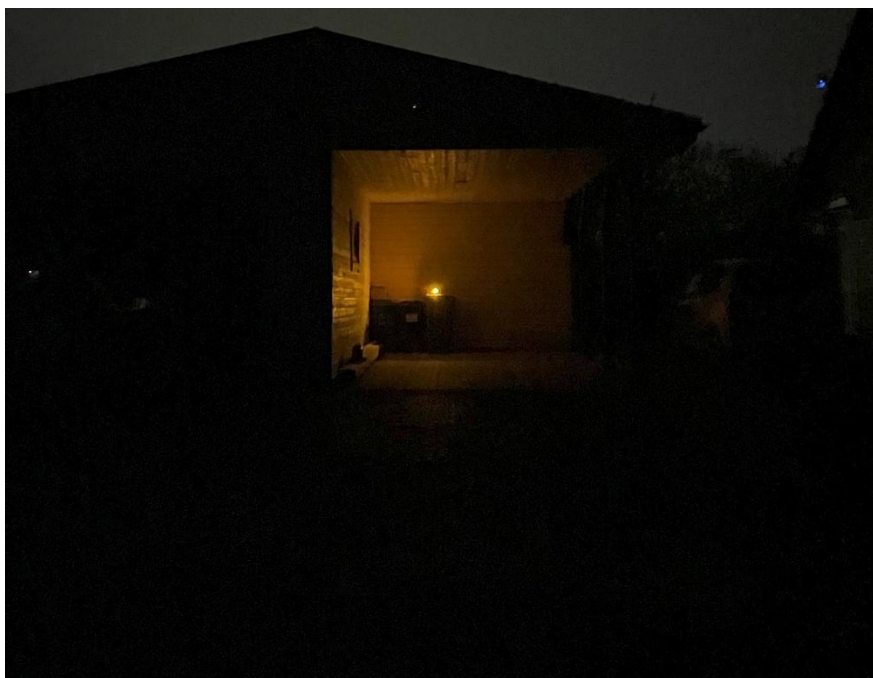
5.33 pav. Kairio posūkio matomumas nutolus per 5 metrus



5.34 pav. Kairio posūkio matomumas nutolus per 10 metrų

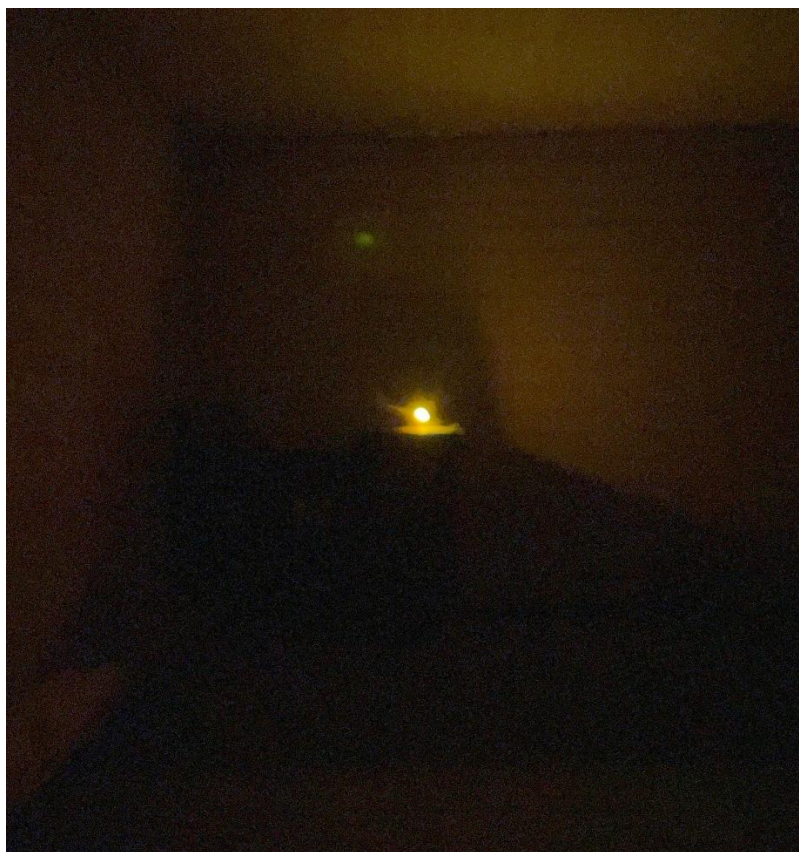


5.35 pav. Kairio posūkio matomumas nutolus per 15 metrų

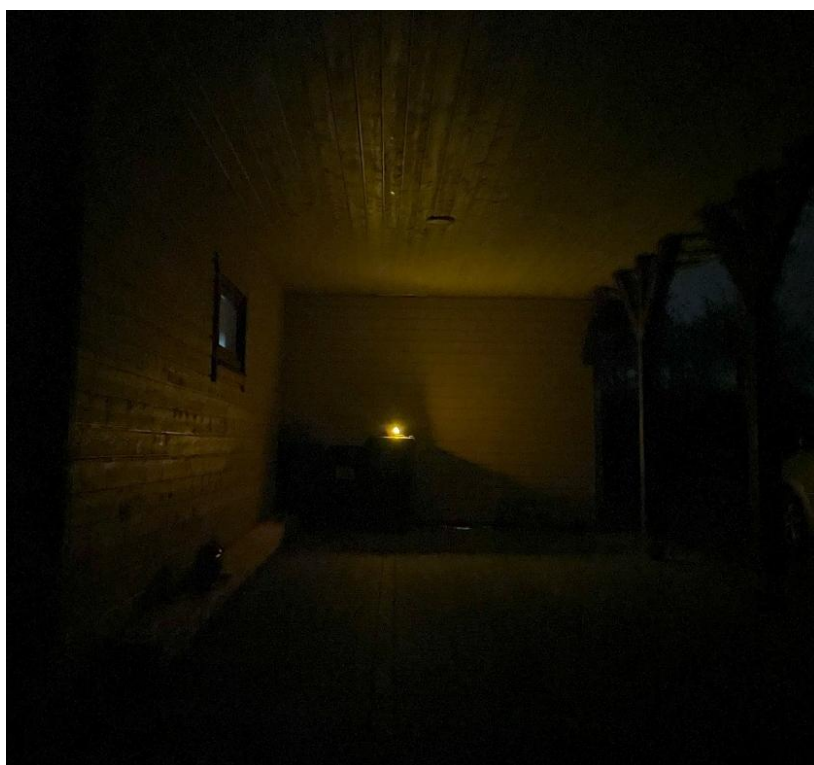


5.36 pav. Kairio posūkio matomumas nutolus per 20 metrų

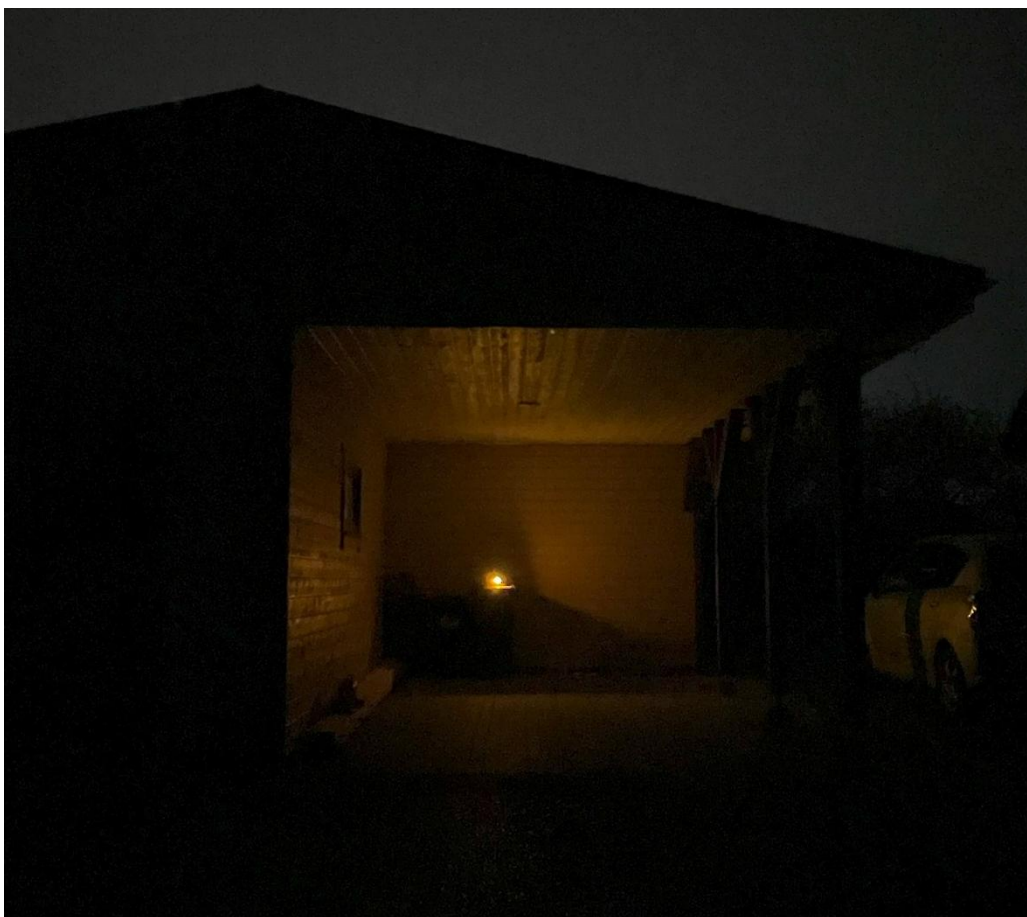
Dešinės pusės posūkis taip pat matomas visoje distancijoje (žr. 5.37 pav.–5.40 pav.). Iš arti galima matyti, kurioje pusėjė šviečia posūkis. Kaip ir kairės pusės posūkiui, taip ir dešiniam posūkiui geresnį pusės suvokimą suteiktų stabdžių signalas.



5.37 pav. Dešinio posūkio matomumas nutolus per 5 metrus



5.38 pav. Dešinio posūkio matomumas nutolus per 10 metrų



5.39 pav. Dešinio posūkio matomumas nutolus per 15 metrų

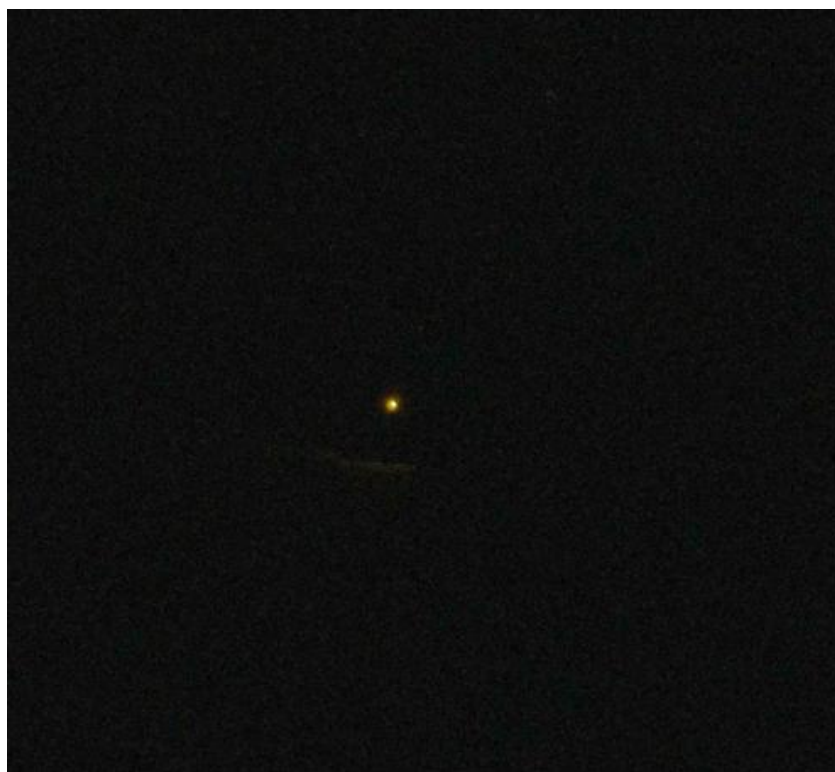


5.40 pav. Dešinio posūkio matomumas nutolus per 20 metrų

Pastatant žibintą kuo toliau, buvo nustatyti didžiausi atstumai, kada yra matomi žibinto signalai. Posūkių signalų didžiausias matomas atstumas yra ~50 metrų, stabdžių signalo didžiausias atstumas ~70 metrų. Esant didesniai atstumui gali būti sunku pastebėti žibinto signalus, ypač posūkių signalus, kadangi jie sudaryti iš mažiau šviesos diodų lyginant su stabdžių signalu.



5.41 pav. Stabdžių signalo matomumas nutolus per 70 metrų



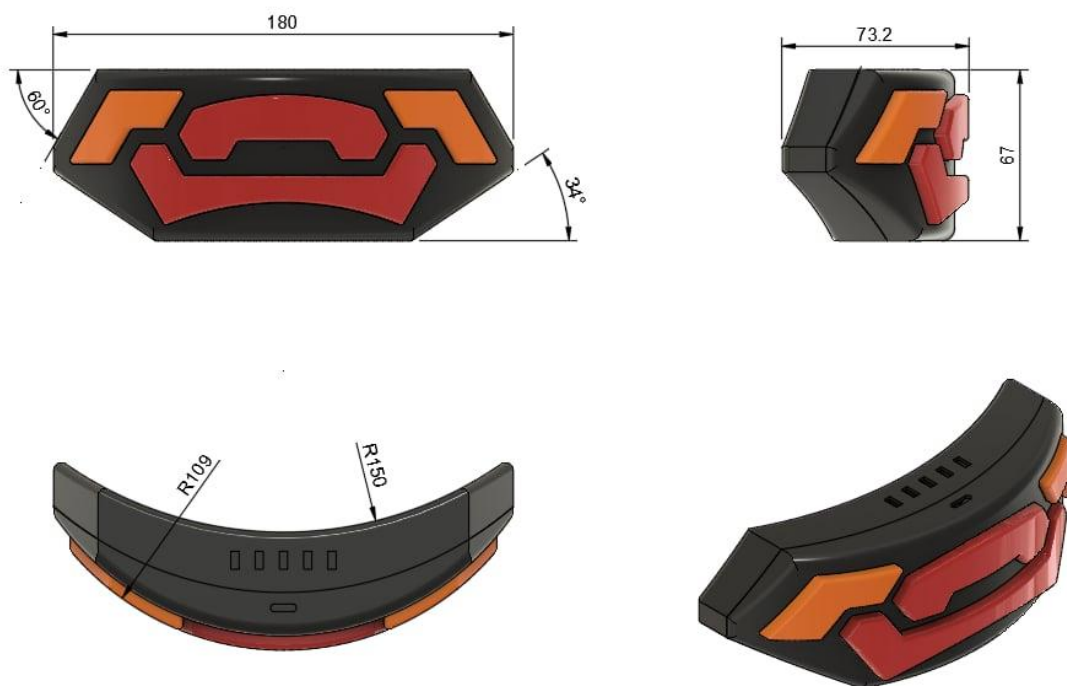
5.42 pav. Posūkio matomumas nutolus per 50 metrų

Rezultatų aptarimas

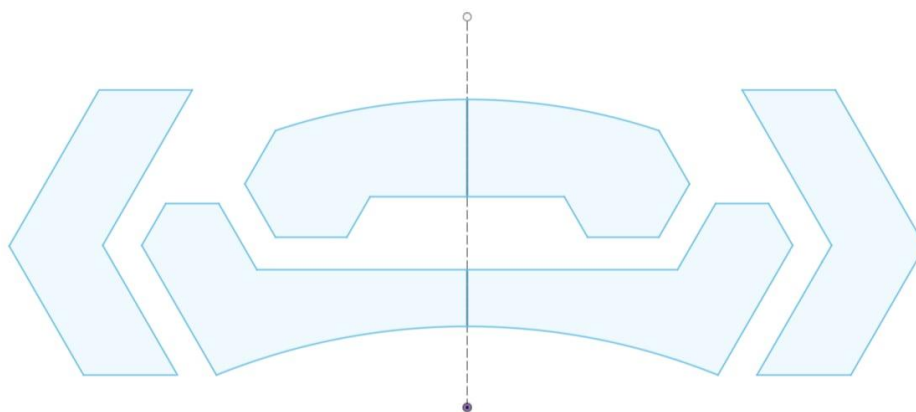
Skirtingais atstumais buvo vertinamas kairiojo ir dešiniojo posūkio ženklų matomumas ir apšviestumas. Didžiausias abiejų posūkio skaitis buvo 17152 cd/m^2 , kurio pakanka, kad už motociklo važiuojantys automobiliai juos matytų. Žmogaus akies vizualizacija parodė, kad PET-G medžiaga ir nurodytos optinės dangos efektyviai išsklaido šviesą, išlaikydamos gerą matomumą, kuris yra labai svarbus realiose eismo situacijose. Atlikus apšviestumo tyrimą, abu posūkių signalai pasižymėjo tolygiu spindulių pasiskirstymu, kai jutiklis nutolęs per 5 metrus. Tačiau jutikliams tolstant, spindulių kiekis ir maksimali apšvietos vertė krito.

Atlikus stabdžių signalo matomumo tyrimą, skaitis lygus 30756 cd/m^2 . Ši vertė didesnė, kadangi LED šviestuvų kiekis buvo didesnis. Nors stabdžių dangtelių plotas didesnis, tačiau tai netrukdė pasiekti didesnę šviesumą. Žmogaus akies simuliacija taip pat parodė, jog stabdžių žibintas yra gerai matomas net ir už 20 metrų. Atliekant apšvietos tyrimą, 5 m ir 10 m jutikliuose gautos didesnės apšvietos reikšmės nei posūkių signaluose, bet 15 m ir 20 m jutikliuose rezultatai yra labai panašūs. Panašias reikšmes gali lemti platus šviesos elementų švytėjimo kampas. Kai jutiklis yra artimesnėje distancijoje (5 m, 10 m), skleidžiama šviesa labiau koncentruota, tačiau jutikliams tolstant (15 m, 20 m), žibintas šviečia palyginus plačiu kampu ir į jutiklį patenka mažesnis kiekis spindulių.

Norint atlikti realų matomumo eksperimentą, sudarytas supaprastintas šalmo žibinto variantas be MPU modulio, ESP32 mikrovaldiklio plokštės ir korpuso fiksatorių. Kuriant pirminį korpuso variantą teko atlikti pirmus patobulinimus: padidinti korpuso matmenis, kad tilptų viduje reikalingos sudedamosios dalys. Žibinto ilgis ir aukštis išliko vienodas, pasikeitė storis bei galinės ir priekinės dalies spinduliai. Patobulintas prototipas su gabaritininiais matmenimis nurodytas 5.43 pav. Taip pat buvo pakeistas posūkių signalų dydis ir forma. Naujas posūkių signalų eskizas nurodytas 5.44 pav. Posūkių signalų forma primena rodyklių viršūnes. Didesni posūkiai leis patalpinti daugiau šviesos diodų, o rodyklės forma suteiks geresnį supratimą į rodomą signalą.



5.43 pav. Realus žibinto prototipo gabaritiniai matmenys



5.44 pav. Pakoreguotas posūkių žibintų eskizas

Išvados

1. Atlikus literatūros šaltinių analizę, nustatyta, kad motociklo matomumas yra viena iš priežasčių dėl ko įvyksta avarijos tarp motociklų ir kitų transporto priemonių. Užsienio transporto institucijos teigia, jog viena iš avarijų priežasčių yra motociklo ir jo vairuotojo matomumas. Matomumą lemia motociklo dydis, šviesos prietaisų kiekis ir dydis bei ryškių spalvų trūkumas. Atlikus šalmų žibintų rinkos analizę, nustatyta, jog nėra didelis žibintų pasirinkimas, ypač tokių žibintų, kurie sudaryti iš kairės ir dešinės posūkių signalų bei stabdžių signalo.
2. Sukurtas motociklininko šalmo žibinto modelis. Modelis sudarytas iš korpuso, šviesą sklaidančių dangtelių ir elektronikos. Korpusas sudarytas iš priekinės, galinės dalies bei fiksatorių. Korpusas pagamintas iš PLA plastiko. Šviesą sklaidantys dangteliai pagaminti iš PET-G skaidraus plastiko. Parinkti pagrindiniai elektronikos komponentai: LED šviesos diodai, dvi ESP32 mikrovaldiklio plokštės, maitinimo šaltinis, MPU modulis su integruotu giroskopu ir akcelerometru.
3. Atsižvelgiant į prietaisų kiekį ir dydį, sudarytas galutinis prototipas. Prototipo savikaina siektų ~60 eurų. Prietaiso masė ~150 gramų.
4. Atliktas matomumo ir apšvietos tyrimas su Ansys Speos. Matomumo tyrimo metu nustatytas visų žibinto signalų matomumas bei skaistis. Posūkių ir stabdžių signalų skaistis lygus, atitinkamai, 17152 cd/m^2 ir 30756 cd/m^2 . Nustatytas visų signalų matomumas visoje distancijoje su optine programa. Apšvietos tyrimo metu nustatytas spindulių kiekis jutikliuose bei maksimali paviršiaus apšvietimo reikšmė. Didžiausias spindulių kiekis nustatytas atliekant stabdžių žibinto simuliacijas, o posūkių signalų spindulių kiekis yra panašus visoje distancijoje. Atlikus apšvietos tyrimą, nustatytos maksimalios apšvietos reikšmės: 5 metrų jutiklyje – stabdžių signalas: 28,17 lx, kairys posūkis – 21,82 lx, dešinys posūkis – 21,08 lx; 10 metrų jutiklyje – stabdžių signalas: 17,29 lx, kairys posūkis – 15,29 lx, dešinys posūkis – 14,33 lx; 15 metrų jutiklyje – stabdžių signalas: 10,04 lx, kairys posūkis – 9,05 lx, dešinys posūkis – 9,90 lx; 20 metrų jutiklyje – stabdžių signalas: 6,40 lx, kairys posūkis – 6,07 lx, dešinys posūkis – 5,77 lx. Atliekant eksperimentinį tyrimą, nustatytas matomumas 5 m, 10 m, 15 m, 20 m atkarpose bei nustatytas didžiausias atstumas, kada vis dar gerai matomi žibinto signalai: stabdžių signalas – 70 m, posūkiai – 50 m.
5. Kuriant realų žibinto prototipą, padidintas korpusas, kad jame tilptų veikimui reikalinga elektronika. Siekiant padidinti korpuso tvirtumą, siūloma storį padidinti nuo 1 mm iki 2 mm. Siekiant pagerinti signalų švytėjimą, siūloma dangtelių storį padidinti nuo 1 mm iki 1,5 mm. Atlikus eksperimentinį matomumo tyrimą, siūloma pakeisti posūkių signalų formą, kuri panaši į rodyklės viršūnę.

Literatūros sąrašas

1. Different Types of Motorcycles (Cruisers, Sports, Adventure, Enclosed) | Explained.
2. GALES, Morgan. 8 Best Cruisers for Beginner Motorcycle Riders. [2022. Prieiga per: <https://www.motorcyclecruiser.com/5-cruiser-motorcycles-for-beginning-riders/>].
3. 13 Motorcycle Types, and how to Choose One. Prieiga per: <https://ride.vision/blog/13-motorcycle-types-and-how-to-choose-one/>.
4. Yamaha MT-09 SP Review . Prieiga per: <https://www.motorcyclistonline.com/story/reviews/yamaha-mt-09-sp-review-2021/>.
5. Michael Padway. A Beginner's Guide to Types of Motorcycles . Prieiga per: <https://www.motorcyclelegalfoundation.com/types-of-motorcycles/>.
6. Ollie Barstow. Track Suited Sport Stars | 10 Best Middleweight Sportsbikes of 2023. [202303 30]. Prieiga per: <https://www.visordown.com/features/top-10s/track-suited-sport-stars-10-best-middleweight-sportsbikes-2023-350-800cc>.
7. WEST, Phil. Top 10 Best Tourers (2023) + Five used Picks. Prieiga per: <https://www.bennetts.co.uk/bikesocial/news-and-views/features/bikes/best-touring-motorcycles>.
8. FERNANDES, F. A. O. ir ALVES DE SOUSA, R. J. Motorcycle helmets—A state of the art review. Accident Analysis & Prevention, vol. 56 (2013), pp. 1–21. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457513001036>..
9. Motociklininkų Šalmų Tipai. Prieiga per: <https://www.motomoto.lt/motociklininku-salmu-tipai>.
10. 6 Different Types of Motorcycle Helmets You should Know. Prieiga per: <https://www.fodsports.com/blog/different-types-of-motorcycle-helmets/>.
11. MILLS, N. J. ir GILCHRIST, A. Motorcycle Helmet Shell Optimisation. In: Proceedings: Association for the Advancement of Automotive Medicine Annual Conference, pp. 149–162. Association for the Advancement of Automotive Medicine, 1992..
12. PINNOJI, Praveen K. ir MAHAJAN, Puneet. Analysis of impact-induced damage and delamination in the composite shell of a helmet. Materials & Design, vol. 31 (2010), nr. 8, pp. 3716–3723. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306910001652>..
13. CERNICCHI, A.; GALVANETTO, U. ir IANNUCCI, L. Virtual modelling of safety helmets: practical problems. International journal of crashworthiness, vol. 13 (2008), nr. 4, pp. 451–467.
14. BEUSENBERG, Marc C. ir HAPPEE, Riender. An Experimental Evaluation of Crash Helmet Design and Effectiveness in Standard Impact Tests. In: Proceedings of IRCOBI Conference. Eindhoven, The Netherlands 1993..
15. GILCHRIST, A. Impact deformation of ABS and GRP motorcycle helmet shells. Plastics and Rubber Processing and Applications, vol. 21 (1994), nr. 3, pp. 141–150.
16. KOSTOPOULOS, V.; MARKOPOULOS, Y. P.; GIANNOPOULOS, G. ir VLACHOS, D. E. Crashworthiness study of composite motorcycle safety helmet. Composites Part B, vol. 33 (2002), pp. 99–107.
17. MELLOR, A. ir DIXON, P. No title. Improved motorcycle helmet design: the relationship between shell design and injury potential. Vehicle Engineering Resource Centre, TRL, Project Report-PR (1997).

18. MARKOPOULOS, Y. P.; VLACHOS, D. E. ir KOSTOPOULOS, V. Impact Response of a Polycarbonate Motorcycle Safety Helmet. In: Third National Congress on Computational Mechanics, Volos, Greece, pp. 609–616.1999..
19. CHANG, Li-Tung; CHANG, Guan-Liang; HUANG, Ji-Zhen; HUANG, Shyh-Chour; LIU, De-Shin ir kt. Finite element analysis of the effect of motorcycle helmet materials against impact velocity. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 26 (2003), nr. 6, pp. 835–843.
20. DECK, Caroline ir WILLINGER, Rémy. Multi-directional optimisation against biomechanical criteria of a head–helmet coupling. *International journal of crashworthiness*, vol. 11 (2006), nr. 6, pp. 561–572.
21. GIBSON, Lorna J. Cellular solids. *MRS Bulletin*, vol. 28 (2003), nr. 4, pp. 270–274.
22. DI LANDRO, Luca; SALA, Giuseppe ir OLIVIERI, Daniela. Deformation mechanisms and energy absorption of polystyrene foams for protective helmets. *Polymer Testing*, vol. 21 (2002), nr. 2, pp. 217–228.
23. VAN DEN BOSCH, Henricus Lambertus Antonius. Crash helmet testing and design specifications (2006).
24. GILCHRIST, A.; MILLS, N. J. ir KHAN, T. Survey of head, helmet and headform sizes related to motorcycle helmet design. *Ergonomics*, vol. 31 (1988), nr. 10, pp. 1395–1412.
25. HALIMI, M. Taher; HASSEN, M. Ben ir SAKLI, F. Design of a novel comfort liner for a motorcycle helmet. *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 5 (2012), nr. 2, pp. 128–134.
26. LLOYD, J. Crash-Related Motorcycle Helmet Retention System Failures. *J Forensic Biomech*, vol. 13 (2022), pp. 400.
27. DEREK LESLIE, Arnold. Visor and method of manufacture. JAV, . 2014. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US20140259321A1/en#citedBy..>
28. A Guide to Protective Motorcycle Gear. Prieiga per: [https://www.progressive.com/lifelanes/adventure/motorcycle-protective-gear/.](https://www.progressive.com/lifelanes/adventure/motorcycle-protective-gear/)
29. DE ROME, L.; IVERS, R.; FITZHARRIS, M.; HAWORTH, N.; HERITIER, S. ir kt. Effectiveness of motorcycle protective clothing: Riders’ health outcomes in the six months following a crash. *Injury*, vol. 43 (2012), nr. 12, pp. 2035–2045. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020138311005183..>
30. YOUSIF, Mustafa Talib; SADULLAH, Ahmad Farhan Mohd ir KASSIM, Khairil Anwar Abu. A review of behavioural issues contribution to motorcycle safety. *IATSS Research*, vol. 44 (2020), nr. 2, pp. 142–154. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038611121930072X..>
31. NHTSA. NHTSA Traffic Safety Facts 2021. Prieiga per: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/813466..>
32. NHTSA. NHTSA Traffic Safety Facts 2022. Prieiga per: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/813589..>
33. WOLTMAN, H. L. ir AUSTIN, R. L. Some day and night visual aspects of motorcycle safety. *Transportation Research Record*, vol. 502 (1974), pp. 1–8.
34. MOORE, David; HEBERT D., John; KNAPP, R. B.; GREENE, Richard ir LOH, Derek. Helmet lighting system. . ZERO NINE DESIGN, LLC ed., JAV, . 2007. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US7221263B2/en..>

35. Trailstrike Helmet Safety Light with Rechargeable Battery. Prieiga per: <https://www.ebay.com/itm/313489117622>.
36. X1 Smart LED HELMET. Prieiga per: <https://www.vata7.com/product-page/x1-smart-led-helmet>.
37. Brake Free Led Brake Light. Prieiga per: <https://www.brakefreetech.com/collections/frontpage/products/brake-free>.
38. „Audi A6 4F2 C6 Limousine“ (2008–2011) „Audi A6 4F2 C6“ (2008–2011 M. Prieiga per: <https://tuning-club.lt/92246-taillights-led-suitable-for-audi-a6-4f2-c6-limousine-2008-2011-red-smoke-facelift-design-with-sequential-dynamic-turning-lights>.
39. 2X Tail Light for Dodge Charger 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 Assembly. Prieiga per: <https://www.ebay.ca/itm/295914063699>.
40. What are the Advantages and Disadvantages of 3D Printing? . Prieiga per: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons>.
41. 3D klasė. Kas Yra PLA Ir PETG 3D Plastikai Ir Kokie Jų Skirtumai? . Prieiga per: Kas yra PLA ir PETG 3D plastikai ir kokie jų skirtumai?.
42. ESP32 WiFi + BT 4.2 - platforma su moduliu ESP-WROOM-32 suderinama su ESP32-DevKit. Prieiga per: <https://www.anodas.lt/esp32-wifi-bt-4-2-platforma-su-moduliu-esp-wroom-32-suderinama-su-esp32-devkit>.
43. Telefonų baterijos. Samsung Galaxy S3 i9300 Baterija 2850mah. Prieiga per: https://www.telefonubaterijos.lt/samsung-galaxy-s3-padidintos-talpos-baterija/3-samsung-galaxy-s3-i9300-i9301-baterija-akumuliatorius.html?utm_source=googleads&vt_keyword=&vt_campaign=17611636556&vt_adgroup=143833502608&vt_loc_interest=&vt_physical=9062292&vt_matchtype=&vt_network=g&vt_placement=&gad_source=1&gad_campaignid=17611636556&gbraid=0AAAAADRixkj6FjMs_k1vMZIBFgR0Nlx&gclid=Cj0KCQjwoNzABhDbARIsAlfY8VN1N21L9MSQSIsoOaK9YAnqpjynFFDE-iYTEMmIdQXXV8wpXLsApMaAnisEALw_wcB.
44. MPU6050 Trijų ašių giroskopo ir akselerometro modulis. Prieiga per: <https://www.anodas.lt/mpu6050-triju-asiu-giroskopo-ir-akselerometro-modulis>.
45. MCCAMY, Calvin S. Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates. Color Research & Application, vol. 17 (1992), nr. 2, pp. 142–144.
46. Osram. Osram Topled™, Lw Tvsg.Bb. Prieiga per: <https://ams-osram.com/products/leds/white-leds/osram-topled-lw-tvsg-bb>.
47. Honda Civic 5-Door. Prieiga per: https://www.the-blueprints.com/vectordrawings/show/3924/honda_civic_5-door/.
48. LENNIE, Peter; POKORNY, Joel ir SMITH, Vivianne C. Luminance. Journal of the Optical Society of America A, vol. 10 (1993), nr. 6, pp. 1283–1293.