



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

Deimantas Liubinas

AUTOMOBILIO VIRPESIŲ IR TRIUKŠMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Dr. Nerijus Partaukas

PANEVĖŽYS, 2017

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS**

AUTOMOBILIO VIRPESIŲ IR TRIUKŠMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Transporto priemonių inžinerija (kodas 621E20001)

Vadovas

Dr. Nerijus Partaukas

Recenzentas

Projektą atliko

Deimantas Liubinas

PANEVĖŽYS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Deimantas Liubinas

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Automobilio virpesių ir triukšmo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. birželio 9 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Deimanto Liubino**, baigiamasis projektas tema „Automobilio virpesių ir triukšmo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Deimantui Liubinui Grupė PMT-5

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Automobilio virpesių ir triukšmo tyrimas

Anglų kalba: Research on Vehicle Noise and Vibrations

Patvirtinta 2017 m. kovo mėn. 30 d. dekanı potvarkiu Nr. V-25-13-8

2. Darbo tikslas:

Nustatyti veiksnius nuo kurių priklauso virpesiai ir triukšmas važiuojančiame automobilyje.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Uždaviniai:

- *Išmatuoti triukšmą ir virpesius lengvojo automobilio salone;*
- *Palyginti matavimų rezultatus važiuojant skirtingomis sąlygomis: skirtingos kelio dangos, važiavimo greičiai ir slėgiai padangose;*
- *Nustatyti didžiausią įtaką turinčius veiksnius;*
- *Pateikti rekomendacijas leidžiančias sumažinti triukšmą ir virpesius automobilio salone.*

4. Projekto struktūra. *Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BP pobūdį.*

Santrauka, literatūros apžvalga, tiriamoji dalis, išvados, rekomendacijos ir literatūros sąrašas.

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

2017-06-02

Užduotį gavau: Deimantas Liubinas

(data)

2017-02-01

(studento vardas, pavardė, parašas)

(data)

Vadovas: Dr. Nerijus Partaukas

2017-02-01

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

TURINYS

TURINYS.....	5
SANTRAUKA.....	6
SUMMARY	7
IŽANGA.....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	9
2. TYRIMO METODIKA.....	22
2.1. Tyrimui naudotas automobilis	22
2.2. Tyrimo maršrutai.....	22
2.3. Tyrimams naudotas metodas.....	24
2.4. Tyrimo rezultatai.....	26
IŠVADOS.....	45
REKOMENDACIJOS	45
LITERATŪRA	48

Liubinas Deimantas. Automobilio virpesių ir triukšmo tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas Dr. Nerijus Partaukas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: *Transporto inžinerija, technologijos mokslai.*

Reikšminiai žodžiai: automobilio virpesiai, kelio kokybė, padangų slėgis, transporto priemonių triukšmas.

Panevėžys, 2017. 49 p.

SANTRAUKA

Šio baigiamojo magistrinio projekto darbo tikslas – automobilio virpesių ir triukšmo tyrimas. Projekte atlikta literatūros apžvalga automobilių bei jų sudedamųjų dalių virpesių ir triukšmo tematika. Pateikta koks triukšmas ir kokie virpesiai atsiranda automobilio salone važiuojant skirtingomis kelio dangomis (Panevėžio miesto asfaltas, užmiesčio asfaltas, žvyruotas kelias) bei kaip juos galima įtakoti (sumažinti). Taip pat pateikta koks triukšmas ir kokie virpesiai atsiranda automobilio salone važiuojant dirbtinėmis greičiui sumažinti skirtomis kliūtimis (iškili pėsčiųjų perėja, kalneliai „gulintis policininkas“, struktūrinio ženklavimo triukšmo juosta) kurios skirtos mus apsaugoti nuo nelaimės.

Nustatyta, kad važiuojant užmiesčio asfaltu 1,5 bar ar 3,0 bar slėgio padangomis virpesių pagreitis yra labai panašus, tačiau triukšmo lygis visuose tyrimo bandymuose užfiksuotas didesnis, kai važiuojame didesniu greičiu. Išsiaiškinta, kad važiuojant dienos metu ir nakties metu, ir lyginant tas pačias kelio atkarpas bei važiavimo greitį, ir slėgi padangose, triukšmui automobilio salone paros laikas įtakos neturi.

Liubinas, Deimantas. *Research on Vehicle Noise and Vibrations*. Master's thesis / supervisor Dr. Nerijus Partaukas; The Faculty Technology and Business, Kaunas University of Technology Panevėžys.

Research area and field: *Transport Engineering, Technology Sciences*

Key words: vehicle vibration, road quality, tyre pressure, vehicle noise.

Panevėžys, 2017. 49 p.

SUMMARY

The purpose of this Master's thesis is to research vehicle noise and vibrations. In the project, the literature on the issues of vehicle and vehicle parts noise and vibration has been reviewed. It has been revealed what noise and what vibrations occur inside a vehicle while driving on different road surfaces (Panevėžys city asphalts, out-of-town asphalts, gravel roads) and disclosed how vehicle noise and vibrations can be influenced (reduced). Also, it has been revealed what noise and what vibrations occur inside a vehicle while driving over the artificial speed reduction barriers (protuberant crosswalks, speed reduction ramps, structurally marked rumble strips) that have been built for road safety.

It has been found that while driving on out-of-town asphalts with the tires, the pressure of which is 1,5 and 3,0 bar, the acceleration of vibrations is very similar, but the level of noise is higher when the speed of driving is faster (this tendency was confirmed by all the tests performed during the research). The empirical research has also revealed that time of the day or the night does not have any significant effects on the level of noise inside a vehicle while driving along the same road section at the same speed, when tire pressure is the same.

IŽANGA

Komfortui šiuolaikiniuose automobiliuose skiriama labai daug dėmesio. Viena iš komforto sąlygų tylus salonas [1].

Virpesiai normuojami sanitariniu, higieniniu ir techniniu atžvilgiu. Saugos bei sveikatos išsaugojimo kriterijus nustato ribą, užtikrinančią profesinių ligų, avarijų, traumų, atsirandančių dėl virpesių, išvengimą ir sveikatos išsaugojimą. Virpesiams didelę įtaką turi automobilio padangos.

Triukšmas skatina streso hormonų išsiskyrimą, sukelia nepasitenkinimą, neigiamai veikia mokymo procesą, turi įtakos protinių užduočių atlikimui, kelia agresiją, mažina draugišką elgseną. Triukšminga aplinka turi įtakos žmonių santykiams, bendravimui, nuotaikai.

Mokslinėje literatūroje galima rasti informacijos, kad net vos stipresnis už įprastą kalbėjimą triukšmas sukelia galvos skausmus, svaigimą, cypimą ausyse, nemigą ketvirtadaliu sumažina žmogaus darbingumą. Triukšmas organizme pradeda grandininę reakciją bei mažina organizmo atsparumą kitiems poveikiams – pavyzdžiui, šalčiui ar karščiui [3].

Būdingus kraujotakos sutrikimus sukelia virpesiai. Visą kūną veikiančius virpesius dažniausiai patiria mašinų operatoriai (traktorininkai, ekskavatorininkai, vairuotojai, presuotojai bei štampuotojai, mechanikai, malūnsparnių pilotai) bei dirbantys su virpesius keliančia įranga gelžbetonio, statybinių medžiagų gamybos, kalnakasybos darbuotojai [4].

Darbo tikslas. Nustatyti veiksnius nuo kurių priklauso virpesiai ir triukšmas važiuojančiame automobilyje.

Uždaviniai:

- Išmatuoti triukšmą ir virpesius lengvojo automobilio salone;
- Palyginti matavimų rezultatus važiuojant skirtingomis sąlygomis;
- Nustatyti didžiausią įtaką turinčius veiksnius;
- Pateikti rekomendacijas leidžiančias sumažinti triukšmą ir virpesius automobilio salone.

Tyrimų metodai: literatūros analizė, tyrimų atlikimas ir rezultatų apdorojimas.

Darbo aprobavimas ir publikacijos. Dalyvauta studentų mokslinėje konferencijoje „Technologijų ir verslo aktualijos – 2017“, vykusioje Panevėžyje 2017 m. balandžio 28 d. Skaitytas pranešimas tema „Automobilio virpesių ir triukšmo tyrimas“.

Darbo apimtis ir struktūra. Baigiamąjį magistro projektą sudaro akademinio sąžiningumo deklaracija, baigiamojo projekto užduotis, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis, įvadas, du skyriai, bendrosios išvados ir literatūros sąrašas. Darbo apimtis 49 p.

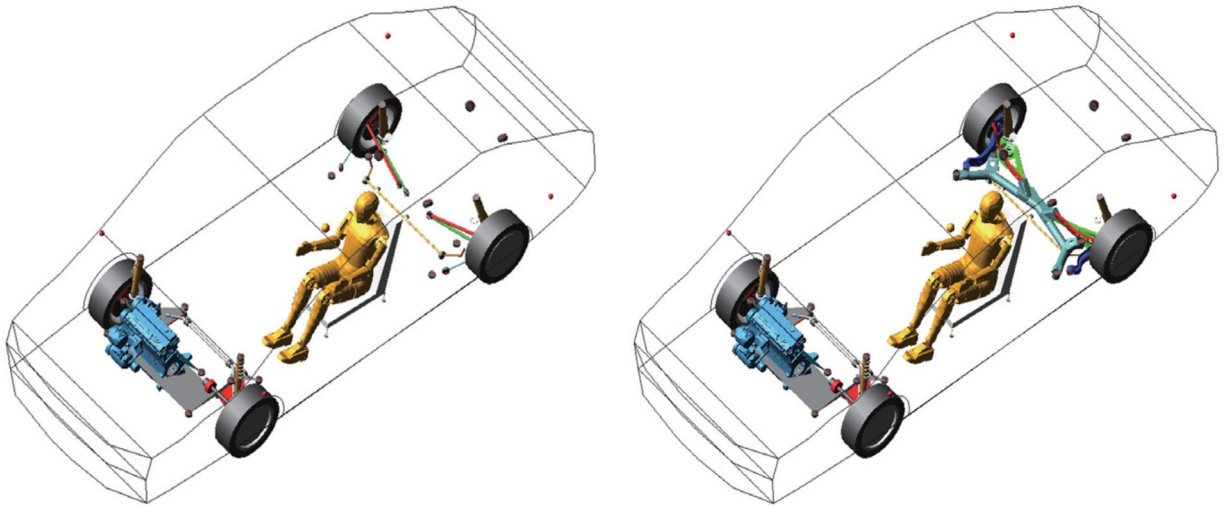
1. LITERATŪROS APŽVALGA

Komfortui šiuolaikiniuose automobiliuose skiriama labai daug dėmesio. Viena iš komforto sąlygų tylus salonas [1]. Šiame darbe tirti nauji automobiliai buvo suskirstyti į penkias grupes, pagal variklio darbinį tūrį, galią, gamintoją ir kitus parametrus. Automobiliai buvo testuojami skirtingų tipų keliuose – visuomeninės reikšmės keliuose bei trasose (viso 2000 km). Automobiliams vairuoti buvo pasirinkti 33 patyrę vairuotojai. Dalis jų buvo triukšmo ir vibracijų specialistai, kiti turėjo tik paviršutinišką supratimą apie šį reiškinį. Tyrimo metu nustatyta, jog vairuotojo išmanymas apie triukšmą ir vibracijos neturi įtakos jų suvokimui t.y. tiek ekspertų tiek ne ekspertų automobilio triukšmo ir vibracijų subjektyvūs vertinimas iš esmės buvo vienodas.

Papildomi testai atlikti akustikos laboratorijoje bei bandymo trasose (su standartizuota kelio danga) ir visuomeniniuose keliuose. Kadangi garso ir virpesių suvokimas yra subjektyvus, negalima triukšmo ir virpesių tirti vien objektyviais (instrumentiniais) matavimais. Autoriai pasiūlė statistinį modelį leidžiantį įvertinti ryšį tarp triukšmo parametrų ir akustinio komforto. Šis modelis leidžia prognozuoti tikėtiną, subjektyviai suvokiamą komfortą turint triukšmo matavimo duomenis. Taip galima gerokai sumažinti laiko ir kitų sąnaudų kaštus vertinant automobilio akustinį komfortą. Gautos tikimybinės lygtys leidžia patikimai prognozuoti subjektyvų triukšmo suvokimą, turint objektyvių matavimų duomenis. Atliktas palyginimas parodė jog bandymų standartizuotuose trasose rezultatai leidžia tiksliai prognozuoti akustinį komfortą automobilyje realiomis sąlygomis. Tai leidžia supaprastinti ir pagreitinti automobilių akustinius tyrimus.

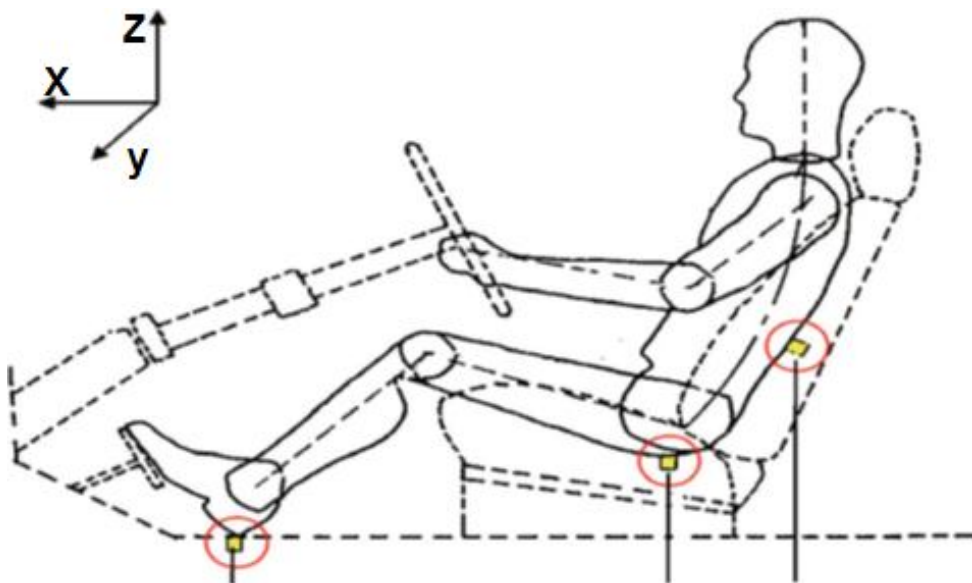
Kaip pažymi autoriai, nors pateiktos akustinio komforto skaičiavimo lygtys turi didelį koreliacijos koeficientą ($>0,9$) tai nepatvirtina paties modelio teisingumo. Pastebėtina ir tai kad tyrime nenagrinėjama konkrečių automobilio parametrų įtaka akustiniam komfortui. Pavyzdžiui, visai neaišku kaip šį komfortą veikia važiavimo greitis, padangų slėgis ar tipas ir pan. Atrodo viską galima padaryti su pasiūlytu modeliu, tai tik apskaičiuoti tikėtiną akustinį komfortą turint objektyvius virpesių ir triukšmo matavimų rezultatus. Tačiau tai nepadedą atsakyti į tokius svarbius klausimus kaip: „Nuo ko priklauso triukšmo ir virpesių lygis?“, „Ar galima juos sumažinti? Jei taip, tai kaip?“. Kita vertus gautos lygtys yra svarbios, nes leidžia prognozuoti keleivio suvokiamą akustinį komfortą, turint vien sensorių matavimo rezultatus. Taip ne tik supaprastinamos ir pagreitinamos, bet ir atpigina testavimo procedūros.

Transporto priemonių komforto įvertinimui yra atliekama daugybė tyrimų. Tyrimo objektas gali būti standžios ir standžios – lanksčios sankabos daugialypio korpuso transporto priemonių modeliai [2]. Šiame tyrime šie du modeliai ir pristatomi. Pirmasis modelis (1 pav.) yra sudarytas iš standaus korpuso, tuo tarpu antrajame modelyje galinė pakaba yra suformuota remiantis baigtinio elemento metodu (BEM) bei režimo pozicionavimo metodu, pagal kurį atsižvelgiama į komponentų deformacijas.



1 pav. Standžios sankabos modelis, standžios – lanksčios sankabos modelis [2]

Važiavimo simuliacijos skirtingais greičiais atliktos skaitmeniniu būdu suprojektuotame 3D kelyje, ir apskaičiuoti efektinės vertės (RMS) akceleracijai sėdimojo paviršiaus, atlošo ir pėdų srityse (2 pav.). Autoriai naudojo ne tiesioginį (pačių bandymų) atlikimo metodą, o naudojo baigtinių elementų (BEM) bei režimo pozicionavimo metodus. Simuliacinis tyrimas atliktas 3D kelyje neduoda tikslių rezultatų kuriuos galėtume gauti naudojantis tiesioginio tyrimo metodika. Tyrimai buvo atliekami kaip kelio nelygumai per transporto priemonę perduoda virpesius keleiviams. Keleiviai patiria pagreičių virpesius skirtingomis kryptimis (x, y, z), kurios sukelia keleiviams diskomfortą. Tokie virpesiai yra perduodami per transporto priemonę keleiviams jų sąlyčio metu su sėdynėmis, vairu ir pėdų susilietimu su automobilio grindimis.



2 pav. Matavimų taškai važiavimo komforto analizei [2]

Tyrimas buvo atliekamas skirtingais parametrais (skirtingi greičiai, skirtingi keliai, skirtingos kelio dangos). Keleivių komfortas yra tiesiogiai susijęs su važiavimu transporto priemonė keliu. Važiavimo komfortas vertinamas kaip svarbus elementas transporto priemonės dinamikoje. Atsižvelgiant į gautus rezultatus (1 lentelė) galime teikti, važiuojant su standžios sankabos modeliu efektinės reikšmės visada didesnės nei važiuojant su standžios – lanksčios sankabos medeliu. Kaip matome 1 lentelėje taip pat pateiktas santykinis skirtumas procentais, kokią įtaką turi efektinės vertės (RMS) reikšmėms standžios ir standžios – lanksčios sankabos medeliams. Šie tyrimai atliekami baigtinių elementų metodu (BEM), todėl, kad tyrimų kaštai yra maži ir galima gauti rezultatus artimus tikrovei.

1 lentelė [2]

Efektinė vertė (RMS)			
Greitis km/h	Standžios sankabos modelis	Standžios – lanksčios sankabos modelis	Santykinis skirtumas %
40 km/h	0,2909	0,2848	2,09
50 km/h	0,3218	0,3130	2,73
60 km/h	0,3659	0,3509	4,11
70 km/h	0,4548	0,4312	5,19
80 km/h	0,5599	0,5151	8,00

Nustatyti optimalias važiavimo komforto sąlygas reikia atlikti daugeli tyrimų [5]. Šiame darbe nustatomi amortizatoriaus, padangų slėgio bei vairavimo geometrinio kampo įtaka, siekiant užtikrinti optimalų važiavimo komfortą pagal ISO 2631-1:1997 standartus. Tyrimo metu buvo važiuojama skirtingais greičiais bei pritaikant eksperimentinio dizaino (DOE) metodą. Eksperimento tikslas, sukurti ketvirčio automobilio testavimo įtaisą, kuris integruojamas į NI LabVIEW® – duomenų gavimo sistemą. Autoriai pasiruošė šešis skirtingus parametrus, kuriuos vertins – padangų slėgio, amortizacijos koeficiento, standumo, lingių masės, ašies išlinkio ir galinės dalies suvedimo bei rato greičio variacijai iš anksto nustatyto diapazono ribose. Eksperimentinio dizaino metodas buvo taikomas, siekiant nustatyti optimalias kiekvieno parametro reikšmes. Tiriant šešis didžiausius įtakos važiavimo komfortui turinčius parametrus (padangų slėgio, amortizavimo koeficiento, standumo, lingių masės, ašies išlinkio ir galinės dalies suvedimo bei rato greičio variaciją iš anksto nustatytame diapazone) buvo sukurtas ketvirčio automobilio testavimo įtaisas. Vykdam tyrimus buvo atsižvelgiama į tarptautinį standartą ISO2631-1:1997. Tyrimai buvo vykdomi su testavimo įrenginiu su tikromis atskiromis automobilių detalėmis. Gauti rezultatai yra labai artimi tikroms važiavimo sąlygomis ir yra 82,2% tikslumo.

Gauti rezultatai patvirtina, kad bandymas buvo atliktas gerai ir reagavimo optimizavimas yra $0,2663 \text{ m/s}^2$, bandymo stendo eksperimentinė vertė $0,302 \text{ m/s}^2$ (važiavimo komfortas). Tai patvirtinama, kad eksperimentinis modelis yra labai artimas tikroms važiavimo sąlygoms.

Kaip pažymi autoriai nustatydami optimalias važiavimo komforto sąlygas buvo pastebėta kad lingių masės ir amortizavimo koeficientai yra labiausiai važiavimo komfortą įtakojantys parametrai.

Nustatyti visi 6 parametrai kuriems esant išgaunamas didžiausias važiavimo komfortas. Šis ketvirčio automobilio testavimo įtaisas yra ganėtinai tikslus ir gali būti naudojamas išsamiems tyrimams vykdant pakabos triukšmo tyrimus bei kaip išgauti pačius geriausius rezultatus, tačiau tyrimai buvo atliekami su atskiromis automobilių detalėmis, o ne su visa detalių visuma. Atliekant tyrimus su atskiromis detalėmis galime įtakoti pačios detalės parametrus taip iškreipdami tyrimų rezultatus. Atrodytu, kad visų atskirų detalių tyrimo rezultatai geri, tačiau sujungus visas detales galime gauti žymiai prastesnius tyrimų rezultatus nei tirdami atskiras detales.

Važiuojant automobiliu tylus automobilio salonas yra didelis privalumas [6]. Kas ženkliai įtakoja keleivių psichologinius ir fiziologinius pojūčius, buvo atliktas šoko amortizatoriaus triukšmo tyrimas. Šiame tyrime sukurta nauja garso kokybės matavimo sistema, pagrįsta Wigner–Ville skirstiniu (SMWVD). Ši sistema leidžia ištirti ryšį tarp subjektyvių vertinimų bei motorinės transporto priemonės šoko amortizatoriaus triukšmo, kuris ženkliai įtakoja keleivių psichologinius ir fiziologinius pojūčius.

Norint įvertinti motorinės transporto priemonės pakabos šoko amortizatoriaus triukšmo lygį, atliktas išsamus motorinės transporto priemonės testavimas kelyje (3 pav.). Tyrimo metu amortizatoriaus triukšmas buvo subjektyviai įvertintas 20-ties ekspertų grupės. Tradiciniai psichoakustiniai indeksai, tokie kaip garsumas, aštrumas, šiurkštumas bei svyravimo stiprumas, buvo naudojami apskaičiuoti koreliacijoms koeficientams tarp objektyvių ir subjektyvių vertinimų. Po vertinimų gauti rezultatai palyginti su garso matavimo sistemos SMWVD rezultatais. Nustatyta, kad tradiciniai garso kokybės matai (garsumas, aštrumas, šiurkštumas bei svyravimo stiprumas) silpnai koreliuoja su subjektyviais žmogiškaisiais triukšmo vertinimais. Tačiau koreliacijos koeficientai tarp SMWVD ir subjektyvių vertinimų viršijo 0,9 tiek vertinant vienetinių, tiek masinės gamybos motorinių transporto priemonių šoko amortizatoriaus triukšmą. Dėl šios priežasties, SMWVD indeksas gali būti naudojamas, siekiant įvertinti ir minimizuoti šoko amortizatoriaus triukšmą automobiliuose. Tokie tyrimai kainuotu mažiau bei nereikėtų papildomai atlikti tyrimus su ekspertais.



3 pav. Mikrofonų įtvirtinimas tyrimo metu [6]

Triukšmo mažinimas automobilio salone padidina vairuotojo ir keleivio važiavimo komfortą automobilyje [7]. Šiame darbe tirta trinties slopinimo sluoksnio įkomponavimas tarp plieninių ir aliuminių dalių hibridinio rato ratlankyje ar šis sluoksnis padės padidinti amortizacijos galią ir važiavimo komfortą. Pagamintas 17 colių tradicinis aliuminio ratas (jau su įkomponuotu trinties slopinimo sluoksniu, 4 pav.), atlikti matavimai, bandymai ir testai.



1 Žingsnis
Nuimamas viršutinis sluoksnis



2 Žingsnis
Pritvirtinamas nailono sluoksnis



3 Žingsnis
16 sluoksnių pritvirtinimas



4 Žingsnis
Silikono formos montavimas



5 Žingsnis
Degazavimo dulkių maišas



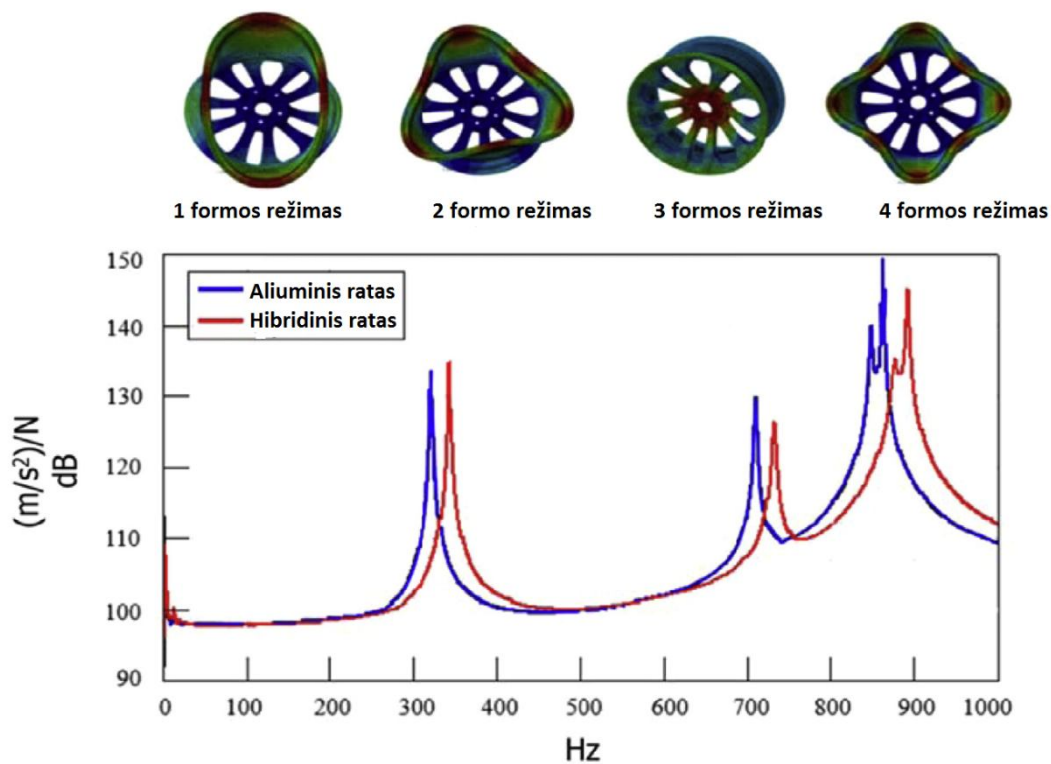
6 Žingsnis
Galutinis produktas

4 pav. Hibridinio rato gamybos procesas [7]

Pats ratas tapo ne tik lengvesnis ir standesnis nei tradicinis aliuminio ratas, bet dar ir tylesnis. Atliekant ketvirčio kampo modulio NVH testus, buvo matuojamas rato zvimbimo lygis (50–150 Hz) ir ertmės rezonanso triukšmas (183–233 Hz, 5 pav.). Esant 60 ir 80 km/h greičiui, triukšmo lygiai, matuojami nuo jungties vietos kryptimi iš viršaus į apačią, atitinkamai siekė apie 105 ir 111 dB, o matuojant kryptimi iš priekio į galą – atitinkamai 110 ir 115 dB. Testavimo rezultatai atskleidė, kad hibridinis ratas leidžia sumažinti ertmės rezonanso triukšmą 2,7 dB, o zvimbimo triukšmą – 1,2 dB. Palyginus su aliuminio rato parametrais, hibridinio rato triukšmo lygis buvo mažesnis 0,1–1,1 dB ir tai leido padidinti važiavimo komfortą sumažinus virpesių lygį.



(a)



(b)

5 pav. Atsparumo bandymas virpesiams [7]

Siekiant įvertinti hibridinio rato eigos parametrus, atlikti trijų tipų ilgaamžiškumo testai (sukimosi dėvėjimosi, rotacinio lenkimo dėvėjimosi bei smūgio). Atliekant testus, nenustatyta jokių struktūrinių problemų, tokių kaip trūkiai ar atsilupimas.

Panaudojant FBG jutiklį, taip pat išmatuota hibridinio rato terminė įtampa šiluminio formavimo metu. Nustatyti aukšti gniuždymo įtempiai, kurie palengvina dviejų medžiagų, naudojamų hibridiniame rate, mechaninį sutvirtinimą. Taigi, tyrimais patvirtinta, kad hibridinis ratas pasižymi pakankamu struktūriniu standumu, ir tuo pat metu turi didesnę amortizavimo galią.

Šio tyrimo rezultatai gali būti naudingi projektuojant ir gaminant patobulintus hibridinius ratus su aukšta amortizavimo galia, kuri padidina važiavimo automobiliu komfortą. Be to, ši technologija gali būti taikoma, siekiant pagerinti įvairių automobilio komponentų ir struktūrinių sistemų mechaninį veikimą.

Šio tyrimo rezultatai gali būti naudingi ateityje tobulinant hibridinius ratus su aukšta amortizavimo galia, kuri padidina važiavimo automobiliu komfortą. Triukšmo lygis nedaug sumažėjo, tačiau ir nedidelis triukšmo sumažinimas yra didelis pasiekimas, kuris prisideda prie komforto gerinimo. Be to, ši technologija gali būti taikoma, siekiant pagerinti įvairių automobilio komponentų ir struktūrinių sistemų mechaninį veikimą.

Važiuojant autobusu iš vieno miesto į kitą visada norisi kuo greičiau nuvažiuoti, važiuojant autobuse norisi jaustis komfortabiliai [8]. Šiame darbe analizuojami virpesių poveikiai tarpmiestinių autobusų IK-301 keleivių komfortui (6 pav.). Virpesių poveikis vertintas remiantis viešojo transporto priemonių komforto standartinių kriterijų rinkiniu, įtvirtintu 1997 ISO 2631-1 standartuose. Vertinamas komforto lygis autobuso vairuotojui, keleiviams vidurinėje autobuso dalyje bei keleiviams galinėje autobuso dalyje. Be to, leistinas virpesių poveikio vairuotojui laikas sumažinto komforto sąlygomis buvo nustatytas pagal 1978 ISO 2631-1 standartus.



6 pav. Tarpmiestinis autobusas IK-301 [8]

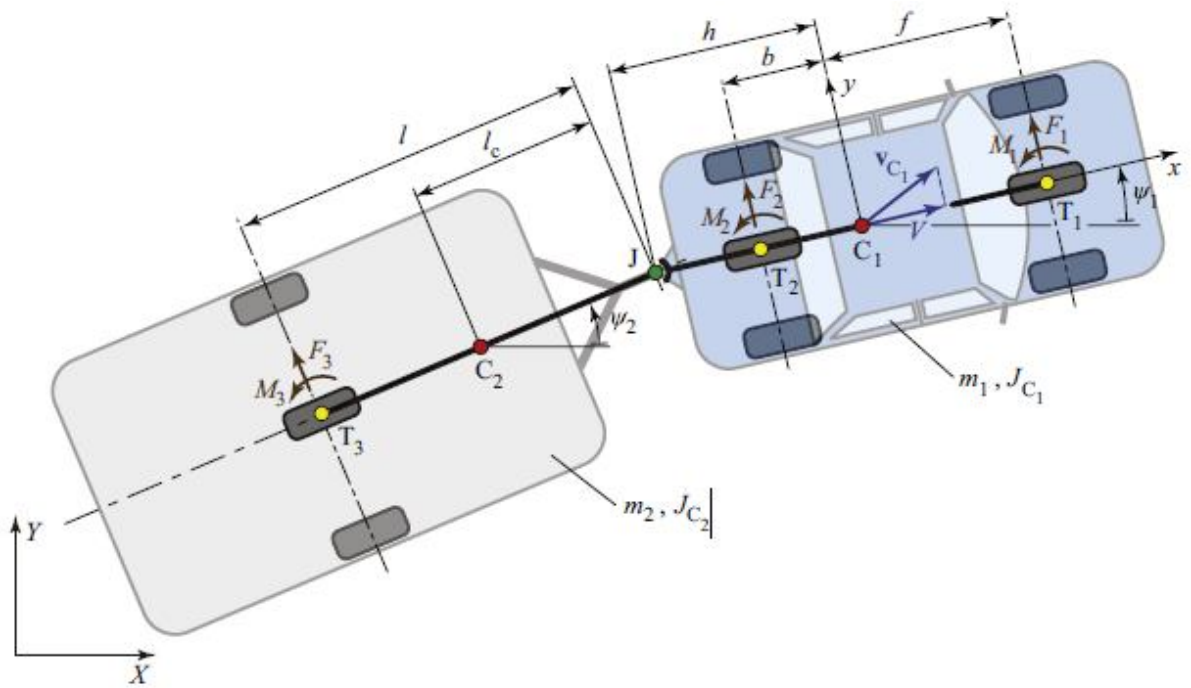
Nustatyta, kad leistinas virpesių poveikio vairuotojo organizmui laikas mažėja, kai vairuotojo sėdimosios vietos pakabos sistemos lingių standumas didėja. Šiame tyrime naudota simuliacija ir programine įrangą MATLAB. Apskaičiuoti virpesius sukurtas dešimties laisvės laipsnių autobuso erdvinis virpesių modelis. Modelis buvo kuriamas remiantis H. Braun galios spektro tankio modeliu, sukuriant asfaltbetonio kelio šiurkštumą. Remiantis atliktais tyrimais

matome, kad tiek autobuso vairuotojo tiek keleivio esančio autobuso viduryje ir keleivio esančio autobuso galinėje dalyje virpesių poveikis skirtingas. Vairuotojo virpesių poveikis priklauso nuo lingių standumo bei šoko amortizacijos vairuotojo sėdimosios vietos pakabos sistemoje. Kuo mažesnė jėga veikia linges tuo vairuotojas ir keleiviai patiria mažesnius virpesius. Virpesių poveikis žmogaus organizmui yra labai žalingas. Šio tyrimo metu sudarytą modelį galima pritaikyti kitų virpesių tyrimų analizei. Pagal atliktus simuliacijos rezultatus sėdimose vietose, kurių lingių standumas yra mažesnis, keleiviai patiria ilgesnį virpesių poveikio laiką, ir jų komforto lygis sumažėja. Jeigu lingių standumas sumažėja iki 50 %, leistinas virpesių poveikio laikas padidėja apie 50%, ir atvirkščiai. Jeigu sėdimosios vietos lingių standumas yra 5000 N/m, tai leistinas virpesių poveikio laikas 24 val. Jeigu lingių standumas 15000 N/m, tai leistinas virpesių poveikio laikas 8 val. Galime teigti, kad keleivių buvimo vieta autobuse gali būti ne tiek svarbi kaip svarbus lingių standumas.

Atliekant šiuos tyrimus bei naudojant tik imitacinį modeliavimą, rezultatai negali būti priimti kaip rezultatai kurie gauti eksperimentiniu metodu. Realybėje ne visada imitaciniu modeliavimu atlikti tyrimai atitinka tikrus tyrimus.

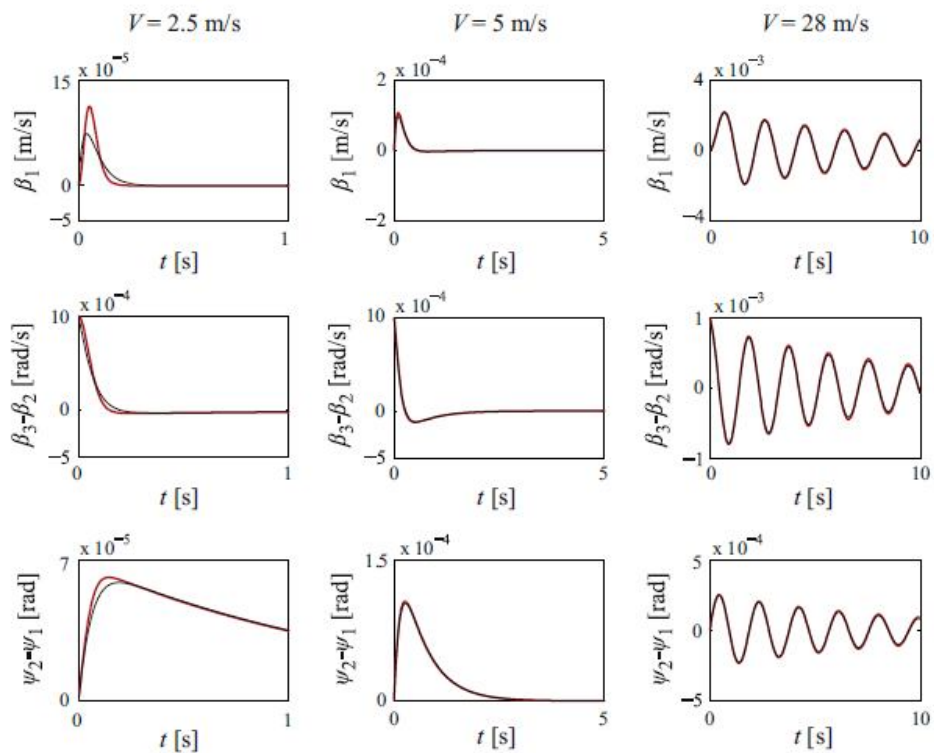
Šie tyrimai yra nebrangus nes yra naudojama imitacinis modelis. Atlikti tyrimus realiomis transporto priemonėmis yra ganėtinai brangu, todėl ir yra kuriami imitaciniai modeliai, kad juose būtų galima atlikti kuo įvairesnius tyrimus panaudojant kaip įmanoma mažesnius kaštus.

Važiuojant automobiliu keleivius ir vairuotoją veikia tiek virpesiai tiek triukšmas. Tačiau važiuojant automobiliu, kai prie jo prijunta priekaba tiek virpesius tiek triukšmą pakeičia [9]. Šiame darbe analizuojama automobilio su priekaba šoninė ir vingiavimo dinamika pagal vienos trasos mechaninį modelį. Darbe apskaičiuotos padangos ir kelio sąveikos šoninės jėgos ir lygiavimo momentai, atsižvelgiant į momentines šonines deformacijas kontakto vietose. Slenkamojo judesio tiesinio stabilumo analizė atlikta atsižvelgiant į analitiniu būdu nustatytas tipines sistemos funkcijas. Remiantis transporto priemonės išilginio greičio ir naudingosios priekabos apkrovos duomenimis, sudarytos stabilumo schemas. Nustatyti savaime atsirandantys šoniniai virpesiai esant mažam bei dideliu transporto priemonės išilginiam greičiui. Taip pat ištirtas padangų parametrų poveikis. Šis tyrimas buvo atliekamas pasinaudojant Appell–Gibbs lygtimi kuri buvo sudaryta pastoviam išilginiam transporto priemonės greičiui. Padangos aprašomos pagal vadinamąjį „atsiliekančios“ padangos modelį, kuris yra pagrįstas lietimosi parametrų vertinimu esant riedėjimo kontaktui. Kadangi jau naudojami tyrimo metodai yra anksčiau tirti ir jais galima pasitikėti, gauti tyrimo rezultatai yra objektyvus ir atitinkantis realybe. Automobilių vienintelis priekabos modelio junginys yra parodytas 7 pav.



7 pav. Automobilio ir priekabos mechaninis modelis [9]

Modeliavimo rezultatai pateikti (8 pav.). Tyrimo rezultatai nustatomi išilginių greičiu 2,5 m/s, 5 m/s ir 28 m/s.



8 pav. Mažos amplitudės virpesiai iš automobilio ir priekabos junginio padangos modeliai skirtingais išilginiais greičiais [9]

Tyrimo metu nustatyti parametrai ir gauti rezultatai gali pasitarnauti tiriant sudėtingų transporto priemonių su priekabomis mechaninius modelius.

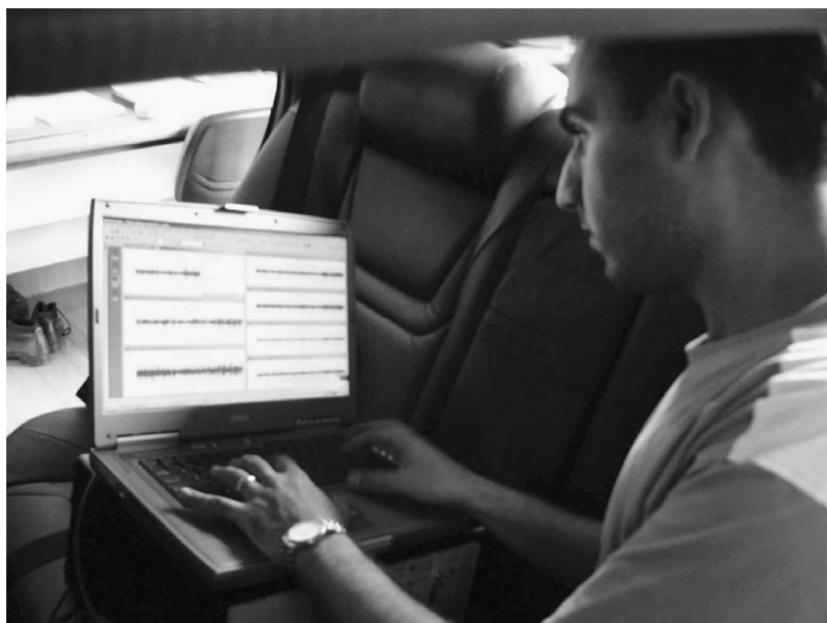
Tarp kitų komforto veiksnių, garso kokybė yra vienas iš pagrindinių faktorių, kuris įtakoja vartotojų pasirinkimą renkantis gerus automobilius [10]. Visa tai prasidėjo daugiau nei prieš 20 metų, ir sparčiai plečiasi dėl didelės konkurencijos automobilių pramonėje.

Populiariausias metodas, skirtas nustatyti produkto garso kokybei, yra nepasitenkinimo lygio matavimas ar specialaus indekso nustatymas, pasitelkiant tiek subjektyvaus, tiek objektyvaus vertinimo metodus. Norint nustatyti garso kokybę keleivinio automobilio viduje, subjektyvaus ir objektyvaus vertinimo testai turi būti atliekami ir analizuojami lygiagrečiai. Šiame darbe, vertinant motorinės transporto priemonės komforto indeksą pagal dažniausiai naudojamus garso kokybės matavimo parametrus, t.y. Zwicker garsumą, aštrumą, šiurkštumą ir kitimo stiprumą. Ryšys tarp kelio šiurkštumo ir transporto priemonės akustinio komforto indekso yra tyrimo tikslas. Kuo prastesnė kelio danga tuo didesnis triukšmo lygis automobilio salone. Tiriant kelių markių automobilius įmanoma būtų gauti skirtingus rezultatus nei mes galime įsivaizduoti. Norint išsiaiškinti koks komforto ir triukšmo lygis yra automobiliuose, reikėtų ištirti kelias automobilių grupes. Šiame tyrime į automobilio saloną buvo pasodintas bandymams skirtas manekenas su davikliais (9 pav.).



9 pav. Manekenas su davikliais automobilyje [10]

Manekeno daviklių parodymai per duomenų registravimo impulsus buvo siunčiami į kompiuterį kuris naudoja „labshop“ programinę įrangą (10 pav.).



10 pav. Duomenų registravimas impulsu pagalba naudojant „labshop“ programinę įrangą [10]

Garso kokybės vertinimai atliekami: stacionariam garsumui, vidutiniam garsumui, vidutiniam aštrumui, šiurkštumui ir stiprumo svyravimui. Gauti tyrimų rezultatai: garsumas stipriai koreliuoja su VACF ($R_2 = 0,84-0,93$), garso aštrumo koreliacija su VACF ($R_2 = 0,77-0,99$) gali nuo vidutinio pasiekti dideli stipruma, garso šiurkštumo koreliacijos lygis yra labai žemas ($R_2 = 0,05-0,21$) ir neturi jokio reikšmingo ryšio su VACF, garso svyravimo stiprumas vidutiniškai ar stipriai koreliuoja su atvirkštiniu poveikiu VACF reikšmei ($R_2 = 0,38-0,78$) ir norint pasiekti santykinai aukštą akustinio komforto lygį, VACI turėtų būti didesnis nei 3.

Taigi matavimas atliekamas visoje dažnio spektre, atsižvelgiant į žmogaus suvokimą. Subjektyvus testas gaus interjero garso lengvojo automobilio kokybę tiesiogiai iš žmogaus įvertinimo tarp objektyvaus bandymo kaip priemonę per klausos susijusius parametrus.

Gautas indeksas gali būti naudojamas įvairiose automobilių akustikos tyrimų srityse pagal kelio tipą (kelio šiurkštumo laipsnį) be jokio poreikio atlikti ekspertinio vertinimo testus, kurie reikalauja didelių laiko sąnaudų ir kaštų.

Žmogaus ausis girdi didesnę garso lygį bei didesnius impulsus važiuojant šiurkštesnio paviršiaus keliais. Tačiau šis tyrimas buvo atliekamas su vienu automobiliu. Norint atlikti detalesnius palyginimus, ateityje būtų tikslinga ištirti keletą skirtingų transporto priemonių.

Iš atliktos mokslinių straipsnių apžvalgos matome, kad dauguma tyrimų buvo atliekama ne fiziškai bandant su tikromis transporto priemonėmis, tikromis važiavimo sąlygomis, o pasiklovię baigtinių elementų metodų (BEM) bei režimo pozicionavimo metodu, bandymams naudojo atskiras detales, o ne visą detalių visumą. Skaičiavimai buvo atliekami pasinaudojus ketvirčio automobilio testavimo įtaisais ir t.t. Šie visi tyrimo metodai ne visada būna tikslūs, tačiau juos naudojant yra galimybė daug sužinoti apie automobilių keliamus virpesius ir triukšmą. Tačiau nei viename iš

mokslinių straipsnių nebuvo vienu metu tirti virpesiai ir triukšmas. Kokia įtaką virpesiai turi triukšmui o triukšmas virpesiams?

Šiuolaikinėje visuomenėje, kai yra toks intensyvus gyvenimas dauguma žmonių kiekviena diena važiuoja su nuosavais automobiliais į darbus, parduotuves, mokyklas, universitetus ir t.t. Kokiomis sąlygomis važiuojant triukšmas ir virpesiai yra didžiausi ir kas juos lemia. Išsiaiškinti kokie virpesiai ir triukšmas yra važiuojančio automobilio salone, kaip galima juos įtakoti. Automobiliais važiuojame kiekvieną dieną, kiek virpesių ir triukšmo patyria žmogaus organizmas. Šiems klausimams atsakyti reikalingas išsamus tyrimas. Todėl mano atliekamame darbe pagrindinis tikslas nustatyti veiksnius nuo kurių priklauso virpesiai ir triukšmas važiuojančiame automobilyje.

Pagrindiniai šio darbo uždaviniai būtų tokie:

- Išmatuoti triukšmą ir virpesius lengvojo automobilio salone;
- Palyginti matavimų rezultatus važiuojant skirtingomis sąlygomis;
- Nustatyti didžiausią įtaką turinčius veiksnius;
- Pateikti rekomendacijas leidžiančias sumažinti triukšmą ir virpesius automobilio salone.

2. TYRIMO METODIKA

2.1. Tyrimui naudotas automobilis:

Tyrimui atlikti buvo naudotas Toyota Corolla Verso 2006 m. automobilis. Variklio darbinis tūris 2231 cm³, galia 135 AG (≈100 kW). Automobilio naudojamas kuras – dyzelinas (žr. 11 pav.).

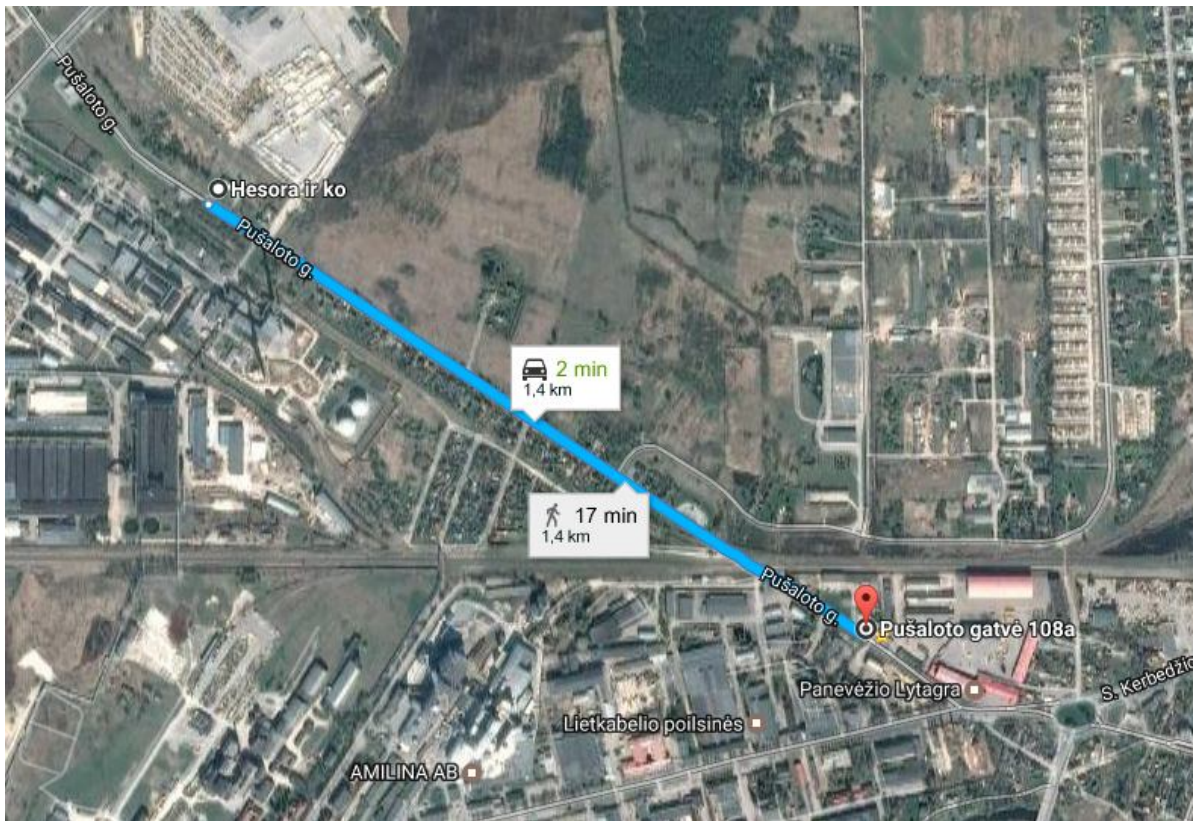


11 pav. Tyrimo automobilis Toyota Corolla Verso

2.2. Tyrimo maršrutai:

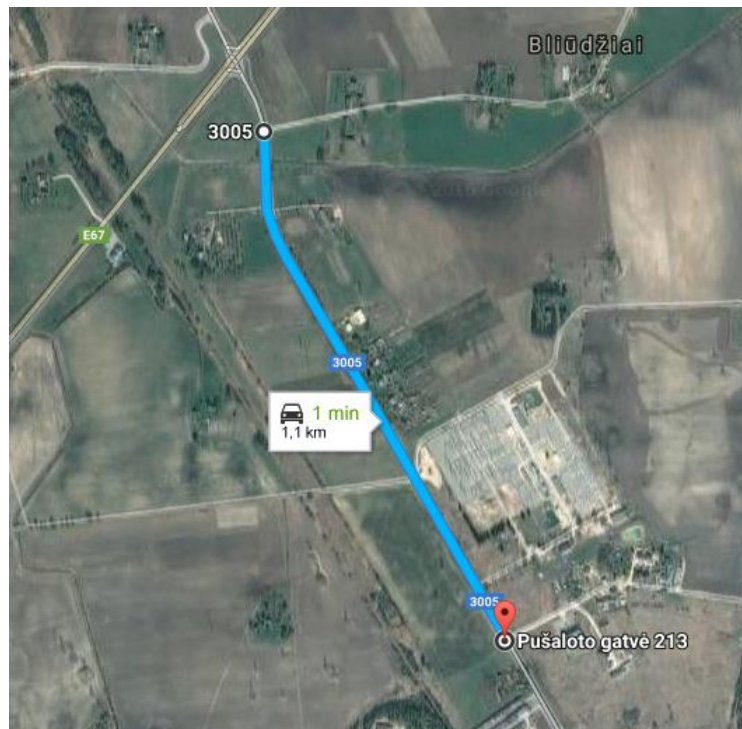
Tyrimui buvo pasirinktos trys kelio atkarpos triukšmo ir virpesių matavimų atlikimui. Visos kelio atkarpos yra skirtingų paviršių:

- Panevėžio miesto asfaltuoto kelio atkarpa nuo Pušaloto g. 108A iki Pušaloto g. 172 (12 pav.);



12 pav. Panevėžio miesto asfaltuoto kelio atkarpa [13]

- Užmiesčio asfaltuoto kelio atkarpa nuo Panevėžio miesto ribos iki Panevėžio aplinkelio (13 pav.);



13 pav. Užmiesčio asfaltuoto kelio atkarpa [13]

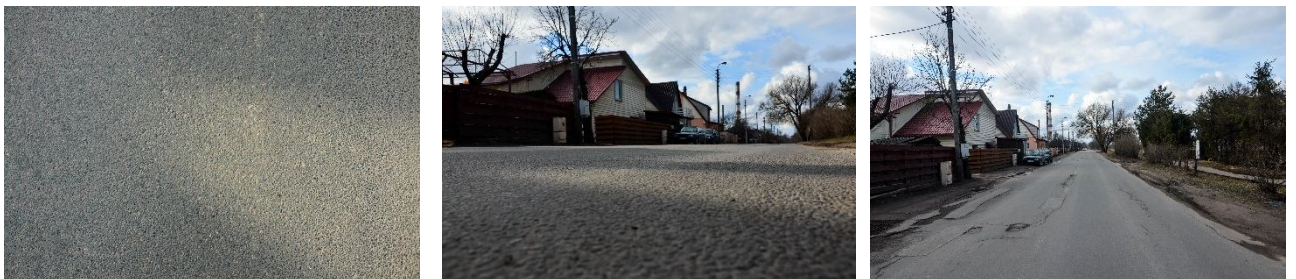
- Žvyruoto kelio atkarpa nuo Pakuodžiupių k. (14 pav.).



14 pav. Žvyruoto kelio atkarpa [13]

2.3. Tyrimams naudotas metodas

Virpesių pagreitis (m/s^2) ir triukšmas (dB) buvo matuotas akcelerometru. Akcelerometro matavimas buvo atliekamas 0,1 s intervalu (per 1 sekundę atliekama 10 matavimų). Tyrimai buvo atliekami važiuojant skirtingu greičiu (40 km/h ir 60 km/h) ir skirtingomis kelio dangomis Panevėžio miesto asfaltuoto kelio atkarpa (žr. 15 pav.), užmiesčio asfaltuoto kelio atkarpa (žr. 16 pav.), žvyruoto kelio atkarpa (žr. 17 pav.). Norint išlaikyti vienodą greitį naudotas autopilotas. Bandymai buvo atliekami, kai padangose buvo skirtingi slėgiai tai yra 3,0 bar ir 1,5 bar. Tyrimus atlikau kuo įvairesnėmis kelio dangomis ir skirtingais greičiais bei skirtingo slėgio padangomis tam, kad atskleisti kokia įtaką virpesiams ir triukšmui daro šie visi išvardinti tyrimo parametrai.



a

b

c

15 pav. Panevėžio miesto asfaltuoto kelio atkarpa



a

b

c

16 pav. Užmiesčio asfaltuoto kelio atkarpa



a

b

c

17 pav. Žvyruoto kelio atkarpa

Matuojant pagreitį vertikalia kryptimi reikia iš gautos vertės atimti pradinę vertę. Pradinė vertė vadiname prietaiso rodomą pagreičio vertę nejudančiame automobilyje. Tokiu būdu gauname pakoreguotą pagreičio vertę:

$$a_{z,i} = a_{z,i}^I - a_z^0 = a_{z,i}^I - 11,2 \quad (1)$$

Čia:

$a_{z,i}$ – pakoreguota, i -toji virpesių pagreičio vertė oz kryptimi;

$a_{z,i}^I$ – išmatuota, i -toji virpesių pagreičio vertė oz kryptimi;

a_z^0 – pradinė virpesių pagreičio vertė oz kryptimi.

Koreguotos vertės gali būti tiek teigiamos, tiek neigiamos, todėl vidutinis pagreitis neapibūdina virpesių lygio (net ir esant dideliam pagreičiui vidurkis būtų artimas nuliui). Todėl virpesių lygiui apibūdinti naudojama efektinė vertė, apskaičiuojama pagal formulę:

$$a_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_{z,i}^2}{n}} \quad (2)$$

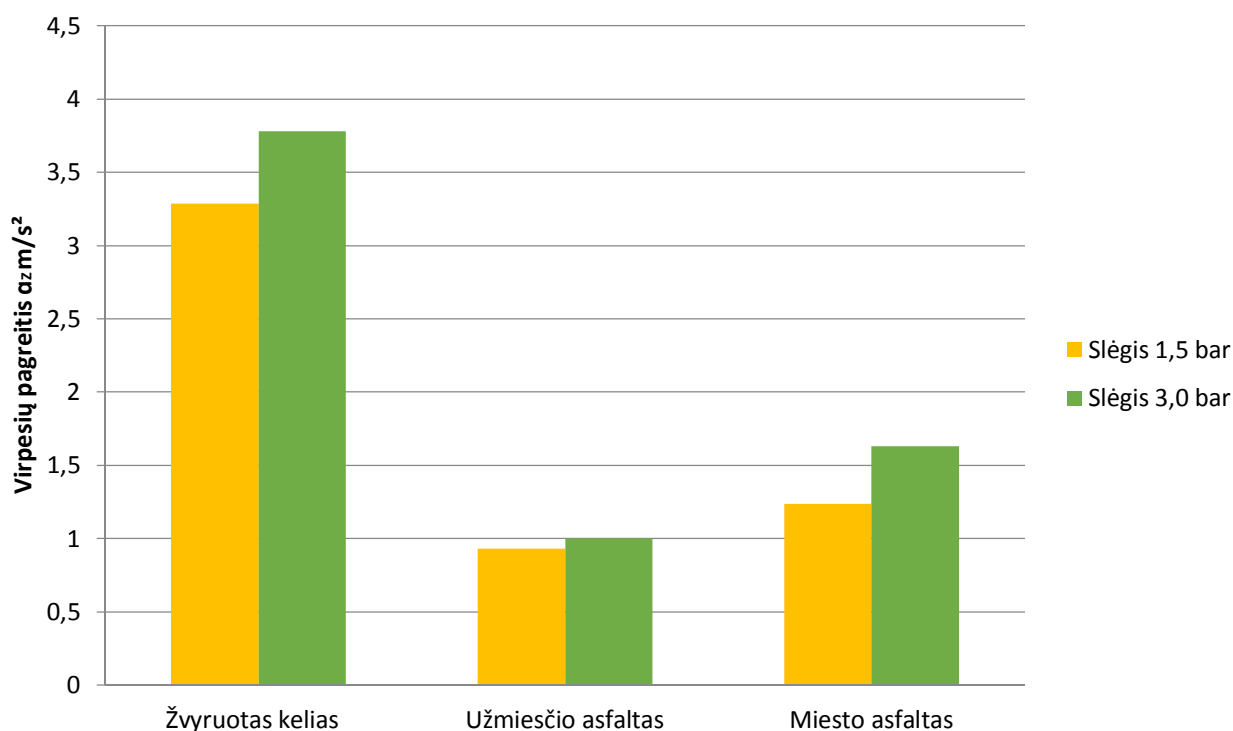
Čia:

a_z – efektinė virpesių pagreičio vertė oz kryptimi.

Naudojant šią formulę buvo apskaičiuoti visi virpesių tyrimo duomenys ir gauti galutiniai rezultatai. Gauti tyrimo rezultatai buvo apdoroti Excel pagalba. Apibendrinti tyrimo rezultatai pateikiami grafikuose.

2.4. Tyrimo rezultatai

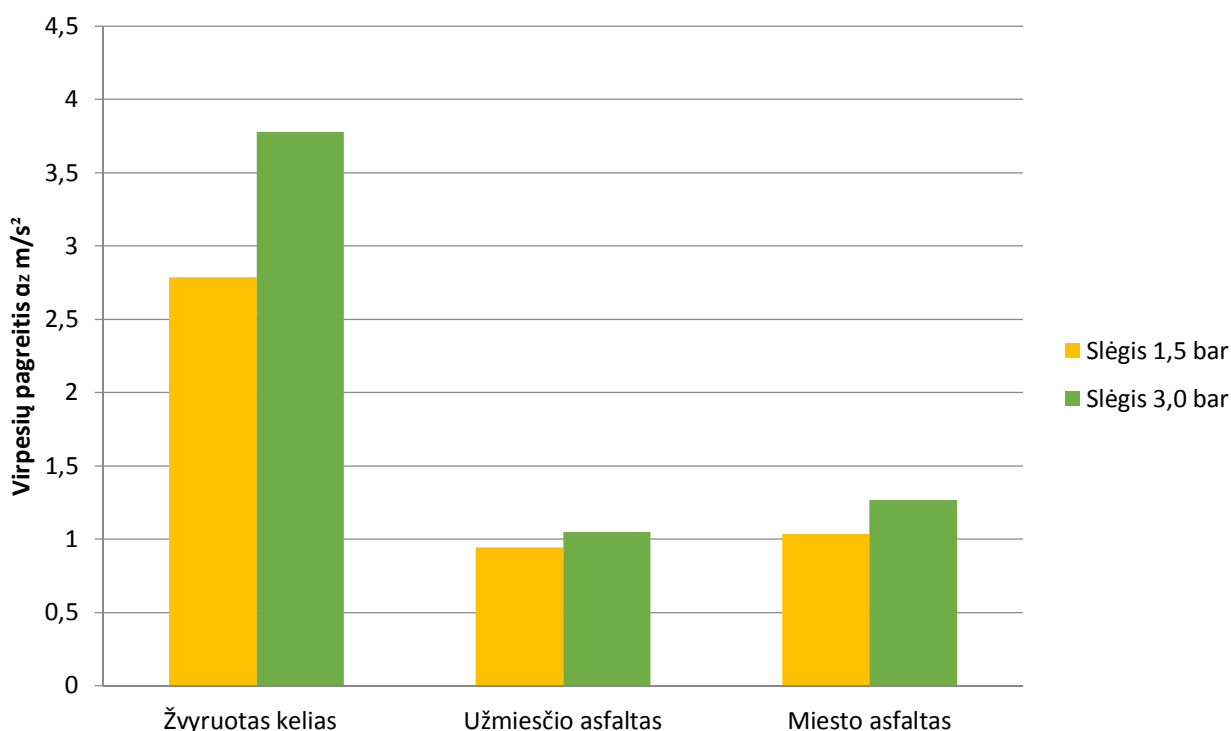
Matyti (18 pav.), kaip skiriasi virpesių pagreitis naudojant skirtingus slėgius padangose ir skirtingas kelio dangas bei važiuojant 60 km/h greičiu. Galima daryti prielaidą, kad pagal gautus rezultatus užmiesčio asfaltuotas kelias yra geriausios kokybės ir ganėtinai lygus. Važiuojant su padangomis kuriose slėgis 1,5 bar ir 3,0 bar virpesiai praktiškai vienodi, kadangi užmiesčio asfaltuotas kelias yra lygus. Važiuojant Panevėžio miesto asfaltuotu keliu su padangomis kuriose slėgis 1,5 bar ir 3,0 bar gauti rezultatai ženkliai skiriasi, kadangi Panevėžio miesto asfaltuoto kelio danga ne tokia lygi, ir skirtumas važiuoti su kietai pripūstomis padangomis (3,0 bar) ir minkštai pripūstomis padangomis (1,5 bar) yra akivaizdus. Didžiausias skirtumas yra važiuojant žvyruotu keliu, kadangi kelias ten yra nelygiausias. Važiuojant žvyruotu keliu virpesiai yra 3,5 karto didesni nei važiuojant užmiesčio asfaltuotu keliu (padangų slėgis 1,5 bar) ir net 3,8 karto didesni važiuojant padangose esant 3,0 bar slėgiui.



18 pav. Virpesių pagreitis, priklausomai nuo padangų slėgio, esant skirtingoms kelio dangoms, važiuojant 60 km/h greičiu

Kaip skiriasi virpesių pagreitis imant skirtingą slėgį padangose ir skirtingas kelio dangas bei važiuojant 40 km/h greičiu yra pateiktas (19 pav.). Važiuojant užmiesčio asfaltuotu keliu nėra skirtumo ar važiuoji 60 km/h, ar 40 km/h, kadangi kelias yra lygus, tai ir virpesių amplitudė beveik identiška.

Važiuojant Panevėžio miesto asfaltu jau išryškėja skirtumas važiuojant 60 km/h ir 40 km/h. Važiuojant mažesniu greičiu virpesiai yra mažesni, važiuojant didesniu greičiu virpesiai didesni.

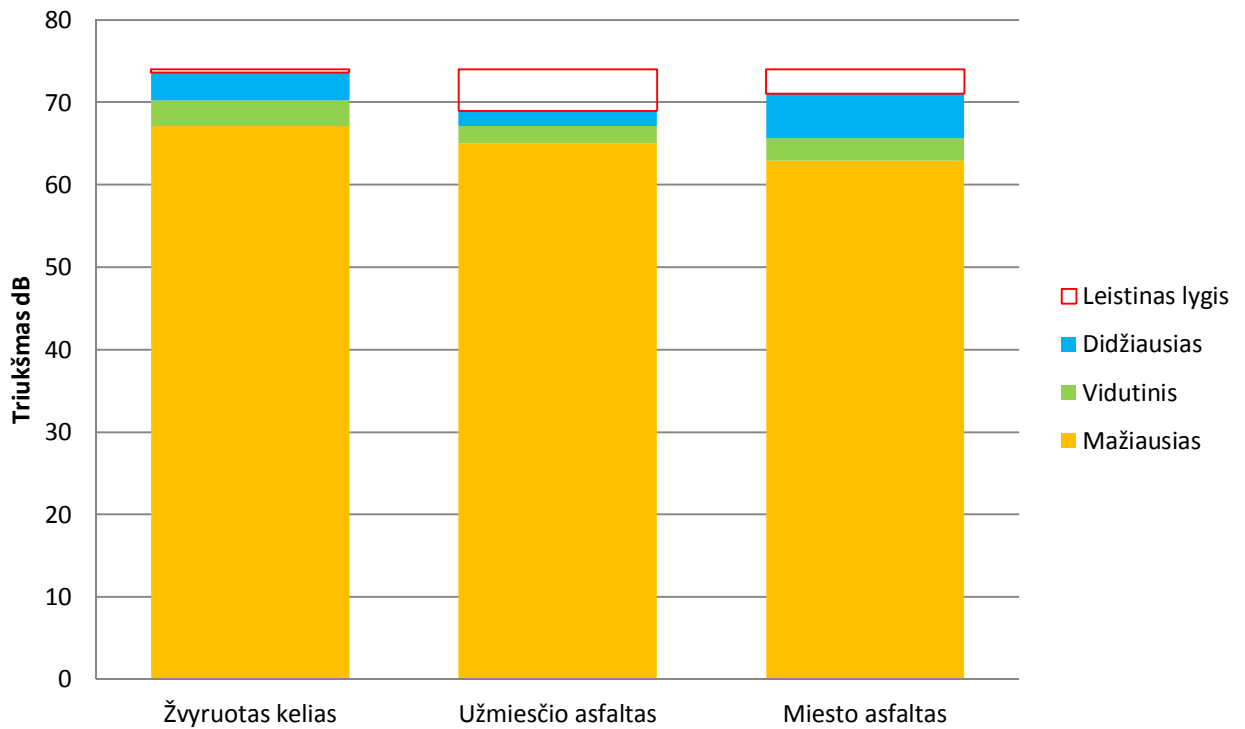


19 pav. Virpesių pagreitis, priklausomai nuo padangų slėgio, esant skirtingoms kelio dangoms, važiuojant 40 km/h greičiu

Važiuojant žvyruotu keliu 60 km/h ar 40 km/h virpesiai skiriasi, kai padangose slėgis 1,5 bar. Kai padangose yra 3,0 bar slėgis virpesiai identiški.

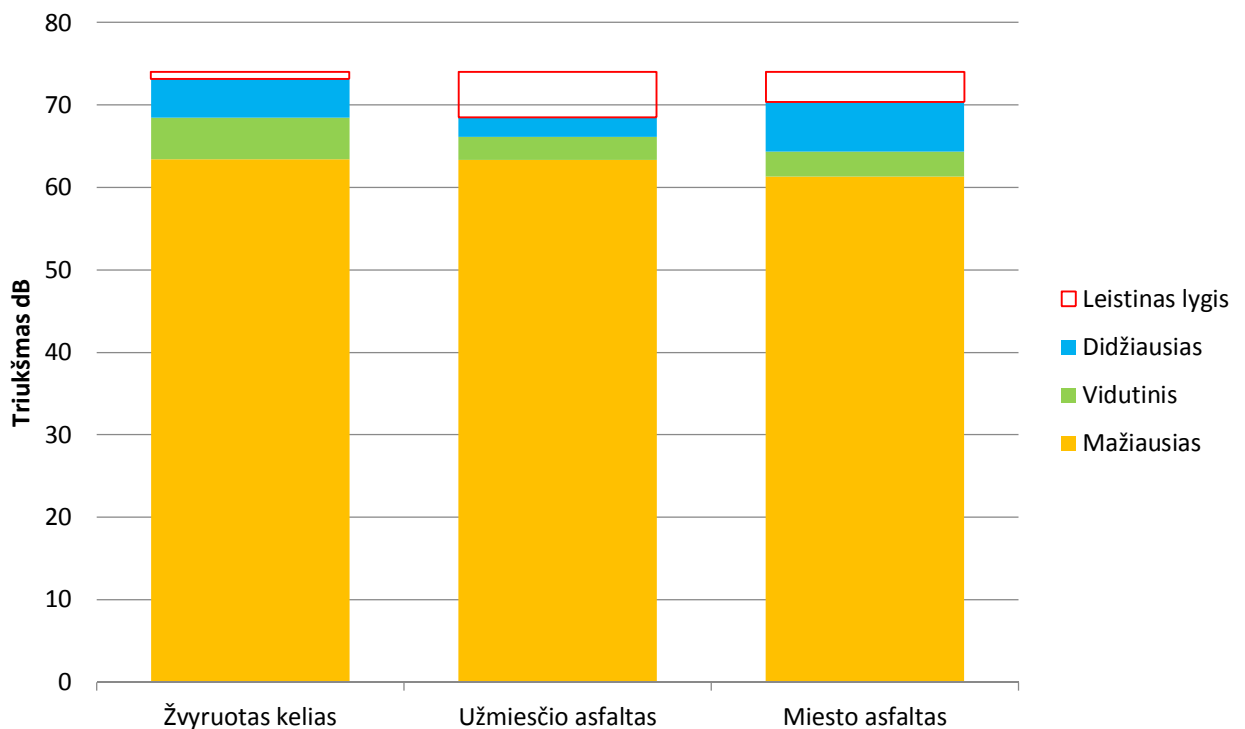
Važiuojant su skirtingais slėgiais pripūstomis padangomis ir skirtingais greičiais buvo matuojamas ne tik virpesių pagreitis, bet ir triukšmo lygis automobilio salone.

Važiuojant 60 km/h greičiu su 1,5 bar padangų slėgiu tyrimo rezultatai pateikti 20 pav. Leistinas triukšmas pagal galiojančius teisės aktus važiuojančio automobilio salone yra 74 dB [11]. Važiuojant skirtingomis kelio dangomis triukšmo lygis yra skirtingas. Kaip jau galima numatyti iš anksto, triukšmo lygis didžiausias važiuojant žvyruotu keliu, mažesnis važiuojant miesto asfaltu, dar mažesnis važiuojant užmiesčio asfaltu. Tyrimo rezultatų nebuvo įmanoma nuspėti važiuojant miesto asfaltu ir užmiesčio asfaltu, nes važiuojant miesto asfaltu triukšmas yra didesnis nei važiuojant užmiesčio asfaltu. Nors vidutinis triukšmas važiuojant miesto asfaltu yra mažesnis nei važiuojant užmiesčio asfaltu.



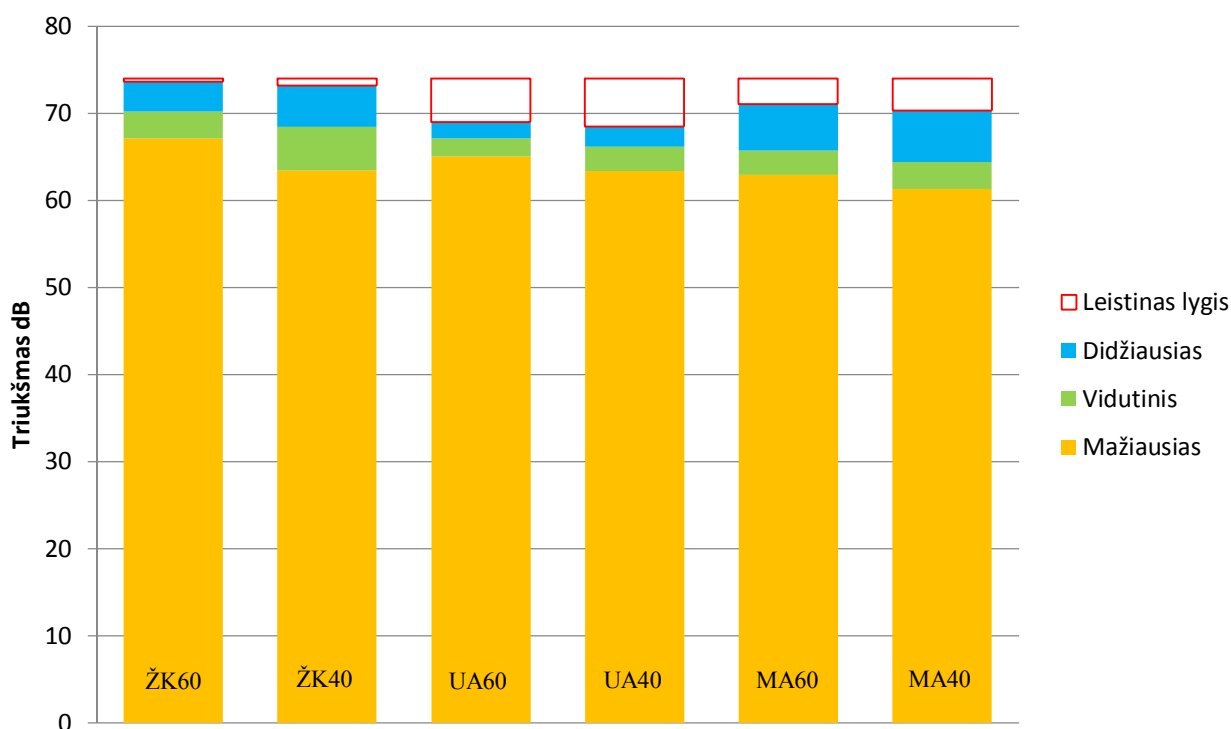
20 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 1,5 bar padangų slėgiui ir važiuojant 60 km/h greičiu

Važiuojant 40 km/h greičiu su 1,5 bar padangų slėgiu, tyrimo rezultatai pateikti 21 pav. Kaip matyti iš rezultatų triukšmo lygis sumažėjo važiuojant 40 km/h greičiu. Tyrimo rezultatai rodo, kad važiuojant žvyruotu keliu ar užmiesčio asfaltu triukšmo mažiausios vertės suvienodėjo.



21 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 1,5 bar padangų slėgiui ir važiuojant 40 km/h greičiu

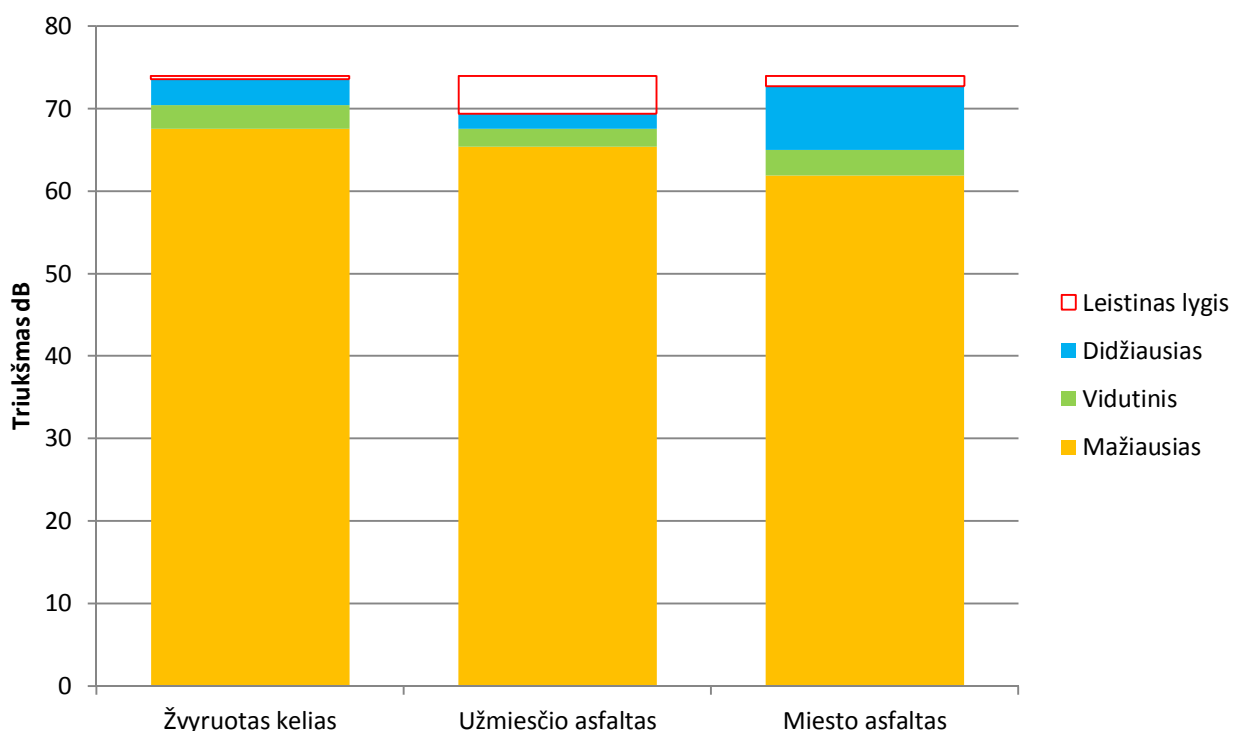
Dviejų paveikslėlių (20 pav. ir 21 pav.) palyginimas pateikiamas 22 pav. Galime paanalizuoti gautus triukšmo lygio rezultatus. Kaip matyti, važiuojant žvyruotu keliu 60 km/h ar 40 km/h didžiausias triukšmas beveik vienodas, tačiau ženkliai skiriasi mažiausio triukšmo vertės. Kadangi važiuojant mažesniu greičiu padangos sugeria kelio nelygumus geriau, ir triukšmo lygis automobilio salone yra mažesnis. Važiuojant užmiesčio asfaltu 60 km/h ar 40 km/h greičiu triukšmo lygis (mažiausias, vidutinis, didžiausias) labai nedaug skiriasi vienas nuo kito, nors važiuojant 40 km/h greičiu triukšmas vos mažesnis. Tokį nedidelį skirtumą lemia ganėtinai gera ir lygi užmiesčio asfalto kelio danga.



22 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 1,5 bar slėgiui padangose: ŽK60 – važiuojant žvyruotu keliu 60 km/h greičiu; ŽK40 – važiuojant žvyruotu keliu 40 km/h greičiu; UA60 – važiuojant užmiesčio asfaltu 60 km/h greičiu; UA40 – važiuojant užmiesčio asfaltu 40 km/h greičiu; MA60 – važiuojant miesto asfaltu 60 km/h greičiu; MA40 – važiuojant miesto asfaltu 40 km/h greičiu

Važiuojant miesto asfaltu triukšmo lygis irgi yra mažesnis visuose parametruose (mažiausias, vidutinis, didžiausias), kai važiuojama mažesniu greičiu, tai yra 40 km/h greičiu. Palyginus visų kelio dangų vidutinį triukšmo lygį, pats mažiausias yra važiuojant miesto asfaltu ir važiuojant 40 km/h greičiu, o pats mažiausias triukšmo maksimumas važiuojant užmiesčio asfaltu 40 km/h greičiu. Mažiausias triukšmas važiuojant 40 km/h greičiu žvyruotu keliu kuris yra mažesnis nei važiuojant užmiesčio asfaltu 40km/h ar 60 km/h greičiu. Triukšmo skirtumas nėra labai didelis lyginant skirtingus greičius ir kelius, tačiau triukšmo skirtumas yra.

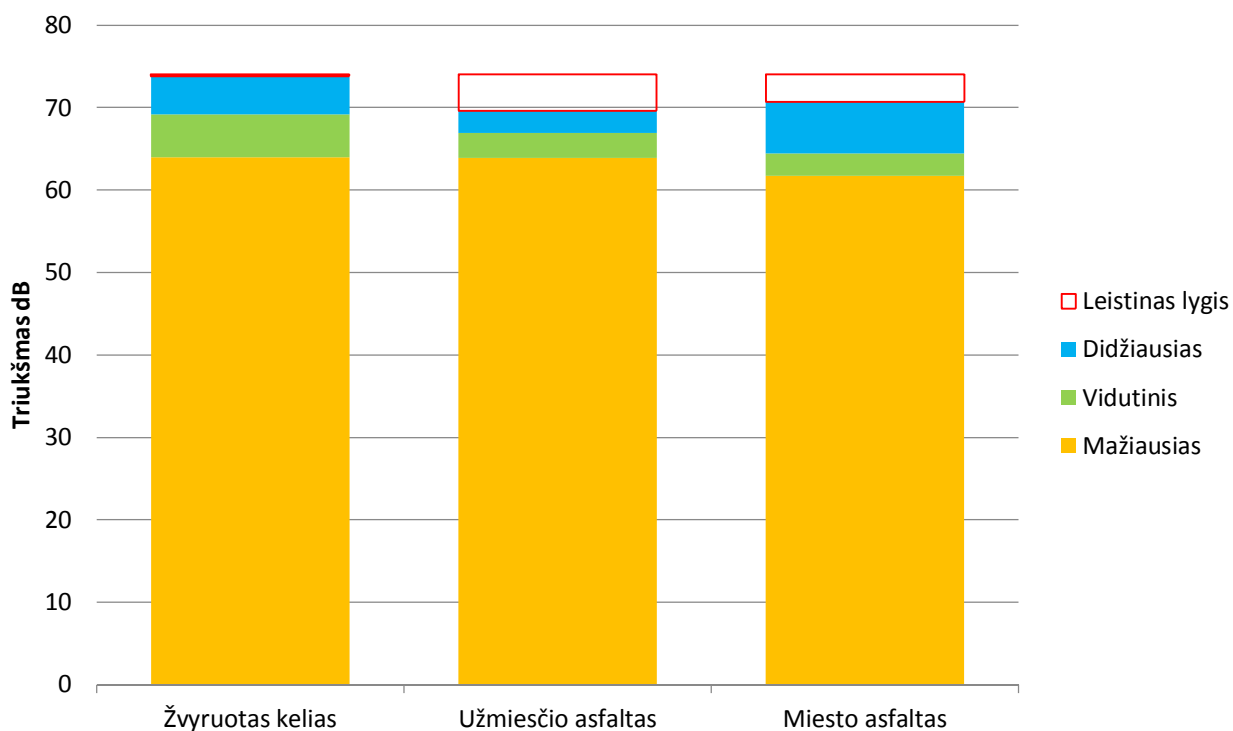
Važiuojant 60 km/h greičiu su 3,0 bar padangų slėgiu tyrimo rezultatai pateikti 23 pav. Kaip matyti triukšmas mažiausias važiuojant miesto asfaltu. Vidutinis triukšmas irgi mažiausias važiuojant miesto asfaltu, tačiau triukšmo maksimumas mažiausiai važiuojant užmiesčio asfaltu. Važiuojant tiek žvyruotu keliu, tiek miesto asfaltu triukšmo skirtumai nuo mažiausio iki didžiausio yra žymiai didesni nei važiuojant užmiesčio asfaltu. Tokie rezultatai gaunami todėl, kad važiuojant užmiesčio asfaltu nebuvo pašalinių trukdžių, tokių kaip nelygus kelias. Kuo lygesnis kelias, tuo skirtumas tarp mažiausio triukšmo ir didžiausio triukšmo yra mažesnis.



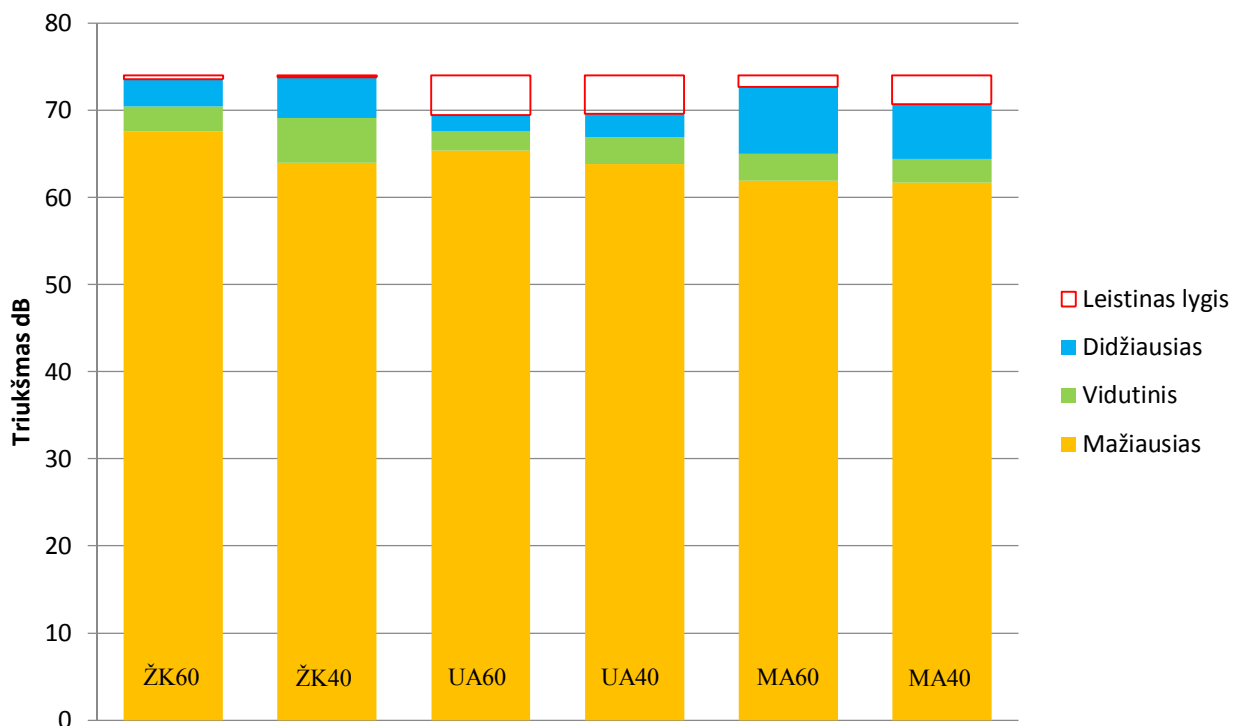
23 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 3,0 bar padangų slėgiui ir važiuojant 60 km/h greičiu

Važiuojant 40 km/h greičiu su 3,0 bar padangų slėgiu, tyrimo rezultatai pateikti 24 pav. Važiuojant miesto asfaltu buvo užfiksuotas mažiausias triukšmo lygis tiek mažiausio tiek vidutinio.

Tačiau triukšmo didžiausia vertė užfiksuota važiuojant užmiesčio asfaltu. Dviejų paveikslėlių (23 pav. ir 24 pav.) palyginimą pateikiu 25 pav.



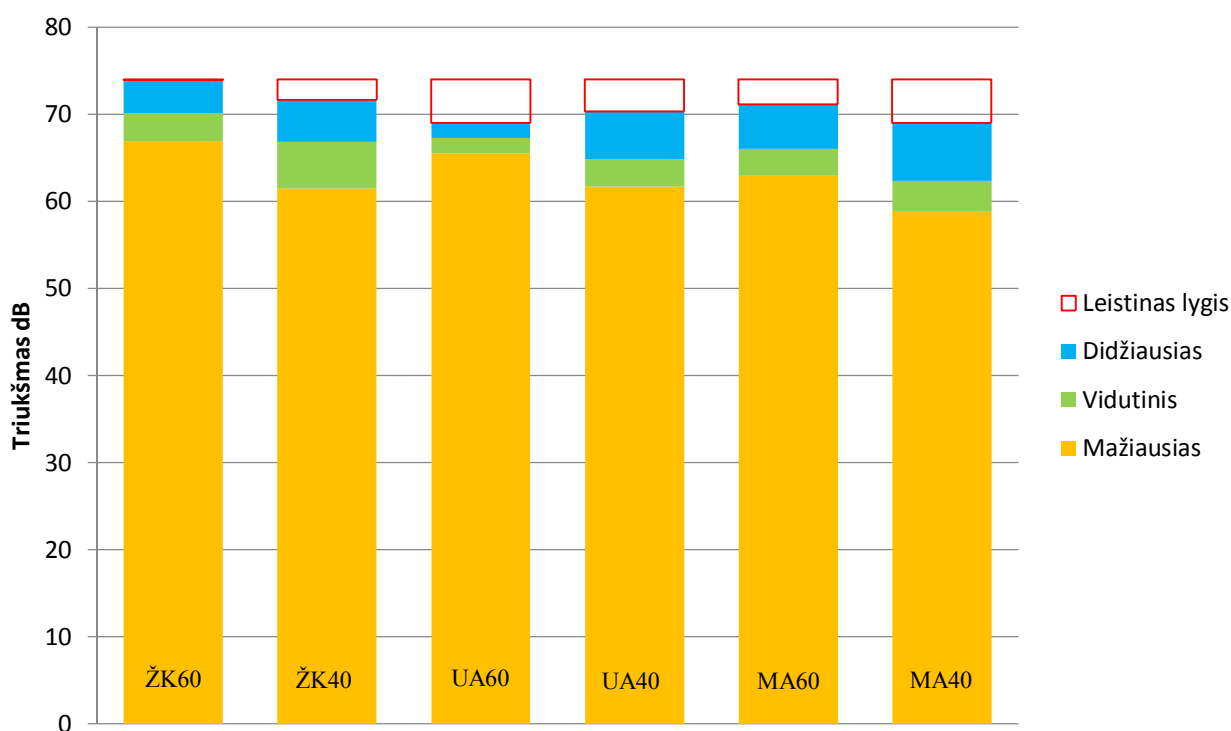
24 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 3,0 bar padangų slėgiui ir važiuojant 40 km/h greičiu



25 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 3,0 bar slėgiui padangose: ŽK60 – važiuojant žvyruotu keliu 60 km/h greičiu; ŽK40 – važiuojant žvyruotu keliu 40 km/h greičiu; UA60 – važiuojant užmiesčio asfaltu 60 km/h greičiu; UA40 – važiuojant užmiesčio asfaltu 40 km/h greičiu; MA60 – važiuojant miesto asfaltu 60 km/h greičiu; MA40 – važiuojant miesto asfaltu 40 km/h greičiu

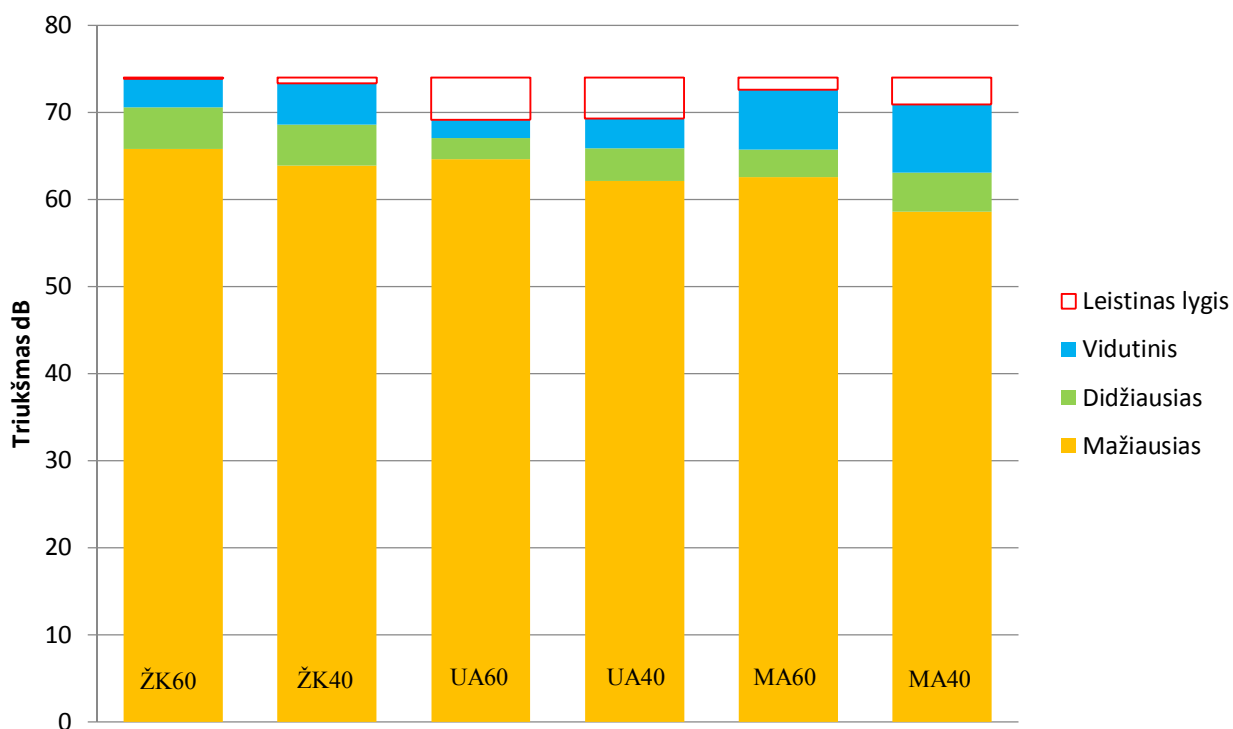
Važiuojant žvyruotu keliu 60 km/h ir 40 km/h greičiu didžiausias triukšmas yra beveik vienodas, tačiau vidutinis ir mažiausias triukšmas ženkliai skiriasi. Važiuojant užmiesčio asfaltu 60 km/h ir 40 km/h greičiu mažiausias ir didžiausias triukšmas yra labai artimas vidutiniam triukšmui. Važiuojant miesto asfaltu 60 km/h ir 40 km/h greičiu didžiausio triukšmo lygis yra daug nutolęs nuo vidutinio triukšmo, tai lemia ganėtinai nelygus asfaltas ir asfalto dangos įtrūkimai.

Taip pat buvo atliktas triukšmo matavimo tyrimas automobilio salone važiuojant tomis pačiomis kelio atkarpomis (Panevėžio miesto asfaltu, užmiesčio asfaltu, žvyruotu keliu) nakties metu. Norint išsiaiškinti ar yra triukšmo skirtumas automobilio salone važiuojant dienos ir nakties metu. Triukšmo lygio matavimo rezultatai (tyrimas atliktas nakties metu) pateikti 26 pav. važiuojant skirtingais greičiais, kai slėgis padangose 1,5 bar.



26 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 1,5 bar slėgiui padangose: ŽK60 – važiuojant žvyruotu keliu 60 km/h greičiu; ŽK40 – važiuojant žvyruotu keliu 40 km/h greičiu; UA60 – važiuojant užmiesčio asfaltu 60 km/h greičiu; UA40 – važiuojant užmiesčio asfaltu 40 km/h greičiu; MA60 – važiuojant miesto asfaltu 60 km/h greičiu; MA40 – važiuojant miesto asfaltu 40 km/h greičiu

Triukšmo lygio matavimo rezultatai (tyrimas atliktas nakties metu) pateikti 27 pav. važiuojant skirtingais greičiais, kai slėgis padangose 3,0 bar. Kaip matyti iš pateiktų triukšmo tyrimo rezultatų ir lyginant vienodomis sąlygomis atliktus tyrimus (diena atliktu tyrimu 22 pav., 25 pav. su naktį atliktu tyrimu 26 pav., 27 pav.) galima daryti išvadą, kad važiuojant nakties metu triukšmas automobilio salone yra labai neženkliai, bet mažesnis.



27 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 3,0 bar slėgiui padangose: ŽK60 – važiuojant žvyruotu keliu 60 km/h greičiu; ŽK40 – važiuojant žvyruotu keliu 40 km/h greičiu; UA60 – važiuojant užmiesčio asfaltu 60 km/h greičiu; UA40 – važiuojant užmiesčio asfaltu 40 km/h greičiu; MA60 – važiuojant miesto asfaltu 60 km/h greičiu; MA40 – važiuojant miesto asfaltu 40 km/h greičiu

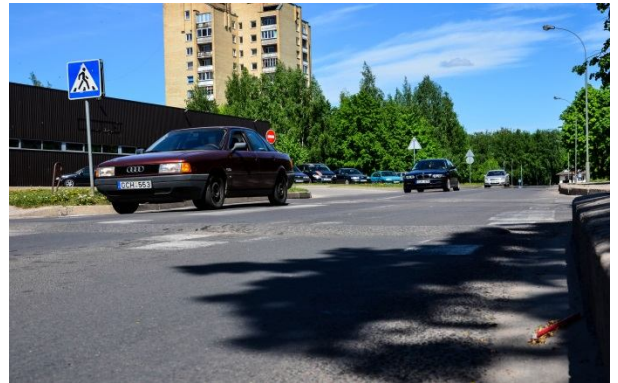
Skirtumas važiuojant dienos metu ir nakties metu ir lyginant tas pačias kelio atkarpas bei važiavimo greitį ir slėgi padangose yra mažesnis nuo 1 iki 3 dB. Nors skirtumas yra labai neženklus, tačiau dienos metu aplinkinis triukšmas kurį skleidžia pašaliniai triukšmo šaltiniai (automobiliai, žmonės ir kt.) ir sudaro nuo 1 iki 3 dB papildomo triukšmo važiuojančio automobilio salone.

Kiekviena diena važiuojant su automobilių net nepagalvojame, kad savo važiavimo kelyje sutiksime daug dirbtinų greičiui sumažinti skirtų kliūčių ir mus nuo nelaimės apsaugoti įrengtų kliūčių. Tokios kliūtis gali būti:

- iškili pėsčiųjų perėja (žr. 28 pav.);
- 2 kalneliai „gulintis policininkas“ (žr. 29 pav.);
- struktūrinio ženklinimo triukšmo juostos (žr. 30 pav.)



28 pav. Išgili pėsčiųjų perėja



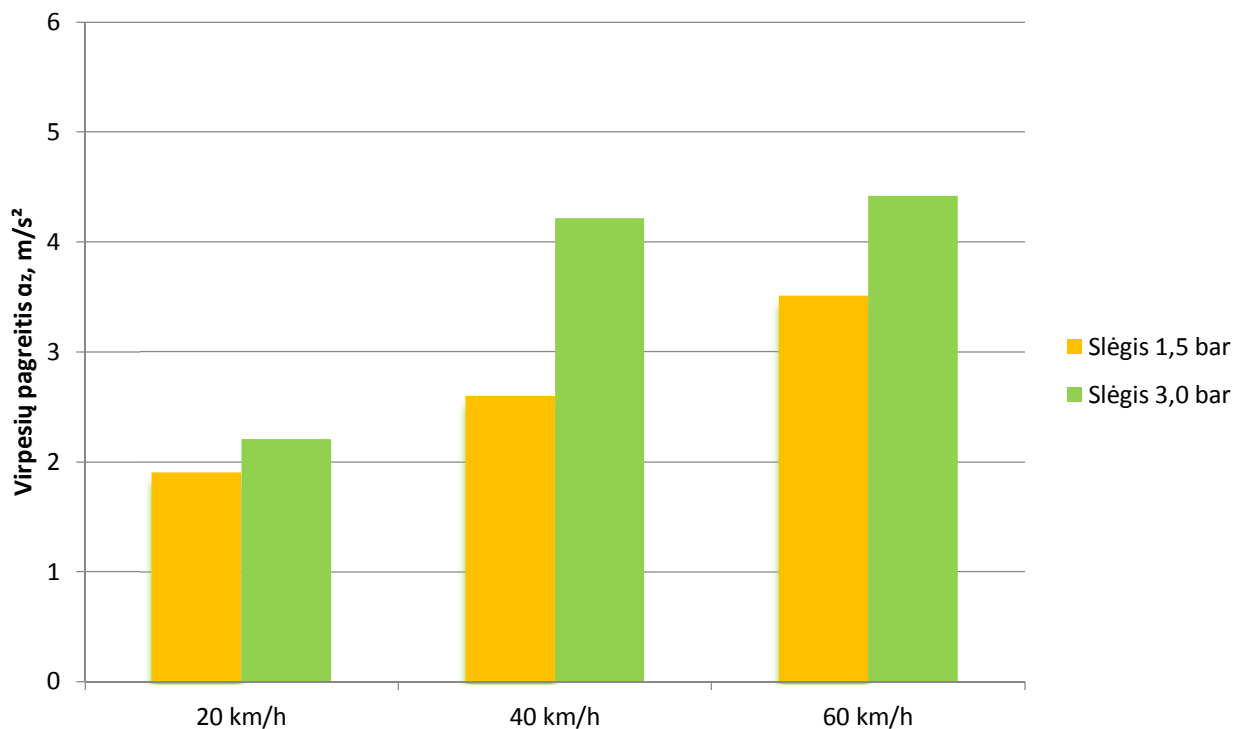
29 pav. Kalneliai „gulintis policininkas“



30 pav. Struktūrinio ženklavimo triukšmo juosta

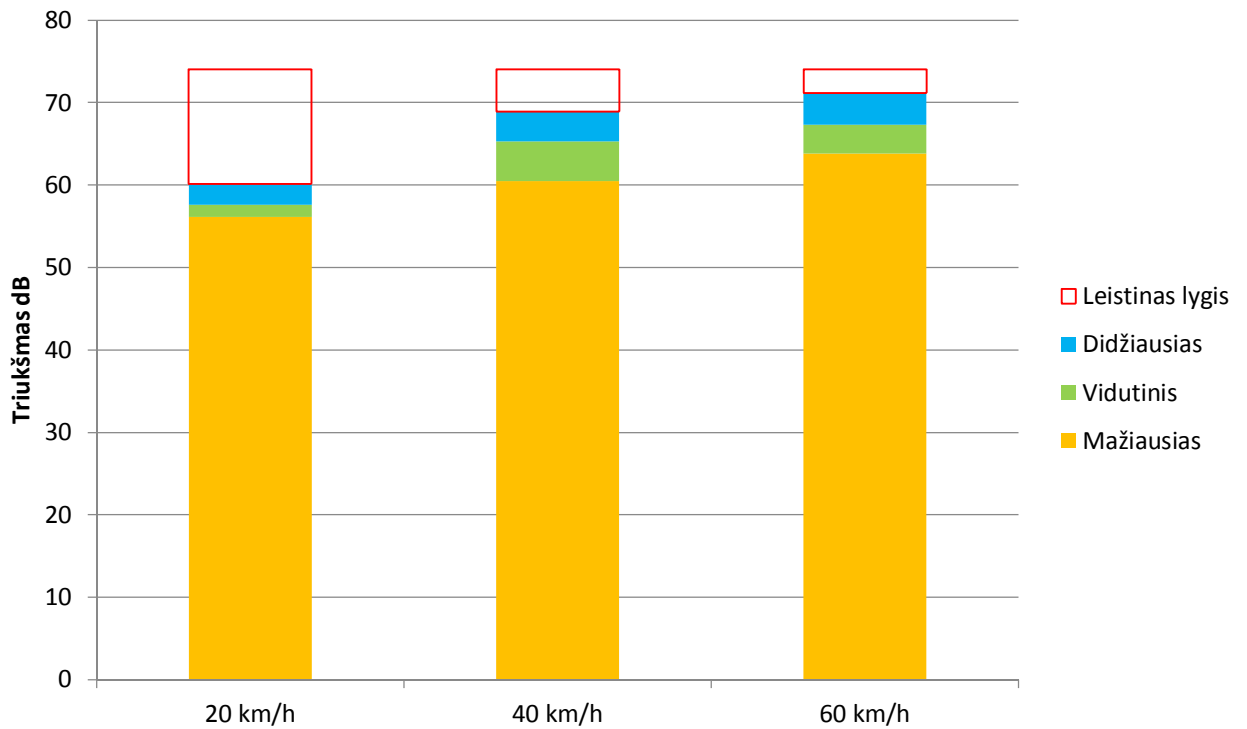
Šiame tyrime paėmiau visus šiuos paminėtus greičiui sumažinti skirtus elementus. Iš gautų tyrimo duomenų (31 pav.) galima teigti, kad važiuojant per iškiląją pėsčiųjų perėją kuo didesnis greitis tuo didesnis virpesių pagreitis. Važiuojant 20 km/h ir 60 km/h greičiu, kai padangose yra 1,5 bar slėgis virpesių pagreitis padidėja 1,84 karto. Jei padangose yra 3,0 bar slėgis ir lyginant 20 km/h ir 60 km/h greitį tai virpesių pagreitis padidėja 2,00 kartus. Galima teigti, kad važiuojant per iškiląją pėsčiųjų perėją norint sumažinti virpesių pagreitį reikia važiuoti ne daugiau kaip 20 km/h greičiu, taip patirtume mažesnius virpesius. Lyginant padangoje esantį slėgį norint sumažinti virpesius

reikia, kad padangos būtų su mažesniu slėgiu. Kaip matyti pagal pateiktus tyrimo rezultatus važiuojant 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h virpesių pagreitis yra didesnis, kai padangose yra 3,0 bar slėgis. Didžiausias skirtumas tarp 1,5 bar ir 3,0 bar padangų slėgio susidaro važiuojant 40 km/h greičiu per iškiliają pėsčiųjų perėją ir skirtumas sudaro 62%. Tuo tarpu važiuojant 20 km/h greičiu tik 16%, o važiuojant 60 km/h greičiu 26%.

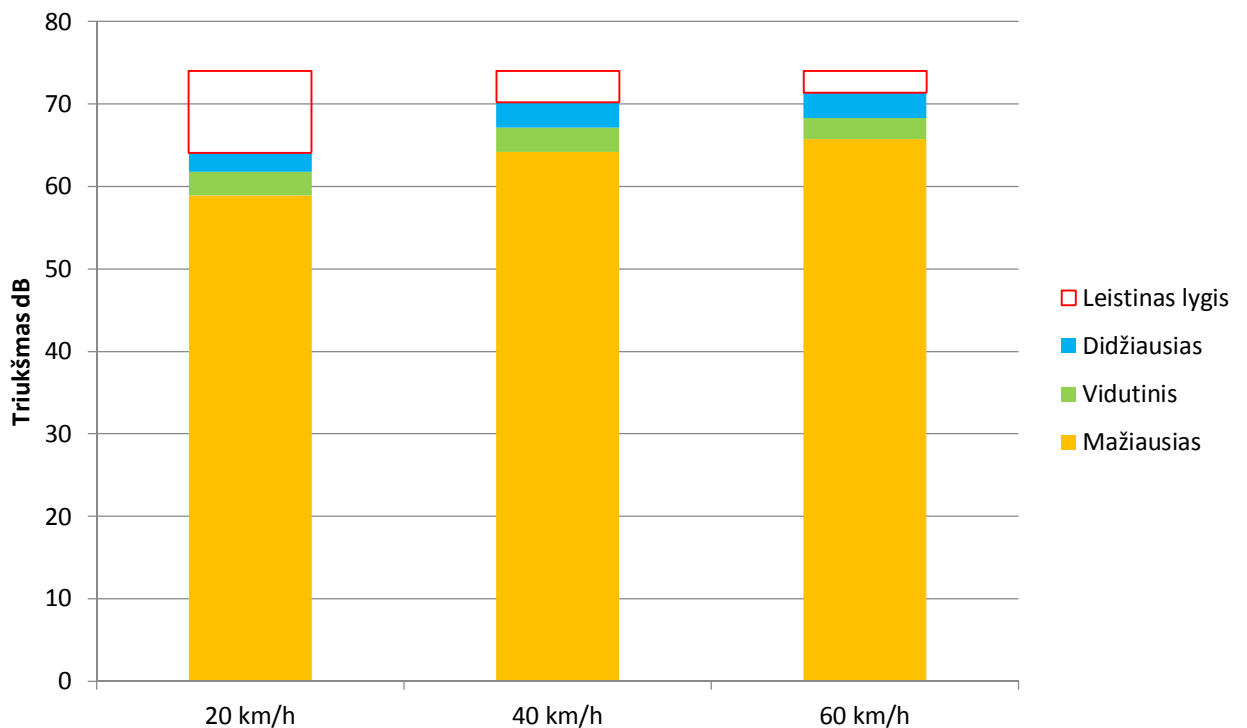


31 pav. Virpesių pagreitis, važiuojant per iškiliają pėsčiųjų perėją, priklausomai nuo padangų slėgio bei važiavimo greičio

Važiuojant per iškiliają perėją buvo matuotas ir triukšmas (32 pav.). Mažiausias triukšmas buvo užfiksuotas padangose esant 1,5 bar slėgiui važiuojant per perėją 20 km/h greičiu. Važiuojant šiuo greičiu tiek mažiausio triukšmo tiek didžiausio triukšmo gauti rezultatai yra labai arti triukšmo vidurkio. Šiuo greičiu važiuojant triukšmas yra labai mažas ir fiksuojant didžiausio triukšmo akimirka jis sudaro tik 60,1 dB. Leistinas triukšmas pagal galiojančius teisės aktus važiuojančiame automobilyje yra 74 dB [11]. Tačiau važiuojant per iškiliają perėją didesniais greičiais triukšmo lygis ženkliai padidėja. Važiuojant 40 km/h greičiu didžiausio triukšmo akimirkoje buvo užfiksuotas 68,9 dB triukšmas. Važiuojant 60 km/h greičiu triukšmas dar truputėli padidėjo ir siekė 71,1 dB. Galima teigti, kad važiuojant 40 km/h ar 60 km/h triukšmo vidurkis ir didžiausias triukšmas yra labai panašus, tačiau važiuojant 20 km/h greičiu per iškiliają pėsčiųjų perėją triukšmas automobilio salone pastebimai sumažėja.



32 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 1,5 bar padangų slėgiui ir skirtingiems greičiams

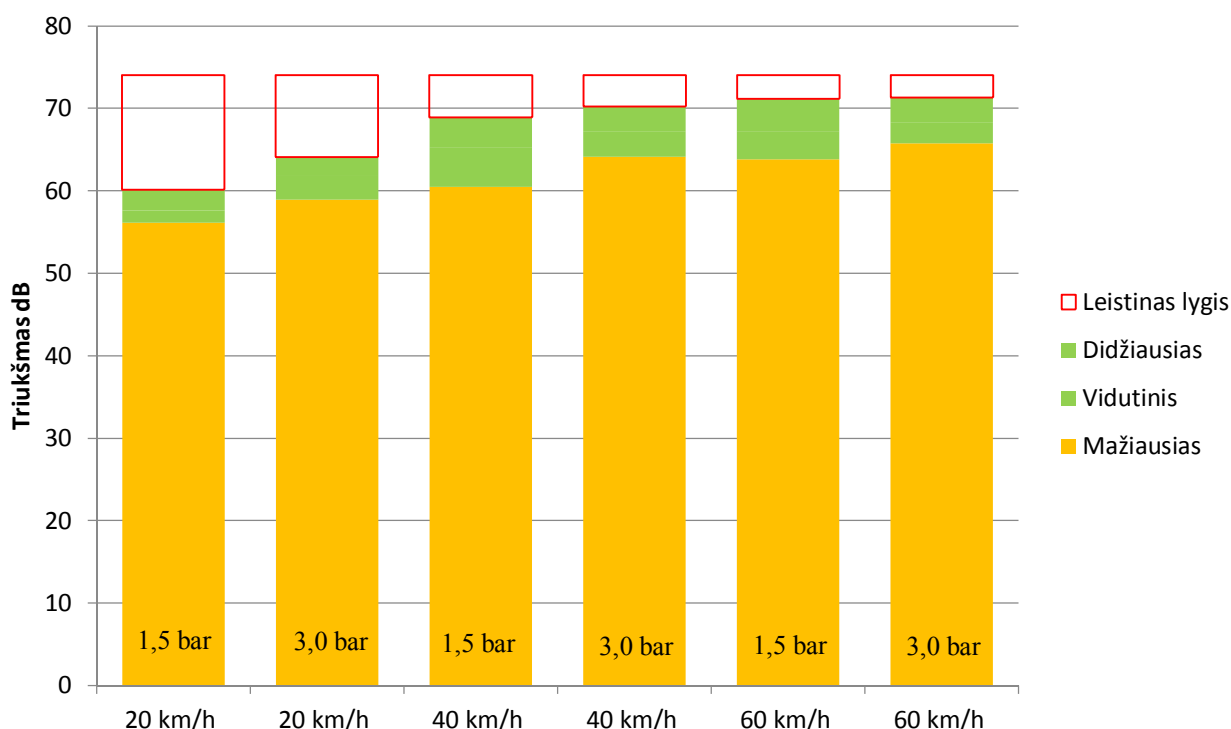


33 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 3,0 bar padangų slėgiui ir skirtingiems greičiams

Važiuojant per iškiliają pėsčiųjų perėją, kai padangose buvo 3,0 bar slėgis užfiksuoti rezultatai pateikti (33 pav.). Mažiausias triukšmas buvo fiksuotas važiuojant 20 km/h greičiu. Didžiausio triukšmo akimirkoje buvo fiksuotas 64,0 dB. Važiuojant 40 km/h ir 60 km/h greičiu

buvo užfiksuoti didesni triukšmo rezultatai kurie sudarė atitinkamai 70,2 ir 71,4 dB. Vadinas jei padangose yra 3,0 bar slėgis, norint sumažinti triukšmą automobilio salone, reikėtu per iškiliają pėsčiųjų perėją važiuoti mažesniu greičiu tai yra 20 km/h. Važiuojant 40 km/h ar 60 km/h triukšmas automobilio salone bus didesnis 6 – 7 dB.

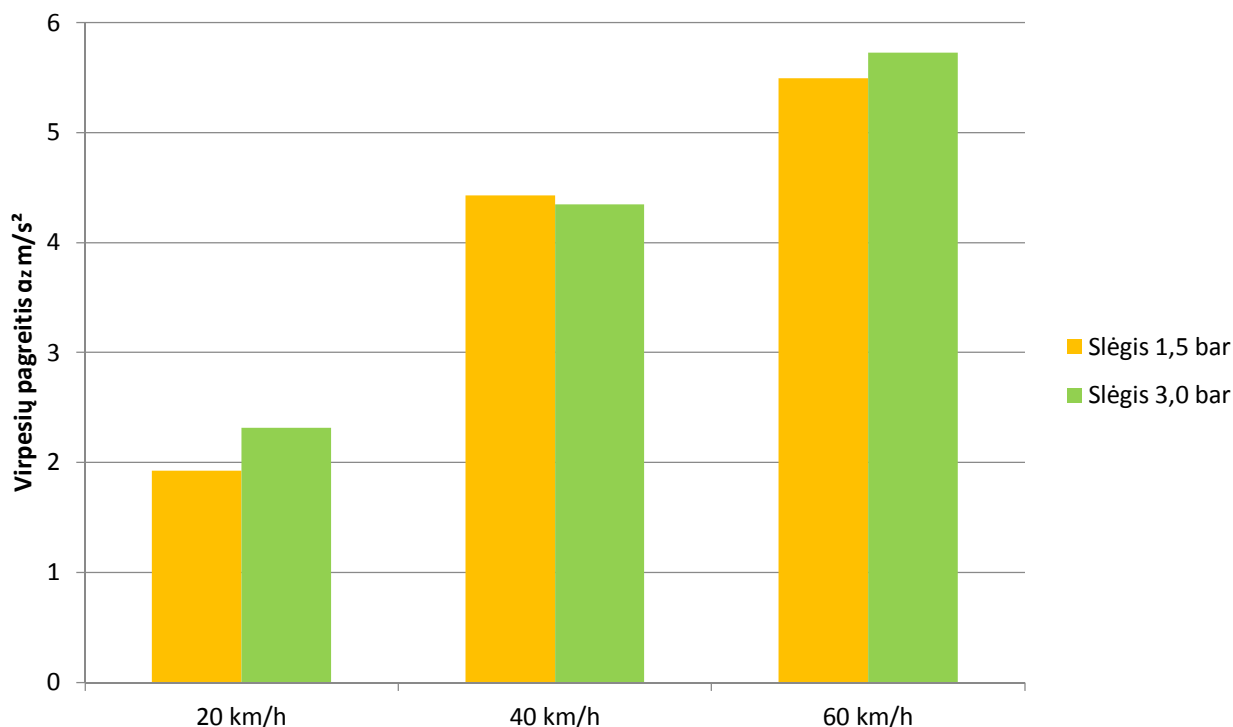
Dviejų paveikslėlių (32 pav. ir 33 pav.) palyginimą pateikiu 34 pav. Kaip matyti iš gautų rezultatų galima teigti, kad triukšmas didesnis važiuojant skirtingais greičiais 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h, kai padangose buvo 3,0 bar slėgis. Mažiausias triukšmas buvo užfiksuotas važiuojant 20 km/h iškiliają pėsčiųjų perėją, kai slėgis padangose buvo 1,5 bar. Slėgiui padangose esant 3,0 bar ir važiuojant 20 km/h triukšmas padidėjo nuo 60,1 dB iki 64,1 dB.



34 pav. Triukšmas automobilio salone, esant skirtingam padangų slėgiui ir važiavimo greičiui

Galima teigti, kad didesnis slėgis padangose padidina triukšmą automobilio salone važiuojant 20 km/h greičiu per iškiliają pėsčiųjų perėją. Važiuojant per perėją 40 km/h greičiu, kai padangose yra 1,5 bar ir 3,0 bar slėgis skirtumas yra labai nedidelis, didžiausias girdimas triukšmas sudaro 68,9 dB ir 70,2 dB. Tačiau važiuojant per perėją 60 km/h greičiu, kai padangose yra 1,5 bar ir 3,0 bar slėgis didžiausiais girdimas triukšmas beveik vienodas ir yra 71,1 dB ir 71,3 dB. Važiuojant 20 km/h didelę įtaką triukšmui turi slėgis padangose. Kuo slėgis padangose mažesnis tuo triukšmas važiuojant per iškiliają pėsčiųjų perėją irgi bus mažesnis. Tačiau važiuojant greičiau per perėją, tai yra 40 km/h ir 60 km/h greičiu slėgis padangose nesudaro didesnio skirtumo triukšmui. Važiuojant 40 km/h greičiu skirtumas tarp 1,5 bar ir 3,0 bar slėgio padangų sudaro tik 1,3 dB, o važiuojant 60 km/h greičiu skirtumas beveik išnyksta ir tesudaro 0,2 dB.

Kaip skiriasi virpesių pagreitis imant skirtingus slėgius padangose ir važiuojant per 2 kalnelius „gulintis policininkas“ bei važiuojant skirtingais greičiais 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h yra pateikti (35 pav.).

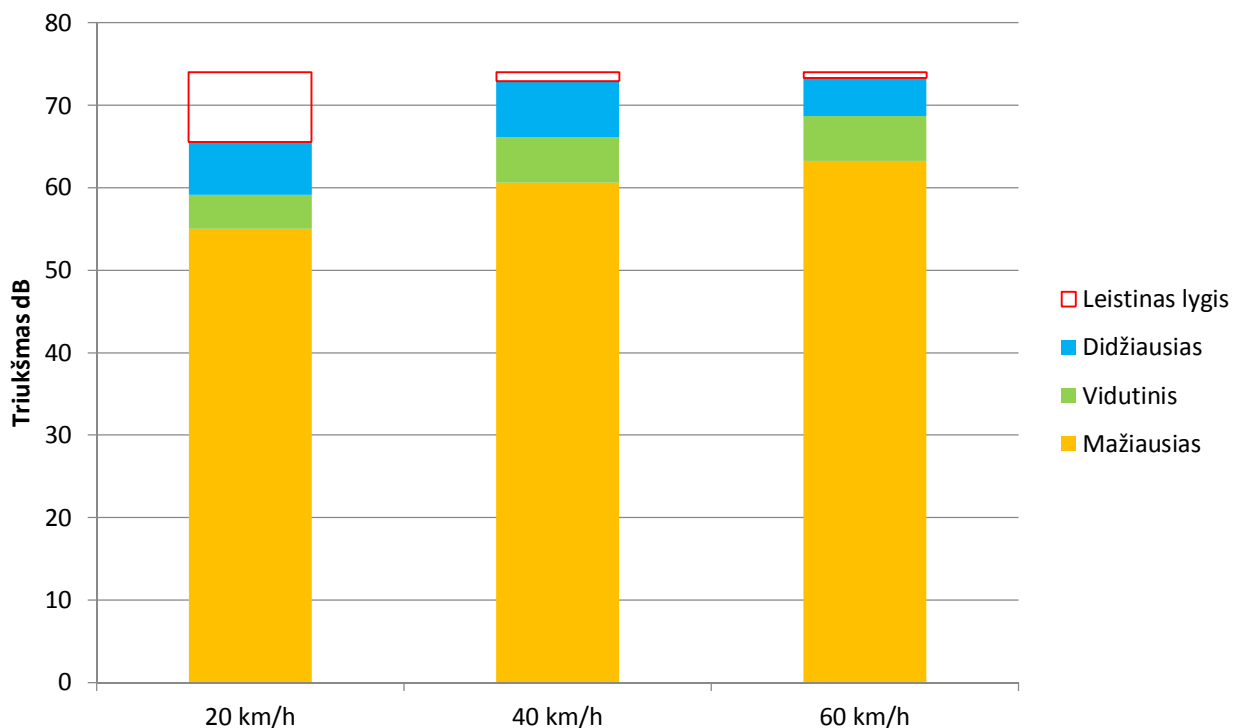


35 pav. Virpesių pagreitis, važiuojant per 2 kalnelius „gulintis policininkas“, priklausomai nuo padangų slėgio bei važiavimo greičio

Kaip matyti dviem atvejams važiuojant 20 km/h ir 60 km/h greičiu per 2 kalnelius ir slėgiui padangose esant 1,5 bar virpesių pagreitis mažesnis nei važiuojant su padangose slėgiu kuris lygus 3,0 bar. Važiuojant per 2 kalnelius „gulintis policininkas“ 40 km/h greičiu virpesių pagreičiui slėgis padangose įtakos neturėjo, nes virpesių pagreitis buvo didesnis kai padangose buvo slėgis 1,5 bar. Lyginant važiavimą 20 km/h ir 60 km/h greičiu, kai padangose yra 1,5 bar slėgis virpesių pagreitis padidėja 2,85 karto. Jei padangose yra 3,0 bar slėgis ir lyginant 20 km/h ir 60 km/h greitį tai virpesių pagreitis yra didesnis 2,47 karto. Vadinasi norint išvengti didesnių virpesių važiuojant per 2 kalnelius „gulintis policininkas“ reikėtų, važiuoti lėčiau. Tokie kalneliai efektyvesni, nes vairuotojai prieš juos labiau sumažina greitį. Labai svarbu jog šio tipo kalnelyje slėgis padangose 1,5 bar ar 3,0 bar virpesių pagreičiui daro mažesnę įtaką nei greitis. Vairuotojai turi mažiau galimybių sumažinti virpesius važiuodami minkštesnėmis padangomis, todėl lieka tik viena galimybė vairuotojams, tai yra mažinti greitį. Šių kalnelių įrengimu ir siekiama mažinti greitį.

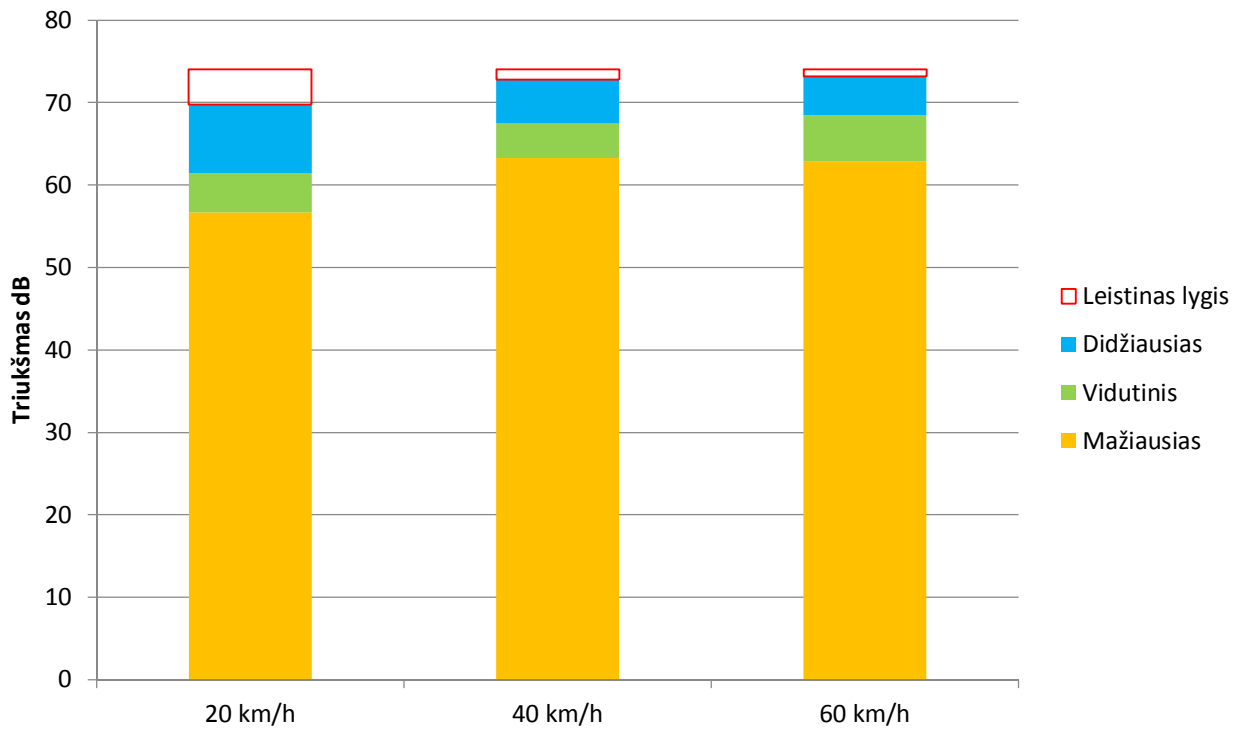
Važiuojant per 2 kalnelius „gulintis policininkas“, padangose esant 1,5 bar slėgiui užfiksuoti triukšmo rezultatai pateikti (36 pav.). Kaip matyti pati mažiausia didžiausio triukšmo vertė, kuri buvo 65,5 dB užfiksuota, kai buvo važiuota 20 km/h greičiu. Važiuojant per 2 kalnelius 40km/h ir

60 km/h didžiausias triukšmas buvo labai panašus ir sudarė 72,9 dB ir 73,3 dB. Galima daryti išvadą, kad važiuojant per 2 kalnelius „gulintis policininkas“ ir padangose esant 1,5 bar slėgiui triukšmą galime sumažinti automobilio salone, kai per kliūtį važiuosime lėčiau, tai yra 20 km/h greičiu.



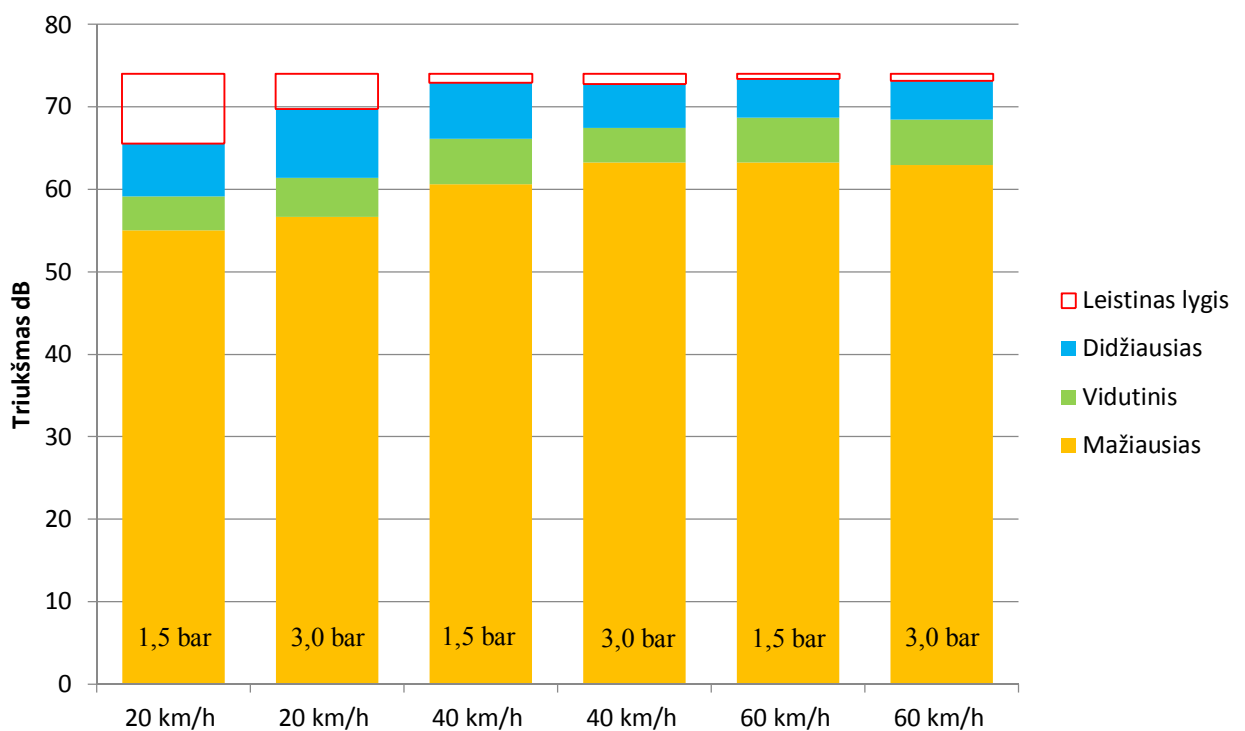
36 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 1,5 bar padangų slėgiui ir skirtingiems greičiams

Važiuojant per 2 kalnelius „gulintis policininkas“, kai padangose buvo 3,0 bar slėgis užfiksuoti rezultatai pateikti (37 pav.). Kaip matyti važiuojant 20 km/h, 40 km/h, 60 km/h greičiu didžiausios triukšmo vertės yra labai panašios ir buvo 69,7 dB, 72,8 dB ir 73,1, todėl galima teigti, kad važiuojant per 2 kalnelius su padangose esančiu slėgiu 3,0 bar triukšmą galime sumažinti tik važiuojant lėtai per kliūtį. Jei per 2 kalnelius važiuosime 40 km/h ar 60 km/h greičiu, triukšmui automobilio salone, tai neturės jokios įtakos. Važiuojant 40 km/h ar 60 km/h triukšmo didžiausios vertės skiriasi tik 0,3 dB.



37 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 3,0 bar padangų slėgiui ir skirtingiems greičiams

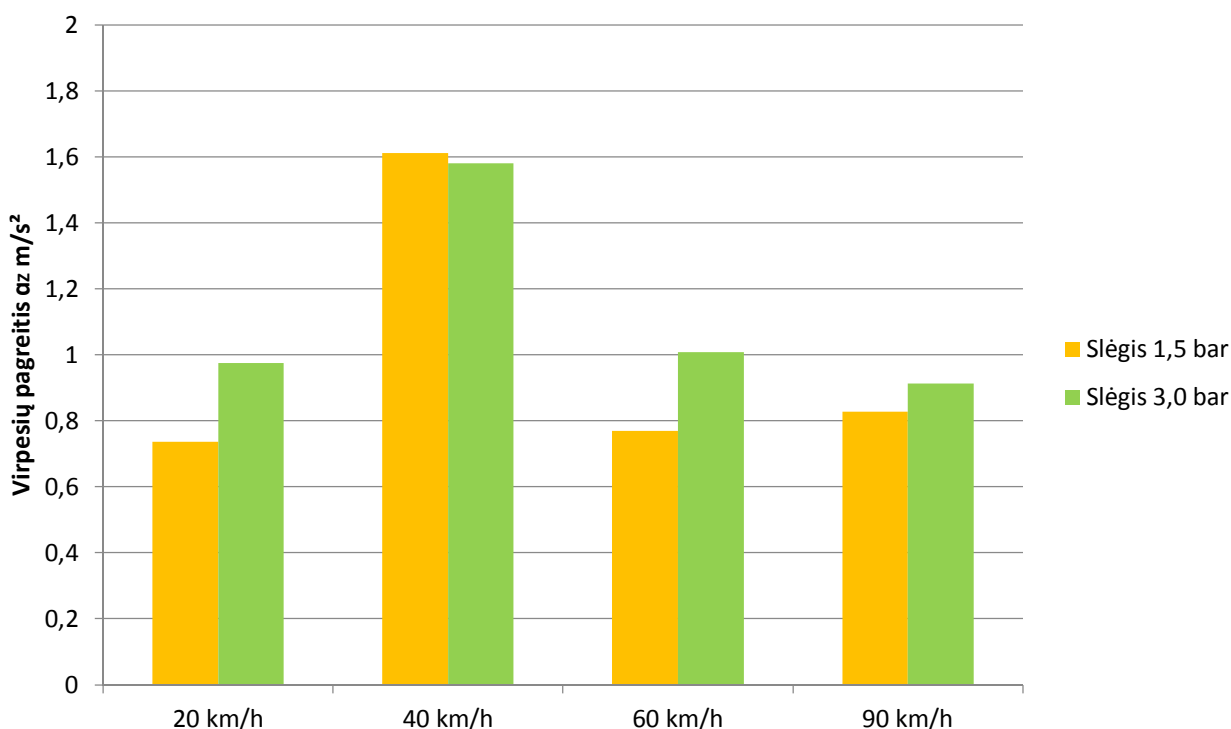
Dviejų paveikslėlių (36 pav. ir 37 pav.) palyginimas pateiktas 38 pav. Lyginant važiavimą per 2 kalnelius „gulintis policininkas“ 20 km/h greičiu ir esant padangose 1,5 bar slėgiui visos triukšmo gautos vertės (mažiausias, vidutinis, didžiausias) yra mažesnės negu važiuojant su padangomis kai jose yra slėgis lygus 3,0 bar.



38 pav. Triukšmas automobilio salone, esant skirtingam padangų slėgiui ir važiavimo greičiui

Tačiau važiuojant 40 km/h greičiu triukšmo mažiausios ir vidutinės vertės yra mažesnės kai padangose slėgis buvo 1,5 bar, o didžiausias triukšmas 72,9 dB buvo pasiektas, kai padangose buvo irgi tas pats slėgis 1,5 bar. Kai padangose slėgis buvo lygus 3,0 bar didžiausias triukšmo lygis buvo užfiksuotas 72,8 dB. Galima teigti, kad važiuojant 40 km/h greičiu per 2 kalnelius, kai padangose 1,5 bar ar 3,0 bar slėgis didžiausias triukšmas yra beveik identiškas, todėl slėgis padangose nedaro įtakos triukšmui. Važiuojant per 2 kalnelius 60 km/h greičiu, kai padangose 1,5 bar slėgis, triukšmas buvo didesnis visose kategorijose (mažiausio, vidutinio, didžiausio) po 0,2 – 0,3 dB nei važiuojant su padangomis kuriose buvo slėgis 3,0 bar. Galima teigti, kad važiuojant 60 km/h greičiu per 2 kalnelius „gulintis policininkas“ padangų slėgis triukšmui įtakos nedaro.

Buvo atliktas tyrimas kokie virpesiai ir triukšmas yra važiuojant triukšmo juosta. Išilginė struktūrinio ženklavimo triukšmo juosta įrengiama iš šaltojo plastiko arba termoplasto išilgai važiuojamosios kelio dalies, žyminčios važiuojamosios dalies kraštą, skirtos perspėti vairuotojus apie išvažiavimą iš eismo juostos. Šios triukšmo juostos dažniausiai įrengiamos didelio eismo intensyvumo keliuose su ilgais monotoniškais ruožais, kuriuose vyrauja tranzitinis eismas, daug sunkiojo transporto ir avaringuose kelių ruožuose, kuriuose vyrauja nuvažiavimai nuo važiuojamosios kelio dalies. Šis tyrimas atliktas padangose esant 1,5 bar ir 3,0 bar slėgiui. Tyrimą papildžiau dar vienu ganėtinai standartiniu greičiu tai yra 90 km/h. Šį greitį pasirinkau todėl, kad jis yra leistinas ir optimalus greitis važiavimui paprastuose rajoniniuose keliuose. Virpesių pagreičio tyrimo duomenys pateikti (39 pav.)



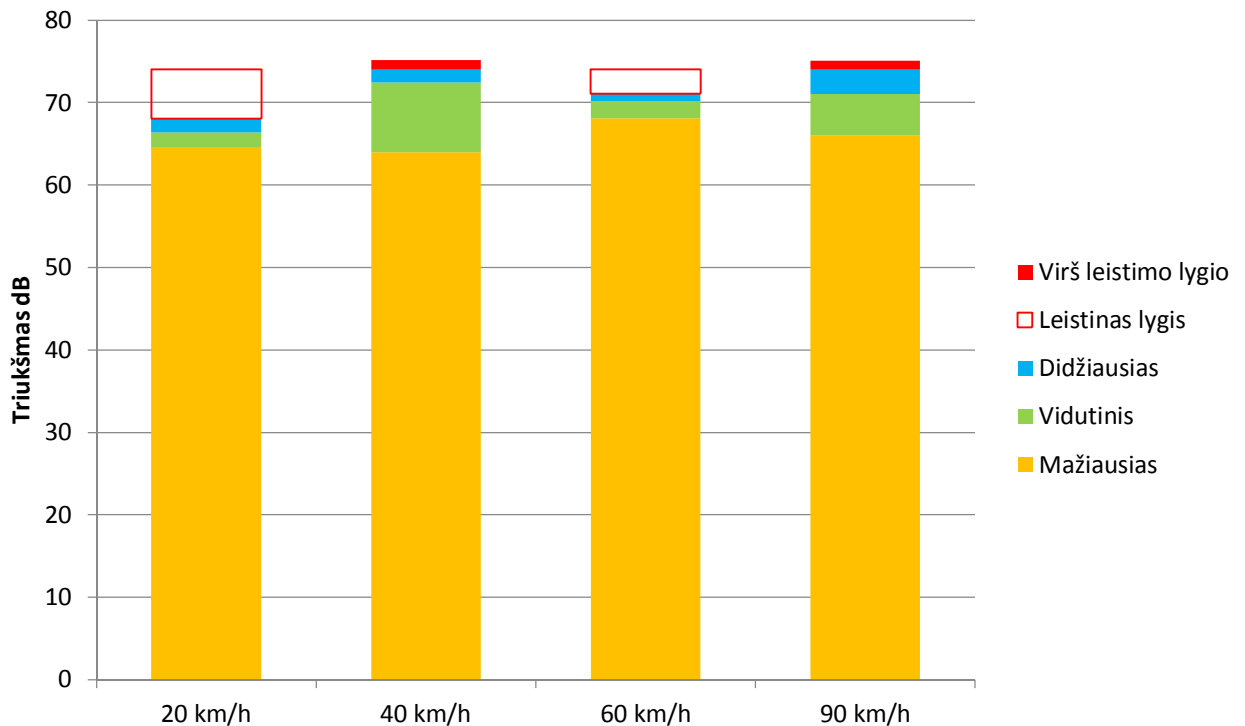
39 pav. Virpesių pagreitis, važiuojant per triukšmo juostą, priklausomai nuo padangų slėgio bei važiavimo greičio

Kaip matyti iš gautų rezultatų važiuojant 20 km/h, 60 km/h, 90 km/h virpesių pagreitis yra gana panašus. Važiuojant su padangomis kuriose buvo 1,5 bar slėgis, virpesių pagreitis didėjo, palaipsniui didinant važiavimo greitį važiuojant 20 km/h virpesių pagreitis buvo 0,73, 60 km/h virpesių pagreitis buvo 0,77, o 90 km/h virpesių pagreitis buvo 0,83, tačiau važiuojant 40 km/h virpesių pagreitis sudarė 1,61. Galima teigti, kad važiuojant 40 km/h greičiu yra optimaliausias greitis papildomiems virpesiams atsirasti ir nesvarbu ar padangose yra 1,5 bar ar 3,0 bar slėgis. Važiuojant su padangomis kuriose buvo 3,0 bar slėgis važiuojant 20 km/h greičiu virpesių pagreitis sudarė 0,98, 60 km/h virpesių pagreitis buvo 1,00, o važiuojant 90 km/h greičiu buvo 0,91. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad važiuojant, kai padangose yra 3,0 bar slėgis virpesių pagreitis mažės greičiui didėjant nuo 40 km/h iki 90 km/h ir virpesių pagreitis mažės greičiui mažėjant nuo 40 km/h iki 20 km/h. Važiuojant 40 km/h greičiu nesvarbu ar padangose yra 1,5 bar ar 3,0 bar slėgis, tai toks greitis kurio metu atsiranda papildomi virpesiai. Šių padidėjusių virpesių atsiradimą gali įtakoti rezonansas.

Rezonansas – reiškinys, kai sistemą veikiančios jėgos kitimo dažnis sutampa su tos sistemos laisvųjų svyravimų dažniu ir dėl to sistemai perduodama daugiausiai energijos bei ryškiai padidėja priverstinių svyravimų amplitudė.

Šis reiškinys pasitaiko gana dažnai kasdieniame gyvenime. Rezonansas gali būti tiek naudingas, tiek žalingas. Naudingas jis tada, kai reikia padidinti svyravimų amplitudę, pavyzdžiui, specialiais vibratoriais kalant polius, ardant kelio dangą, plūkiant gruntą. Nenaudingas – mašinų, pastatų, tiltų bei kitokių įrenginių suirimo priežastis. Elektros variklių arba garo turbinų greitai besisukančios detalės gali subyrėti, jeigu bus blogai centruotos, nes dėl to jų savųjų svyravimų dažnis gali atsitiktinai sutapti su variklio ar turbinos svyravimo dažniu. Siekdami išvengti pavojingų rezonanso padarinių, konstruktoriai iš anksto apskaičiuoja mašinų bei įrenginių savąjį dažnį, kad, eksploatuojant tuos įrenginius, rezonansas nepasireikštų. Kariniams daliniams draudžiama per tiltus žygiuoti koja kojon [12].

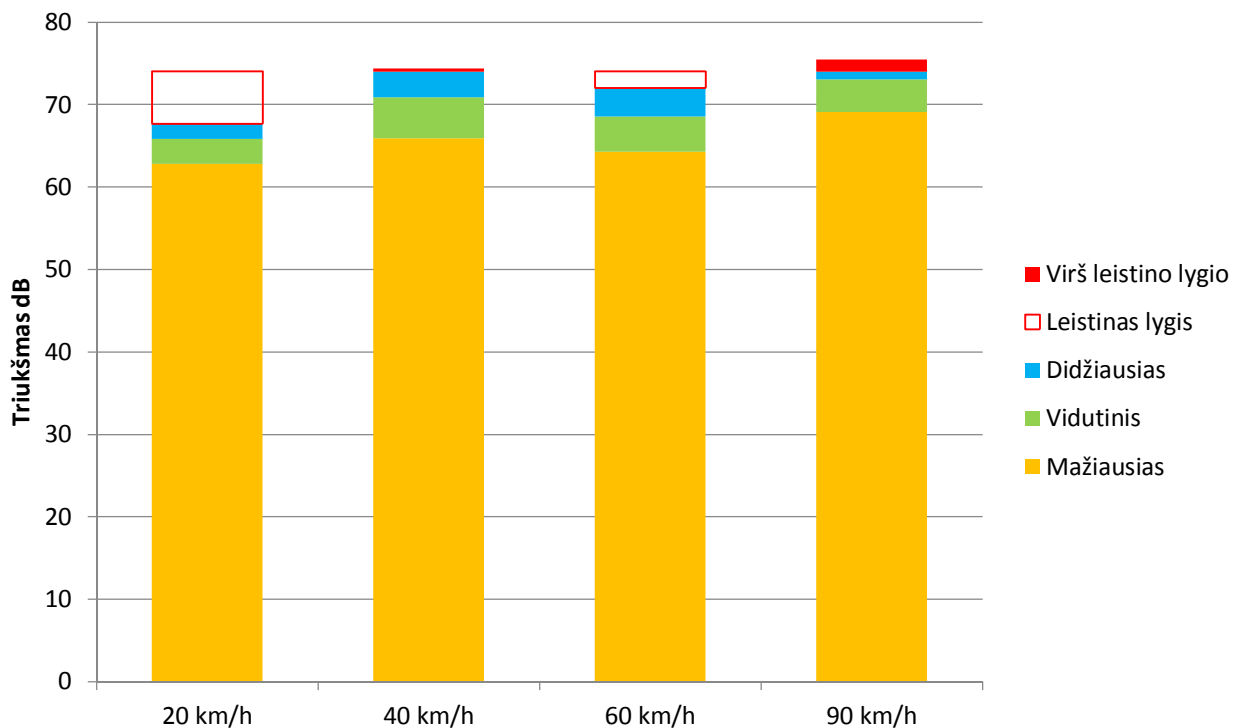
Važiuojant per triukšmo juostą, kai padangose buvo 1,5 bar slėgis užfiksuoti rezultatai pateikti (40 pav.). Kaip matyti iš pateiktų rezultatų triukšmo stiprumui automobilio salone didesnis greitis neturi visiškai įtakos. Didžiausias triukšmas 75,2 dB užfiksuotas, kai važiavimo greitis buvo 40 km/h. Didžiausio triukšmo mažiausia vertė 68,0 dB užfiksuota važiuojant lėčiausiai, tai yra 20 km/h.



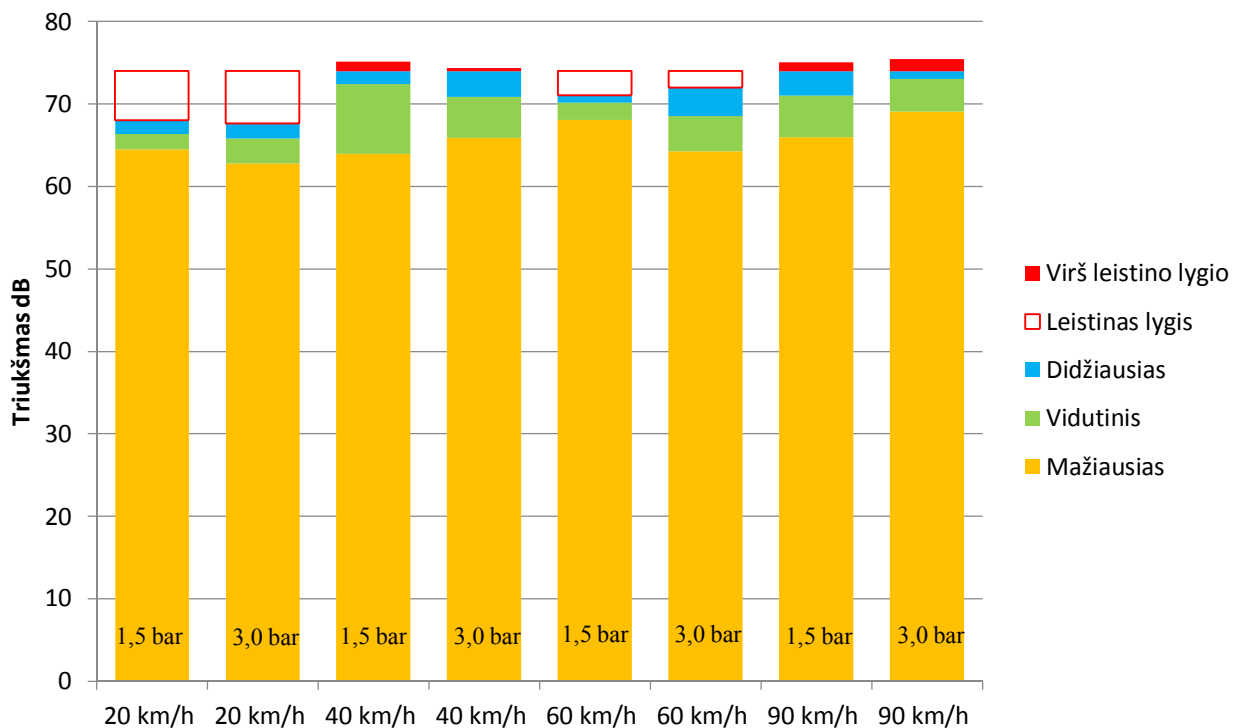
40 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 1,5 bar padangų slėgiui ir skirtingiems greičiams

Važiuojant per triukšmo juostą, kai padangose buvo 3,0 bar slėgis užfiksuoti rezultatai pateikti (41 pav.). Mažiausia maksimali triukšmo vertė užfiksuota važiuojant 20 km/h greičiu ir ji sudarė 67,7 dB. Didžiausias triukšmas 75,5 dB užfiksuotas važiuojant greičiausiai, tai yra 90 km/h. Galima teigti, kad didėjant automobilio greičiui ir esant padangose 3,0 bar slėgiui bei važiuojant per triukšmo juostą, triukšmas didėja ir automobilio salone. Šis teiginys negalioja tik važiuojant 40 km/h greičiu. Važiuojant 40 km/h greičiu didžiausias triukšmas 74,3 dB labai artimas pačiam didžiausiam fiksuotam triukšmui, kai važiavimo greitis buvo 90 km/h ir pasiektas triukšmas buvo lygus 75,5 dB.

Dviejų paveikslėlių (40 pav. ir 41 pav.) palyginimas pateiktas 42 pav. Lyginant važiavimą per triukšmo juostą 20 km/h greičiu ir esant padangose 1,5 bar slėgiui visos triukšmo gautos vertės (mažiausias, vidutinis, didžiausias) yra didesnės nei važiuojant su padangomis, kai jose yra slėgis 3,0 bar. Greičiui esant 40 km/h didžiausias triukšmas 75,2 dB fiksuotas, kai padangose slėgis buvo 1,5 bar. Slėgiui esant 3,0 bar triukšmas buvo šiek tiek mažesnis tai yra 74,3 dB. Greičiui padidėjus iki 60 km/h ir iki 90 km/h, triukšmas didesnis buvo, kai padangose slėgis buvo didesnis 3,0 bar.



41 pav. Triukšmas automobilio salone, esant 3,0 bar padangų slėgiui ir skirtingiems greičiams



42 pav. Triukšmas automobilio salone, esant skirtingam padangų slėgiui ir važiavimo greičiui

Padangų slėgis 1,5 bar ar 3,0 bar labai didelės įtakos triukšmo lygiui nedaro. Važiuojant 20 km/h ir 40 km/h per triukšmo juostą, triukšmas didesnis, kai padangose yra 1,5 bar slėgis. Tačiau važiuojant 60 km/h ir 90 km/h triukšmas yra didesnis, kai padangose yra slėgis lygus 3,0 bar.

IŠVADOS

Atlikus triukšmo ir virpesių matavimus važiuojančio automobilio salone važiuojant skirtingomis kelio dangomis (Panevėžio miesto asfaltu, užmiesčio asfaltu, žvyruotu keliu) ir skirtingomis kliūtimis (iškilniąją pėsčiųjų perėją, kalneliais „gulintis policininkas“, struktūrinio ženklavimo triukšmo juosta) bei skirtingais slėgiais pripūstomis padangomis 3,0 bar ir 1,5 bar, galime daryti tokias išvadas:

- Važiuojant užmiesčio asfaltu 60 km/h ar 40 km/h ir 1,5 bar ar 3,0 bar slėgiu pripūstomis padangomis virpesių pagreitis yra labai panašus tik padangose esant 3,0 bar slėgiui ir važiuojant 40 km/h greičiu virpesiai nežymiai didesni nei važiuojant 60 km/h.
- Važiuojant žvyruotu keliu 3,0 bar slėgiu pripūstomis padangomis nepastebėta esminių skirtumų ar 40 km/h ar 60 km/h greičiu važiuosite virpesių pagreitis išliks toks pat. Tačiau važiuojant 1,5 bar slėgiu pripūstomis padangomis ir važiuojant 60 km/h greičiu virpesių pagreitis yra didesnis nei važiuojant 40 km/h. Virpesių pagreitis sumažėja nuo 3,3 iki 2,8.
- Triukšmo lygis važiuojant 60 km/h visuose tyrimo bandymuose (Panevėžio miesto asfaltu, užmiesčio asfaltu, žvyruotu keliu) užfiksuotas didesnis nei važiuojant 40 km/h greičiu ir nesvarbu ar padangos buvo pripūstos 1,5 bar ar 3,0 bar slėgiu.
- Važiuojant žvyruotu keliu ar Panevėžio miesto asfaltu triukšmo skirtumai nuo mažiausio iki didžiausio yra žymiai didesni nei važiuojant užmiesčio asfaltu. Tokie rezultatai gaunami, todėl, kad važiuojant užmiesčio asfaltu nebuvo pašalinio triukšmo kurį sukelia nelygus kelias. Kuo lygesnis kelias tuo skirtumas tarp mažiausio triukšmo ir didžiausio triukšmo yra mažesnis ir mažiausio ir didžiausio triukšmo vertės yra labai artimos vidurkiui.
- Važiuojant dienos metu ir nakties metu ir lyginant tas pačias kelio atkarpas bei važiavimo greitį ir slėgi padangose triukšmo skirtumas yra mažesnis nuo 1 iki 3 dB, todėl triukšmui automobilio salone paros laikas didelės įtakos neturi.
- Virpesių pagreičiui ir triukšmui važiuojant per iškilniąją pėsčiųjų perėją didžiausią įtaką daro padangų slėgis ir greitis. Kuo slėgis padangose didesnis ir greitis didesnis tuo virpesiai ir triukšmas automobilio salone irgi bus didesni.
- Važiuojant per 2 kalnelius „gulintis policininkas“ slėgis padangose 1,5 bar ar 3,0 bar virpesių pagreičiui daro mažesnę įtaką nei greitis. Kuo didesnis greitis tuo virpesių pagreitis didesnis. Triukšmui didžiausią įtaką daro greitis. Kuo mažesnis greitis tuo mažesnis triukšmas automobilio salone.

- Važiuojant per triukšmo juosta didžiausias virpesių pagreitis patiriamas važiuojant 40 km/h greičiu, kuriam padangų slėgis įtakos neturi ir virpesiai beveik 2 kartus didesni nei važiuojant kitais greičiais. Viršijamas leistinas triukšmo lygis automobilio salone, kai važiuojama 40 km/h ir 90 km/h greičiu.

REKOMENDACIJOS

Atlikus triukšmo ir virpesių matavimus važiuojančio automobilio salone važiuojant skirtingomis kelio dangomis (Panevėžio miesto asfaltu, užmiesčio asfaltu, žvyruotu keliu) ir skirtingomis kliūtėmis (iškilniąją pėsčiųjų perėją, kalneliais „gulintis policininkas“, struktūrinio ženklavimo triukšmo juosta) bei skirtingais slėgiais pripūstomis padangomis 3,0 bar ir 1,5 bar, galime pateikti tokias rekomendacijas siekiant sumažinti virpesius ir triukšmą važiuojančio automobilio salone:

- Važiuojant žvyruotu keliu su 1,5 bar pripūstomis padangomis norint sumažinti virpesius reikia važiuoti lėčiau, nes važiuojant 40 km/h greičiu virpesių amplitudė yra apie 20% mažesnė nei važiuojant 60 km/h greičiu. Važiuojant žvyruotu keliu su 3,0 bar pripūstomis padangomis 40 km/h ar 60 km/h greičiu virpesiai beveik vienodi, todėl reikėtų vengti žvyruoto kelio jei padangos pripūstos kietai.
- Važiuojant užmiesčio asfaltu su 1,5 bar ar 3,0 bar pripūstomis padangomis ir važiuojant 40 km/h ar 60 km/h greičiu virpesiai beveik identiški tai reiškia, kad gerame kelyje virpesiai mažai priklauso nuo slėgio padangose bei važiavimo greičio.
- Važiuojant nelygiu, duobėtu asfaltu virpesiai labai priklauso nuo greičio. Važiuojant 40 km/h virpesiai ženkliai mažesni, o važiuojant 60 km/h virpesiai yra didesni. Slėgis padangose mažiau įtakos daro virpesiams nei greitis, todėl nelygiu asfaltu reikėtų važiuoti lėčiau.
- Važiuojant skirtingomis kelio dangomis (Panevėžio miesto asfaltu, užmiesčio asfaltu, žvyruotu keliu) galima sumažinti triukšmo lygį tik važiuojant lėčiau, tai yra 40 km/h greičiu. Važiuojant (Panevėžio miesto asfaltu, užmiesčio asfaltu, žvyruotu keliu) visose kelių atkarpose triukšmo lygis buvo didžiausias važiuojant didesniu greičiu, tai yra 60 km/h.
- Norint sumažinti virpesius ir triukšmą automobilio salone važiuojant per iškilniąją pėsčiųjų perėją ir 2 kalnelius „gulintis policininkas“, reikia važiuoti nedidesniu kaip 20 km/h greičiu ir padangose turėtų būti ne didesnis kaip 1,5 bar slėgis.
- Važiuojant triukšmo juosta 40 km/h ir 90 km/h greičių bei padangose esant 1,5 bar ir 3,0 bar slėgiui, triukšmas automobilio salone buvo didžiausias ir viršijo leistina triukšmo

lygi, tai yra 74 dB. Tačiau važiuojant 20 km/h ir 60 km/h triukšmo juosta tampa ne tokia efektyvi, nes triukšmas sumažėja.

LITERATŪRA

1. **Carla Julio da Silveira Brizon, Eduardo Bauzer Medeiros.** Combining subjective and objective assessments to improve acoustic comfort evaluation of motor cars, *Applied Acoustics* 73 (2012) 913-920.
2. **Guangqiang Wu, Guodong Fan, and Jianbo Guo.** Ride comfort evaluation for road vehicle based on rigid-flexible coupling multibody dynamics, *theoretical & applied mechanics letters* 3, 013004 (2013).
3. **Saukienė I.** Triukšmo pasekmės sveikatai – katastrofiškos. 2008. Prieiga per internetą: < <http://www.delfi.lt/sveikata/sveikatos-naujienos/triuksmo-pasekmes-sveikatai%20katastrofiskos.d?id=18458169> > [žiūrėta 2016 – 10 – 25].
4. Kauno krašto kardiologų draugijos Konferencija profesijos ir aplinkos poveikis širdies ir kraujagyslių sistemai 2006 m. spalio 31 d. Kauno medicinos universiteto Kardiologijos klinika.
5. **Anirban C. Mitra, Tanushri Soni, Kiranchang G. R., Shaizam Khan, Nilotpal Banerjee,** Experimental Design and Optimization of Vehicle Suspension System, *proceeding 2* (2015) 2453-2462.
6. **Hai B. Huang, Ren X. Li, Xiao R. Huang, Ming L. Yang, Wei P. Ding,** Sound quality evaluation of vehicle suspension shock absorber rattling noise based on the Wigner–Ville distribution, *Applied Acoustics* 100 (2015) 18-25.
7. **Ji-Hun Bae, Kyung-Chae Jung, Seong-Hwan Yoo, Seung-Hwan Chang, Minsoo Kim, Taeseong Lim,** Design and fabrication of a metal-composite hybrid wheel with a friction damping layer for enhancement of ride comfort, *Composite Structures* 133 (2015) 576-584.
8. **Dragan Sekulic, Vlastimir Dedovic, Srdjan Rusov, Slaviša Šalinic, Aleksandar Obradovic,** Analysis of vibration effects on the comfort of intercity bus users by oscillatory model with ten degrees of freedom, *Applied Mathematical Modelling* 37 (2013) 8629-8644.
9. **S. Beregi, D. Takacs, G. Stepan,** Tyre induced vibrations of the car–trailer system, *Journal of Sound and Vibration* 362 (2016) 214-227.
10. **Mohd Jailani Mohd Nor, Mohammad Hosseini Fouladi, Hassan Nahvi, Ahmad Kamal Ariffin.** Index for vehicle acoustical comfort inside a passenger car, *Applied Acoustics* 69 (2008) 343-353.
11. Higienos norma HN 33:2001. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.340235D685E1> - [žiūrėta 2017-03-25].
12. Vikipedija, Rezonansas. Prieiga per internetą: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Rezonansas> [žiūrėta 2017-01-12].

13. Google Lietuvos, paieška google žemėlapiuose. Prieiga per internetą: <https://www.google.lt/maps/@54.918023,23.9762521,1816m/data=!3m1!1e3?hl=lt> [žiūrėta 2016-12-15].