



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVŽIO TECHNOLOGIJOS IR VERSLO FAKULTETAS

Darius Šiškėnas

**KROVININIO KIBULO PRIE PORMIO TVIRTINIMO
ELEMENTŲ STIPRUMO TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Dainius Vaičiulis

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros ved jias
(parašias) Doc. dr. Arnas Tautkus
(data)

KROVININIO KIBULO PRIE PORIMO TVIRTINIMO
ELEMENTŲ STIPRUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (kodas 621H30001)

Vadovas

(parašias) Doc. dr. Dainius Vaišius
(data)

Recenzentas

(parašias) _____
(data)

Projekt atliko

(parašias) Darius Šiškis
(data)

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Darius Šiškis

(Studento vardas, pavardė)

Mechanikos inžinerija

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. Gegužis 29 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano Dariaus Šiškio baigiamasis projektas tema „krovinių kėbulų prie porinio tvirtinimo elementų stiprumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimo rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitos šaltiniai tiesiogiai ir netiesiogiai citatos nurodytos literatūros nuorodose. Statymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesumuokėjau.

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

(vardas ir pavardė rašyti ranka)

(parašas)

TVIRTINU:

KTU Panevėžio technologijų ir verslo fakulteto
Technologijų katedros ved. jas
Arnas Tautkus

2015 - -

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Darius Siionis

Grup PMM-3

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Krovinių kabinų prie porinio tvirtinimo elementų stiprumo tyrimas

Anglų kalba: Research of element strength mounting Truck Body to a subframe

Patvirtinta 2015 m. vasario mėn. 13 d. dekanu potvarkiu Nr. ST17-F-13-11.

2. Darbo tikslas:

Nustatyti kiek mažiausiai tvirtinimo elementų reikia patikimai pritvirtinti kabiną prie porinio.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Būtina vertinti kinematinį žadinimą, inercijos apkrovas stabdymo ir staigaus posūkio metu. Skaičiavimus atlikti MKO- FP45 COOL tipo kabinų ir porinio tvirtinimo elementams.

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

Literatūros apžvalga, Tiriamaji dalis, Išvados ir Literatūros sąrašas.

5. Šis uždutis yra neatskiriama bakalauro baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

2015-06-01

(data)

Uždutį gavau:

Darius Siionis

(studento vardas, pavardė, parašas)

2015-02-11

(data)

Vadovas:

doc. Dainius Vaičiulis

(pareigos, vardas, pavardė, parašas)

2015 m. vasaris

(data)

Ši knyga, D. Krovinių kabinų prie porčių tvirtinimo elementų stiprumo. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Dainius Vaišius; Kauno technologijos universitetas, Technologijų ir verslo fakultetas, Technologijų katedra.

Panevėžys, 2015. 49 psl.

SANTRAUKA

Svarbiausi kriterijai projektuojant krovinių transporto dažniausiai yra kaina, savasis gaminių svoris, kabinų talpa, bei ilgaamžiškumas. Šiame darbe nustatysime ar galima atpiginti ir išlengvinti izoterminio tipo kabinų tvirtinimą ant porčių nekeičiant patalpos tvirtinimo konstrukcijos, bet tik mažinant tvirtinimo taškų skaičių.

Remiantis kabinų tvirtinimo prie porčių bandymų rezultatais [7], pastebima, jog pašalinus apie 40% tvirtinimo elementų apkrovos likusiuose tvirtinimo elementuose praktiškai nepakitė. Todėl pasirodė atsiras poreikis patikrinti kiek mažiau tvirtinimo elementų reikia kabinui patikimai pritvirtinti prie porčių pritvirtintam sunkvežimio.

Žinodami išorinių apkrovų dydžius, nustatėme kiek mažiau tvirtinimo elementų reikia norint patenkinti stiprumo sąlygas.

Siciunas, D. Research of Element Strength Mounting Truck Body to a Subframe *Master thesis* / Supervisor assoc. prof. Dainius Vaiciulis; Kaunas University of Technology, Panevezys Faculty of Technologies and Business, Department of Technologies.

Panevezys, 2015. 49 pages

SUMMARY

The main advantages in the design of heavy cargo vehicles are such as product price, weight, loading capacity and life-time durability. In this article we will make a numerical research to find out is it possible to reduce the price and weight of the truck body by reducing the amount of mounting units.

From the strength test [7] of the truck box mounting it is noticed that after removing 40% of mounting bolts the loading data on the rest of the bolts almost did not change. In the result of this finding a request for a numerical research occurred to check how many mounting elements it is necessary to mount a truck box.

After establishing sources of loading, corresponding force values were found. Then the minimal amount of mounting elements was presented.

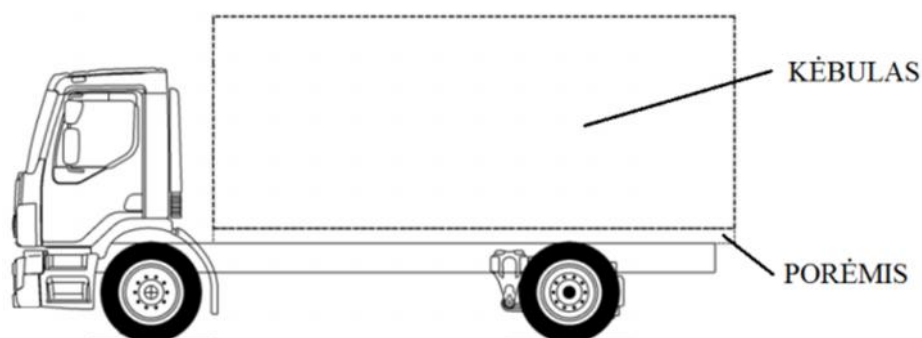
TURINYS

vadas	9
1. Literatūros apžvalga	11
1.1. Lyginamosios apkrovos.....	11
1.2. Kelio nelygumų tak automobilio dinamikai	12
1.3. Greičio taktinės reakcijos atsirandantioms dėl kelio nelygumų	13
1.4. Eismo taktinė pakabinamo tilt dinamikai.....	13
1.5. Tvirtinimo varžtų kirpimo analizė	14
1.6. Kelio nelygumų klasės pagal ISO 2631-1	15
1.7. Kibulo prie porinio tvirtinimo stiprumo testo apžvalga.....	16
1.7.1. Bandymo metu naudoti matavimo rankiai ir jų paklaidos	16
1.7.2. Matavimo prietaisų teorija.....	17
1.7.3. MKO FP45 COOL kibulo tvirtinimo bandymas	18
1.7.4. Bandymo eiga.....	19
1.7.5. Bandymo serijos aprašymas	21
1.7.6. Atlikti matavimai bandymo metu	22
1.7.7. Bandymo autorių apibendrinimas:	23
1.7.8. Tyrimo autoriai padarę tokias išvadas:.....	23
1.7.9. Tyrimo rezultatų apžvalga ir vertinimas.....	23
2. Sunkvežimio kibulio ir jo tvirtinimo elementus veikiantis tyrimas.....	26
2.1. Pagrindiniai sunkvežimio dinamiką takojantys veiksniai	26
2.2. Ribinės varžtų apkrovos	26
2.3. Saugos koeficientas dinaminėms apkrovoms.....	27
2.4. Tvirtinimo varžtų veržimas	28
2.5. Trinties jėgos dydis vaidmuo jėgų analizėje	29
2.6. Inercijos jėgos dydis staigiai stabdant	30
2.7. Inercijos jėgos dydis atliekant staigų posūkį	31
2.8. Papildoma apkrova posūkyje, sukeliama vertimo momento.....	32
2.9. Kombinuota tempimo ir kirpimo apkrova.....	36

2.10. Kinematinio žadinimo d l kelio nelygum vertinimas	36
2.10.1 K bulo tvirtinimo tašk skai iaus taka vidutin ms tvirtinimo varžt apkrovoms	37
2.10.2. K bulo inercijos taka vidutin ms tvirtinimo varžt apkrovoms	40
2.10.3. K bulo mas s centro taka vidutin ms tvirtinimo varžt apkrovoms.	42
2.10.4 K bulo ilgio taka tvirtinimo varžt apkrovoms	43
3. Rezultatai.....	44
4. Išvados.....	47
Literat ros s rašas	48

vadas

Izotermini sunkvežimi antstatai (žr. 1 pav.) plačiai naudojami maisto ir kitų prekių logistikoje. Krovininiam transportui ypač aktualūs tokie kriterijai: svoris, gamybos kaštai, izoterminės savybės, funkcionalumas bei ilgaamžiškumas.

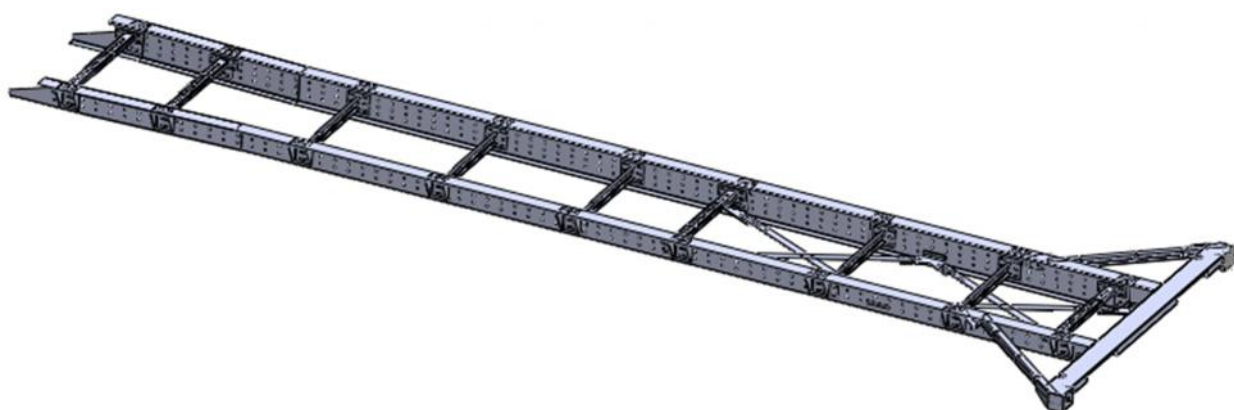


1 pav. Antstatas – kėbulas su porėmiu tvirtinamas ant sunkvežimio [1]

Krovininiai sunkvežimiai gaminami dviem etapais. Pirmasis etapas – sunkvežimio kabinos ir važiuoklės gamyba. Tai atlieka tokios kompanijos kaip Volvo, Scania, DAF, MAN, Mercedes-Benz ir Iveco. Sunkvežimi antstatai yra tvirtinami atskirai pas tokius krovininių kėbulų gamintojus, kaip Schmitz Cargobull, Narko, Bussbygg ir kitus.

Sunkvežimio važiuoklės gamintojas antstato gamintojui pateikia techninius sunkvežimio duomenis bei reikalavimus antstato tvirtinimui ant sunkvežimio. Antstato gamintojas, vadovaudamasis šiais reikalavimais, pritvirtina porėmį su kėbulu ant sunkvežimio važiuoklės (žr. 1 pav.). Kėbulo tvirtinimui ant porėmio turi išmanyti kėbulo gamintojas.

Bent kėbulo tvirtinimui ant porėmio (žr. 2 pav.) šiame tiriamajame darbe ir nagrinšime.



2 pav. Porėmis – tarpinis elementas tarp kėbulo ir važiuoklės

Darbo aktualumas

Šiame darbe aprašomu tyrimu siekiama nustatyti ar galima išlengvinti ir atpiginti k bulo tvirtinim ant por mio, nekei iant tvirtinimo technologin s konstrukcijos, bet tik mažinant tvirtinimo tašk skai i . Kadangi k bulo konstrukcija yra segmentinio tipo konstrukcij galima lengvinti ilginant pa ius segmentus ir taip mažinant tvirtinimo tašk skai i .

K bulo tvirtinimo taškai yra susij su paties por mio konstrukcija. Pašalinus vien iš k bulo tvirtinimo segment grind plokšt je, mes ne tik pašalinam k bulo tvirtinimo segment grind plokšt je, bet ir galime pašalinti skersin pa ioje por mio konstrukcijoje, kuris sveria nuo 15 iki 25 kg priklausomai nuo por mio parametr . Taip pat ženklus laim jimas b t juntamas gaminio savikainai, bei gamybini ištekli s naudom.

Praktikoje didel s mon s kurian ios naujus produktus naudodamos baigtini element stiprumo skai iavimus paprastai turi atskir inžinieri skyri kuris tik tai ir atlieka. Tam naudojamos specializuotos programos ir ypatingai galingi kompiuteriai.

Visgi, pats svarbiausias elementas atliekant tokius skai iavimus išlieka inžinierius. Be galo svarbu yra suprasti kaip veikia stiprumo skai iavim programos. Neteisingai supaprastintas skai iuojamas modelis, ar neteisingai užduotos apkrov ir tvirtinimo s lygos gali duoti labai klaidingus rezultatus.

Paprastai suprojektavus koki nors koncepcij ir apskai iavus jos stiprum baigtini elementu metodu, vis tiek daromi realus fiziniai bandymai. Ir tik jei praktikoje gaunami rezultatai yra labai panašus gautus skai iavimuose, tada teigiama, kad skai iavimo modelis yra teisingas ir tinkamas tolimesniam naudojimui darant papildomus konstrukcinius pakeitimus be papildom brangi bandym .

Kadangi atliekant š darb kompiuteriniai resursai ir programin ranga yra labai riboti, skai iavimai bus atliekami kaip manoma supaprastinant skai iavimo modelius.

Tiriamajo darbo tikslai

- Nustatyti didžiausi k bul veikian i apkrov dydžius ir rast kuri turi didžiausi tak .
- Apskai iuoti kiek mažiausiai tvirtinimo element reikia patikimai pritvirtinti k bul prie por mio.

1. Literatūros apžvalga

Apžvelgsime literatūros šaltinius naudotus rašant šį darbą ir susipažinsime su panašiais darbais kuriuose buvo tiriama kaip kelio nelygumai takuoja atsirandančias reakcijas į gas transporto priemonei.

Taip pat susipažinsime su kelių tvirtinimo stiprumo bandymo rezultatais ir norėdami patvirtinti skaičiavimų teisingumą sulyguosime su rezultatais.

1.1. Lyginamosios apkrovos

Vadovaujantis „Hapag-Lloyd“ kompanijos įvairių konteinerių pakrovimo instrukcija [2] sužinome kokios yra apytikrės dinaminės apkrovos veikiančios įvairių konteinerių transportuojant vilkikais ant puspriekabės tipo platformos.

Dinaminė apkrovė kilmę yra skirtinga. Yra skirtumas tarp pagreio, smūgio ir vibracijos veikiančios antstatą. Pagreiai ir smūgiai atsiranda stabdant, bei kitaip manevruojant. Vibraciją takas atsiranda priklausomai nuo kelio nelygumų ir sunkvežimio pakabos parametrų.

Kadangi paprastai numatyti visas atsirandančias apkrovas galimas transportavimo metu yra per nelengva sudėtinga, kraunant konteinerius yra vadovujamasi bendro pobūdžio galimų apkrovų schema, kuri pateikta 3 pav.



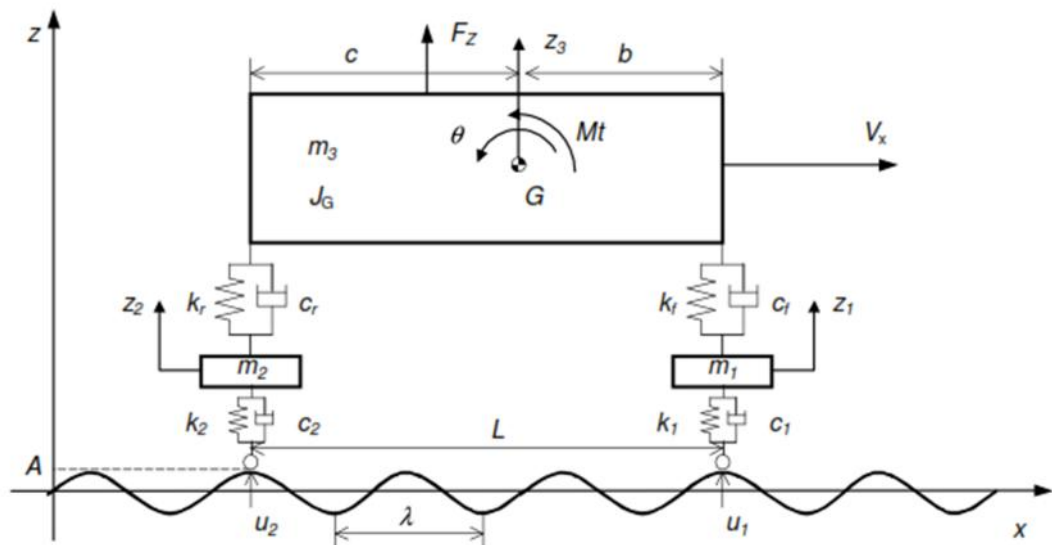
3 pav. Galimi pagreities reikšmės transportuojant sunkvežimiais [2]. Čia $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – laisvojo kritimo pagreitis

Ši informacinio pobūdžio duomenų negalime naudoti dėl netikslumo, bet šie duomenys bus naudingi norint sulyguoti su apskaičiuotais rezultatais.

1.2. Kelio nelygum tak automobilio dinamikai

Tyrimo [3] autoriai pateik metod kaip galima b t vertinti s veik tarp automobilio ir nelygaus kelio. Kitaip tariant apskai iuoti kaip kelio nelygum keliamos vibracijos persiduoda automobilio k bul .

Skai iavimams buvo sudarytos dinamin s lygtis vertikaliam poslinkiui ir kampiniam pos kiui. Kampinio pos kio funkcija buvo gauta vertinat atstum tarp žadinimo tašk kurie yra žadinami tuo pa iu kintan iu pulsu, bet atitinkamu faz s skirtumu. Skai iavimo schema pagal kuri sudarytos dinamin s lygtis parodyta (4 pav.).



4 pav. Skai iavimo schema su dviem žadinimo taškais [3]: ia: k_f, c_f, k_r, c_r – priekinis ir galinis spyruokli parametrai; k_1, c_1, k_2, c_2 – padangos dinaminiai parametrai; m_1, m_2 – nespnyruokliuojama mas (ratai); z_1, z_2, z_3 – vertikal s poslinkiai; $u_1(t), u_2(t)$ – kelio nelygumai; G – svorio centras; I_g – inercijos momentas; θ – kampinis poslinkis; Mt – sukimo momentas; F_z - k bulo vertikali reakcijos j ga; c, b – geometriniai mas s centro parametrai

Nor dami gauti spektrinio žadinimo funkcij (ang.: *System spectral transfer function*) [3] tyrimo autoriai išmatavo dviej kelio ruož (gruntinio ir asfaltuoto kelio) nelygumo profil . Kelio nelygumas buvo išreikštas spektriniu galios tankiu (ang.: *Spectral Density Function*), t. y. vertinami kelio nelygum dydžiai ir kaip dažnai jie pasikartoja.

Tyrimo autoriai padar išvad , kad važiuojant mažu grei iu (25,6 km/h) per gruntin keli padid ja automobilio vertikali jud jimo amplitud d l kelio nelygumu. Tuo tarpu važiuojant greitai (120 km/h) banguotu, bet asfaltuotu keliu ženkliai padid ja automobilio vertikalus poslinkis, kas gali takoti keleivio diskomfort .

1.3. Grei io taka reakcijos atsirandan ioms d l kelio nelygum

Tyrimo autori [4] tikslas buvo nustatyti kaip kelio nelygumai per automobilio pakab persiduoda automobiliui važiuojant skirtingais greiiais.

Šiam tyrimui [4] buvo naudojamas „Peugeot 206: automobilis su nepriklausoma pakaba tod l matavimo prietaisai buvo užmontuoti tik ant vieno rato. Kelio nelygumo matavimai buvo atliekami važiuojant 34, 70 ir 100 km/h greiiais A-E klas s keliais (pagal ISO 2631-1). Tuomet duomenys apdoroti ir išreikšti spektriniu galios tankiu - PSD (ang. *Power Spectral Density*) naudojant Matlab Simulation.

Tyrimo autoriai nustat , kad mažiausia vertikali pakabos eiga visiem važiavimo grei iam yra mažiausia kai važiuojama A klas s keliu (tai geriausios kokyb s kelias pagal ISO 2631-1 standart). Atitinkamai, didžiausia pakabos eiga pasteb ta važiuojant pras iausiu iš testuotu – E klas s keliu.

Tyrimo autori [4] pasteb ta, jog automobilio pakaba daug tiksliau atkartoja kelio paviršiaus vertikal nelygumo profil važiuojant didesniu grei iu palygimus su mažu.

Autoriai [4] taip pat nustat , jog n ra didelio skirtumo tarp matavimo rezultat gaut važiuojant dideliu ir mažu grei iu A klas s keliais. Priešingai važiuojant E klas s keliais kelio nelygum tak jau iama žymiau labiau važiuojant dideliu grei iu, nei mažu. Taigi, didelis greitis važiuojant prastos kokyb s keliais ženkliai didina apkrovas.

1.4. Eismo taka pakabinamu tilt dinamikai

Pakabinami tiltai yra pranašesni d l savo ekonomiškumo konstrukcijos ir gražios išvaizdos. Tokie tiltai yra palyginus lengvi, tod l vibracijos atsirandan ios d l važiuojan io transporto per tilt yra nemažos ir labai svarbios.

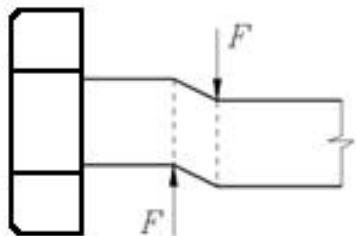
Nor dami vertint kokios apkrovos atsiras sunkvežimiui važiuojant per tilt , tyrimo autoriai [5] išanalizavo sunkvežimio sukeliamas kinematinės apkrovas ir kaip jos veikia tilto konstrukcij .

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad transporto priemon s greitis turi takos atsirandan ioms vibracijos tilto konstrukcijoje. Kuo greitis didesnis - tuo apkrovos didesn s.

Taip pat nustatyta, kad ženkli tak daro duob s kelio dangoje. Straipsnyje teigiama, kad 50cm plo io ir 5cm gylio duob apimanti abu automobilio ašies ratus suformuoja virš 6,5 m/s² momentin pagreit tilto paviršiuje, kai važiavimo greitis tesiekia 50km/h [5].

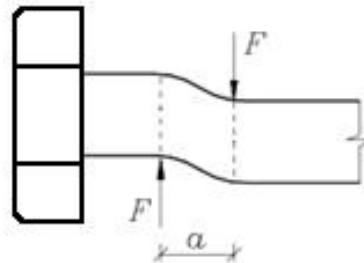
1.5. Tvirtinimo varžt kirpimo analiz

Tvirtinimo elementuose glemžimo metu galimas sudėtingesnis atvejis, kai elementas veikiamas ne tik šlities j g , bet ir lenkimo momento atsirandančio iš atstumo „ a “ (5 ir 6 pav.)



5 pav. Kirpimas

Deformavimo tipas, apibūdinamas greitu elemento poslinkimu vienas kito atžvilgiu kryptimi, lygiagrečiai kerpani j g veikimo kryptimi [6]

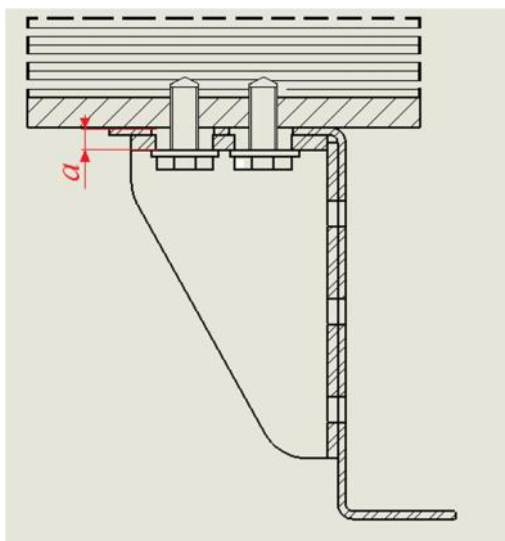


6 Pav. Kirpimas su lenkimu.

Jeigu atstumas tarp kerpani j g „ a “ nėra nykstamai mažas gali atsirasti dar vienas reiškinys – lenkimo momentas – iš esmės keičiantis kirpimo sritys deformavimais [6]

Kad būtų tvirtinimo pjūvyje galime pamatyti (7 pav.). Skylis tvirtinimo elementam yra ženkliai didesnis už paties M16 varžto skersmenį. Taip yra dėl nemažai technologinių tolerancijų. Dėl šios priežasties vykstant glemžimui atsirandantis lenkimo momentas gali turėti tokio ribinio varžto stiprumui.

Šiame tyrime darysime prielaidą, kad lenkimo momentas tvirtinimo elementų kirpimo metu nesusidaro, nes poslinkis tarp kerpani j g ir porinio nėra leidžiamas.



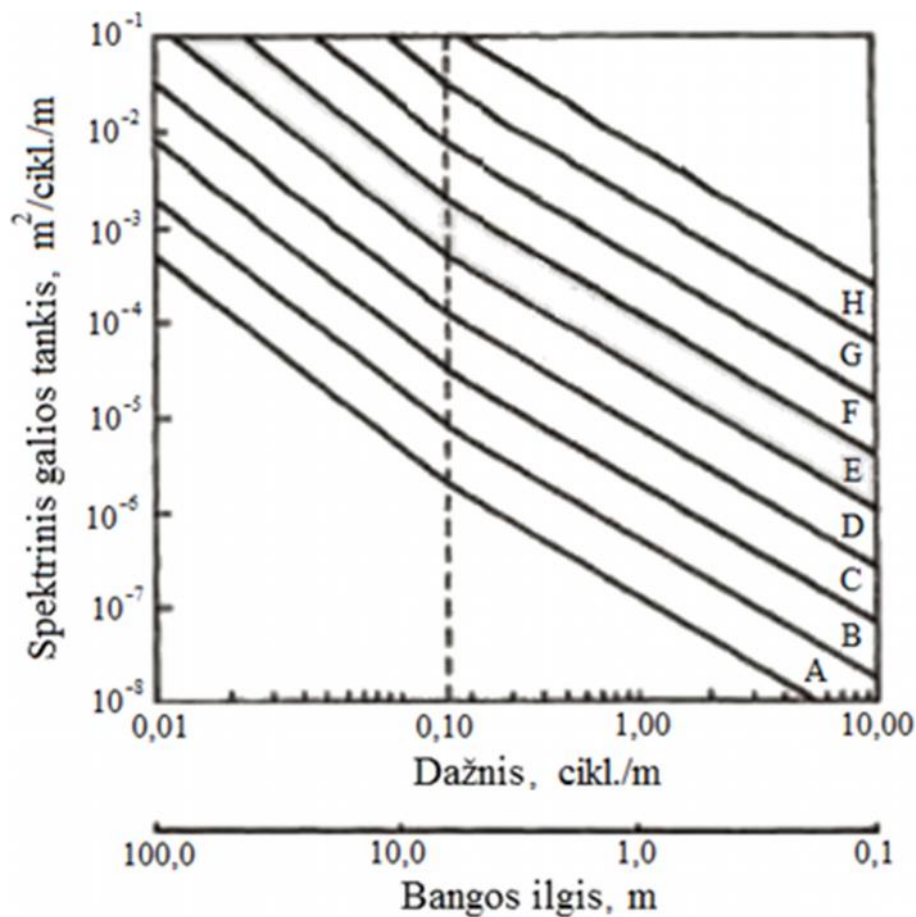
7 pav. Poslinkis tarp kerpani j g ir porinio nėra leidžiamas todėl ir lenkimo momento atstume „ a “ nebus

1.6. Keli nelygumo klasės pagal ISO 2631-1

Keli nelygumas pradėtas matuoti 1960-aisiais, kai Elson Spangler and William Kelly sukūrė inercinį profilometrą (ang. inertial profilometer) General Motors tyrimų laboratorijoje. Šis prietaisas iki šiol vadinamas GMR profilometru. Šis rankis tapo kasdieniu rankiu keli nelygumui matuoti [4].

Kelio šiurkštumas yra platus terminas apimantis duobes, trūkumus ir atsitiktinius kelio bangavimus.

Laikui bėgant atsiradus poreikiui, išvairių organizacijų, suklasifikuoti kelius tarptautini standartų organizacija (ISO) pasiūlymą kelių klasifikavimui pagal paviršiaus nelygumą (klasės: A-H). Jos buvo pagrįstos spektriniu galios tankiu. Pasiūlytos kelių klasės pagal ISO pavaizduotos 8 pav.



8 pav. Kelių klasės pagal ISO [4]

1.7. K bulo prie por mio tvirtinimo stiprumo testo apžvalga

Krovinio k bulo gamintojas turi savo sukurt testavimo metodik [7], pagal kuria yra atliekama serija bandym norint sitikinti jog k bulo tvirtinimas yra patikimas.

Kaip jau buvo min ta vade, teorini skai iavim rezultatus gal sime sulyginti su jau turimais krovininio k bulo ant por mo tvirtinimo stiprumo bandym rezultatais ir taip patikrinti skai iavim teisingum .

Taip pat remdamiesi šiuo bandymu [7] gal sime nustatyti kokie konstrukciniai elementai yra svarbiausi ir kur labiausiai reikia atkreipti d mes .

1.7.1. Bandymo metu naudoti matavimo rankiai ir j paklaidos

Bandymo pradžioje sukalibruoti matavimo instrumentai ir nustatytos j paklaidos:

- Dinanometras (kalibruotas pagal galiojan ias prietaiso normas)
- Tenzorezistoriai* (9, 10, 11 pav.)

1 lentel . Nustatytos tenzometro jutikli paklaidos

Tenzorezistorius	Kalibruota paklaida:
Nr. 1	0,235549 kN/Mpa
Nr. 2	0,242901 kN/Mpa
Nr. 3	0,239799 kN/Mpa
Nr. 4	0,246020 kN/Mpa
Nr. 5	0,274754 kN/Mpa
Nr. 6	0,207415 kN/Mpa

- Persisukimo strypai

2 lentel . Kampinio poslinkio matavimo prietaiso paklaidos

Persisukimo strypai	Kalibruota paklaida:
Priekinis strypas	-0,054525°
Galinis strypas	-0,045388°

1.7.2 Matavimo prietaisai

Tenzorezistoriai*

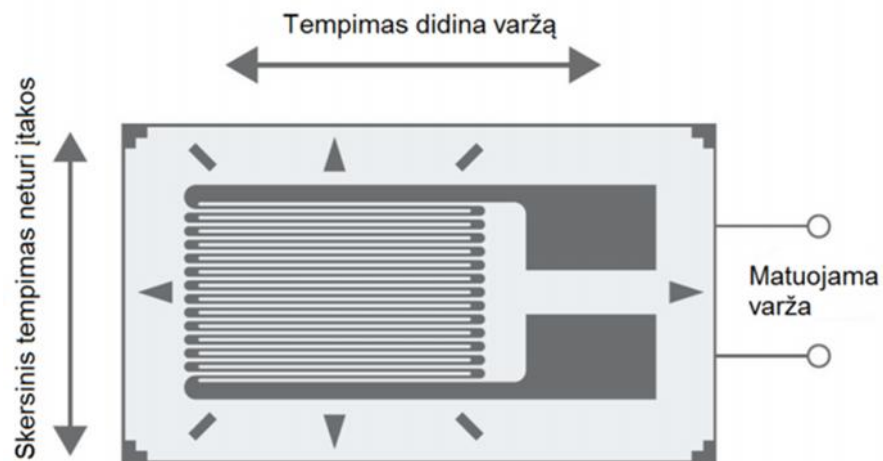
(Vok. **DMS** – Dehnungs Messstreifen, Ang. **Strain Gauge**)

Tenzorezistoriai tai sensoriai skirti išmatuoti atsirandančius deformacijas tiriamuosiuose metalo paviršiuose. Ši matavimo keitiklio veikimo principas pagrįstas tenzoefekto reiškiniu. Tai laidininko aktyvios varžos kitimas, jį deformuojant.

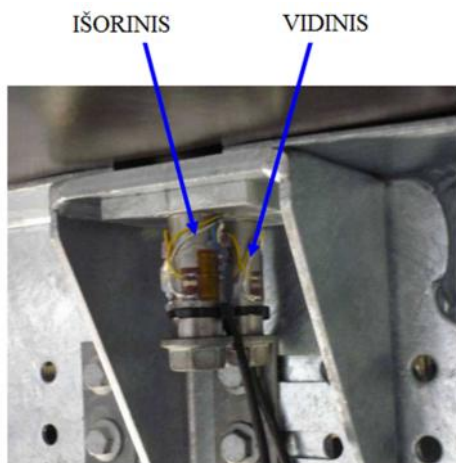
Tenzorezistoriai paprastai yra tvirtai priklijuojami prie stangraus elemento, kuris ir perduoda jiems deformaciją. Deformuojantis tenzorezistoriui (tempiant ar gniuždant išilgai bazis) keičiasi jo ilgis, skersmuo ir varža:

$$R = \frac{\rho l}{S}; \quad (1)$$

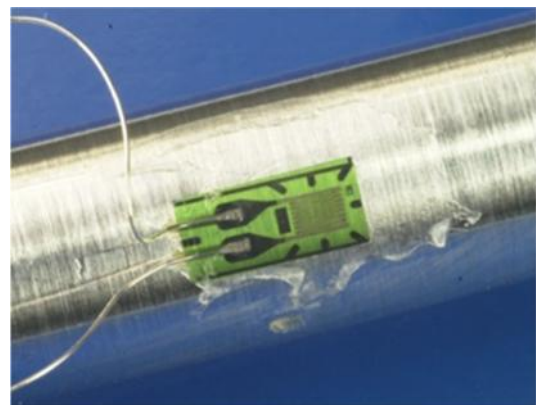
čia: l - visas ilgis; ρ - specifinė varža; S - laidininko skerspjūvio plotas.



9 pav. Tenzorezistoriaus veikimo principo schema



10 pav. Tenzorezistoriaus tvirtinimas bandymo metu



11 pav. Tenzorezistoriaus tvirtinimas

1.7.3 MKO FP45 COOL k bulo tvirtinimo bandymas

Bendri TP duomenys [7]:

Sunkvežimis: IVECO ML120E25

K bulo tipas: MKO – FP45 COOL



12 pav. MKO FP45 COOL tipo sunkvežimis [7]

Svoriai:

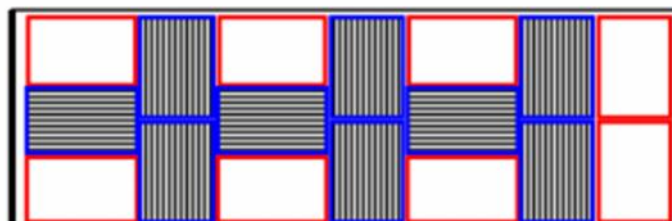
3 lentel . Bandymui naudoto sunkvežimio svorio parametrai [7]

	Tušias	Pakrautas
Priekinis ašis MKO	3820 Kg	4300 Kg
Galinis ašis	4720 Kg	7840 Kg
Viso:	8540 Kg	12140 Kg

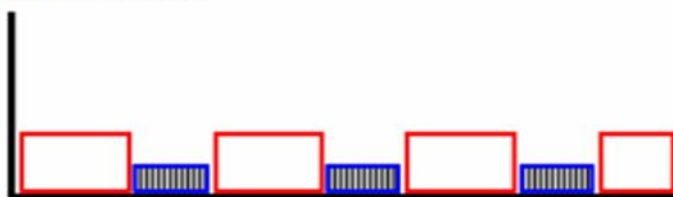
Pakrovimo schema:



Vaizdas iš viršaus:



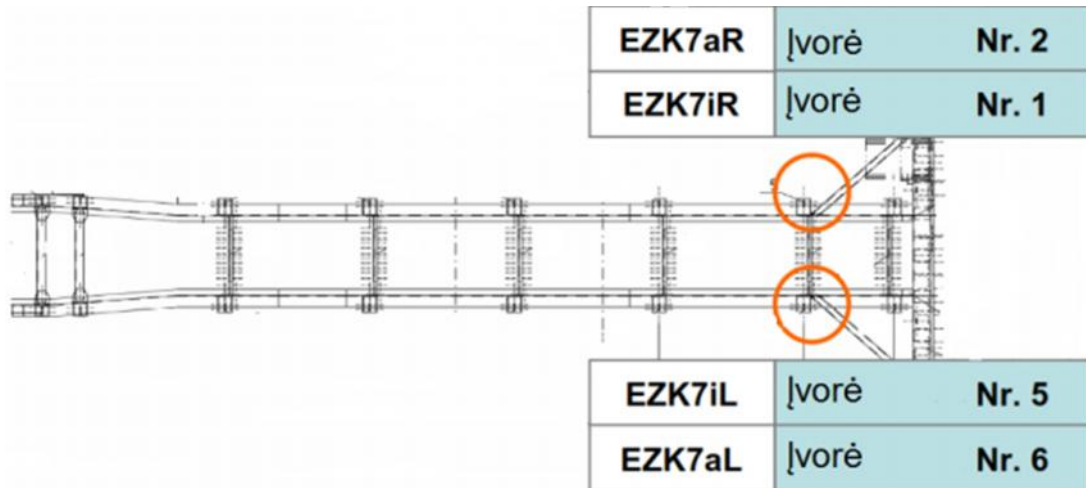
Šoninis vaizdas:



13 pav. [7] Pakrovimo schema

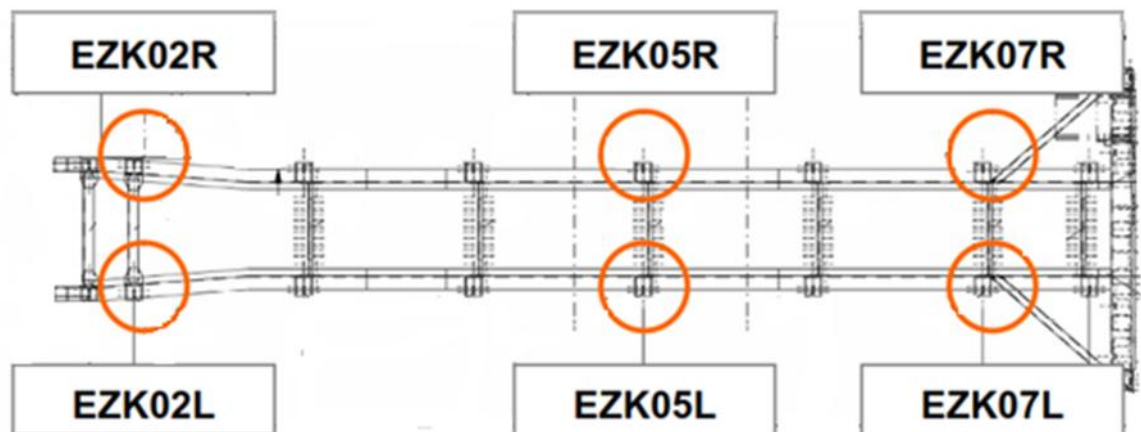
1.7.4. Bandyto eiga

- 1) Tezorezistori ant vori ir persisukimo stryp sukilibravimas.
- 2) Sumontuojamos keturios vor s (7, 10 pav.) su tenzorezistoriais ant grind skersinio ties galinio r mo atotampomis. Matavimai atliekami sunkvežimiui galine ašimi vienu ratu stovint ant 190mm pakyl os. Nustatoma kiek sumaž ja pradin veržimo j ga.



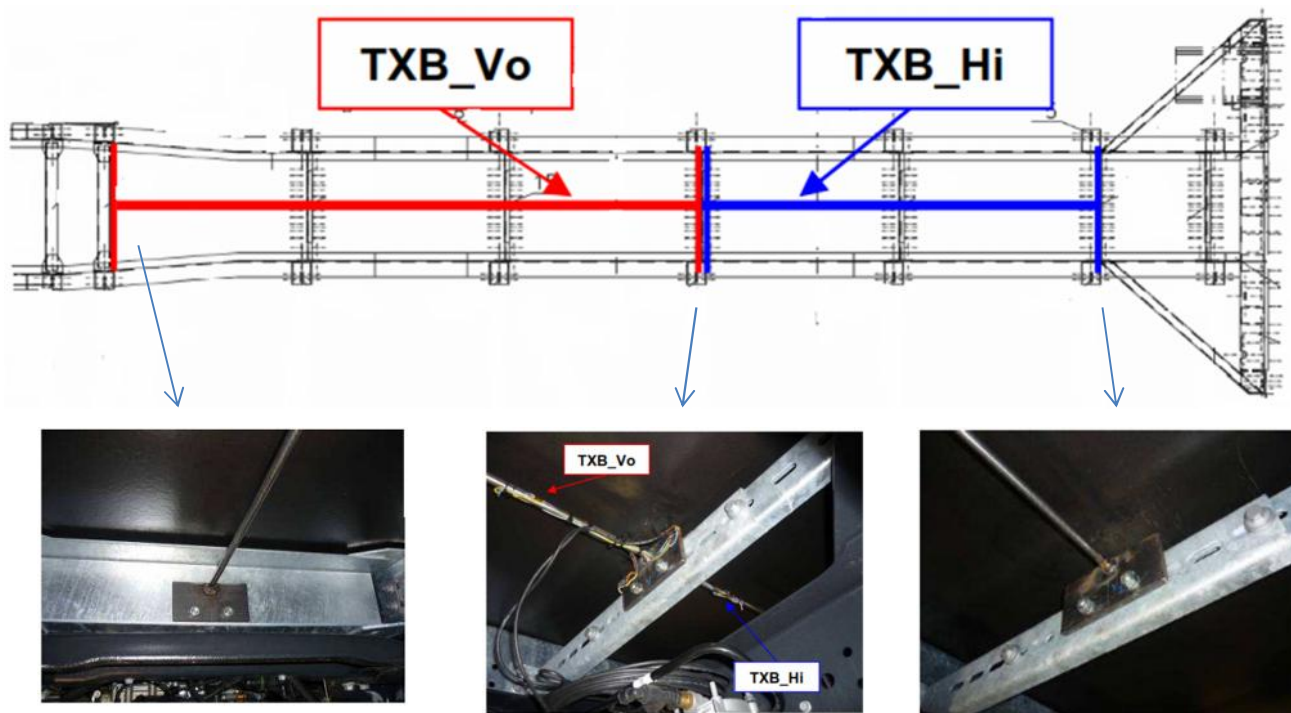
14 pav. Nustatomi M16x1,5 10-9 varžt veržimai užveržiant 230 Nm sukimo momentu ir kiek sumaž ja veržimai po bandym metu sukurt apkrov [7]

- 3) Sumontuojama po vien išorin vor su tenzorezistoriumi iš abiej pusi ant 2-to, 5-to ir 7-to skersinio.



15 pav. Tenzorezistori išd stymas tolimesnei bandym serijai [7]

4) Por mio persisukimui išmatuoti sumontuojamos štangos kaip parodyta:



16 pav. Persisukimo stangu montavimas [7]

5) Taip pat papildomi sumontuojami sensoriai ant k bulo.



17 pav. Papildom judesio jutikli išd stymas [7]

- 6) Sunkvežimis pakraunamas ir atliekama bandym serija (žr. žemiau). Šios bandymo serijos metu k bulas yra pilnai prisuktas prie por mio. (K bulas prisuktas prie 8-ni skersini).
- 7) Išsukami varžtai jungiantys por m ir k bul nuo 3- io k bulo grind skersinio ir v l kartojama bandymu serija. (K bulas prisuktas prie 7-ni skersini).
- 8) Išsukami varžtai jungiantys por m ir k bul nuo 4-to k bulo grind skersinio ir v l kartojama bandymu serija. (K bulas prisuktas prie 6-i skersini).

- 9) Išsukami varžtai jungiantys por m ir k bul nuo 6-to k bulo grind skersinio ir v l kartojiama bandymu serija. (K bulas prisuktas prie 5-i skersini).
- 10) Iškraunamas sunkvežimis ir kartojiama visa bandym serija (4-7 punktai).

1.7.5. Bandymo serijos aprašymas

- 1) Sunkvežimis važiuoja aštuoneto formos trajektorija 5 kartus.
- 2) Sunkvežimis stovi priekiniu kairiu ratu ant 190mm aukš io pakyl os.
- 3) Sunkvežimis pervažiuoja galiniu kairiu ratu per 190mm aukš io pakyl .
(Važiavimas vyksta 20km/h)
- 4) Sunkvežimis stovi priekiniu dešiniu ratu ant 190mm aukš io pakyl os.
- 5) Sunkvežimis pervažiuoja galiniu dešiniu ratu per 190mm aukš io pakyl .
(Važiavimas vyksta 20km/h)
- 6) Sunkvežimis stovi galiniu kairiu ratu ant 280mm aukš io pakyl os.
- 7) Sunkvežimis stovi galiniu dešiniu ratu ant 280mm aukš io pakyl os.
- 8) Gatv s testas. Sunkvežimis važiuoja miestelio ir gamyklos teritorija.



18 pav. Sunkvežimis ant trapecin s 190mm aukš io pakyl os [7]



19 pav. Sunkvežimio galiniai ašiniai ant 280mm pleišto [7]



20 pav. Sunkvežimio važiuojama per 190mm aukšio trapecinio pakylą [7]

1.7.6. Atlikti matavimai bandymo metu

Atliekant bandymą serijai buvo renkami tokie duomenys:

- Tenzorezistorių tampa parodymai ir jų kitimas laiko atžvilgiu.
- Porinio persisukimo parodymai
- Tarpų padidėjimai tose vietose kur buvo išsukti varžtai užvažiuojant ant kliūčių (žr. 21 pav.).



21 pav. Tarpų padidėjimo matavimas

1.7.7. Bandymo autori apibendrinimas:

- 1) Iš bandymo rezultat matyti jog 5-ojo nuo priekio skersinio dešinėje pusėje esančio tvirtinimo varžto tempimo amplitud yra didesnė. Galimos to priežastys:
 - netolygus įgulos pasiskirstymas tarp dviejų varžtų;
 - poromis nėra pilnai ir tolygiai prigludęs prie kbulų grindys.
- 2) Bandymo metu varžtų užveržimo momentai sumažėjo iki 16%.
- 3) Pastebima, jog dinaminis apkrovos nedaug skiriasi nuo statinio. Taip pat nematyti didelio skirtumo kaulų prisuktas prieš 8-ą ir 5-ą grindys skersini.
- 4) Pastebimas lyginai minimalus 0,2 laipsnio rimo persisukimas, kas yra palyginus mažai. Taip pat nematyti skirtumo sumažinus skersinio skaičių.

1.7.8. Tyrimo autoriai padarė tokias išvadas:

Matavimai parodė, jog pašalinus 3 skersinius (3-cia, 4-ta ir 6-ta) praktiškai jokios tokos nepastebima. Jeigu būtų sugalvota perkonstruoti poromis svorio sumažinimui ar panašiai, rekomenduojama pakartoti šį testą.

1.7.9. Tyrimo rezultatų apžvalga ir vertinimas

Bandymo rezultatai, pateikti [7] darbe, parodė, jog galima mažinti kbulų tvirtinimo elementus skaičių, nes tiek dinaminiai ir statiniai bandymų rezultatuose kritinis apkrovos nepasiekta. Trumpai apžvelgsime gautus rezultatus.

Atliekant testo dalį, kurioje važiuojama aštuoneto formos trajektorija nepakrautu sunkvežimiui didžiausi tempimai nustatyti kbulų tvirtinimo elementuose ties kbulų viduriu. Tempimo apkrova siekė iki 0,9 kN kairėje ir 0,4 kN dešinėje poromis pusėje. Tuo tarpu priekyje ir gale tempimo jėga neviršijo 0,2 kN. Taip pat išpagreitio sensori ant paties kbulų (žr. 17 pav.) nustatyta, kad po kiekvienu metu kbulų veikia 0,5 g pagreitis kuris atitinka informacijai, pateiktai 3 pav.

Matavimų rezultatai yra praktiškai identiški tiek, kai kbulas buvo pritvirtintas visai tvirtinimo elementais tiek, kai varžtai buvo pašalinti nuo trijų tvirtinimo skersinių.

Pakartojus bandymą pakrautam sunkvežimiui vidurini tvirtinimo varžtų apkrova padidėjo iki 2 kN. Kitą tvirtinimo varžtų tempimai liko praktiškai nepakitę, t.y. apkrovos svyravo apie 0,1 kN.

Didesnis tvirtinimo elementų tempimas ties kbulų viduriu galbūt būtų takotas dviejų veiksmų. Visu pirma simetrinė konstrukcijoje kairės ir dešinės pusės apkrovos skyrėsi vos ne dvigubai, todėl galime manyti, jog, tai galbūt takoti poromis ir kbulų grindys paviršiaus nelygumas.

Kaip žinome k bulas tvirtinamas dviem varžtais praktiškai toje paioje vietoje 7 pav., tod l d l pavirši nelygum ar paties varžto veržimo apkrov dydis gali skirtis.

Sekan iu bandymo etapu sunkvežimiui kiekvienu ratu atskirai užvažiuavus ant pakylos tiek su tuš iu, tiek su pakrautu k bulu tempimai tvirtinimo varžtuose neviršijo 0,2 kN. Didžiausios tempim vert s pasteb tos ties k bulo viduriu, kaip manoma d l t pa i priežas i .

Sunkvežimiui pervažiuojant per 190 mm aukš io kli t taipogi didžiausi tempimai pasteb ti tuose pa iuose tvirtinimo elementuose. Didžiausi tempimai neviršijo 2 kN. Nustatyta, kad vertikalus pagreitis siekia 1,0 g, kas neprieštaruja informacijai pateiktai 3pav.

Taip pat nustatyta, kad sunkvežimiui kiekvienu ratu užvažiuojant ant pakylos, atstumo pokytis tarp por mio ir k bulo ties tomis vietomis, kur pašalinami tvirtinimo varžtai pakinta ± 1 mm (žr. 4 lent.). Testuojant didžiausi atstumai tarp k bulo tvirtinimo skersini buvo 2,5 ir 3,0 m. Kadangi didesn negu ± 1 mm eiga gali nebeužtikrinti tolygaus trinties j gos pasiskirstymo, galime teigti, jog b tina išlaikyti atstum tarp k bulo tvirtinimo skersini nedidesn kaip 2,0 m tolygiai paskirstant skersini pozicijas išilgai k bulo.

4 lentel . Atstumo poky iai tarp por mio ir k bulo [7]

	Pradinis matmuo, mm	Kli tis po priekiniu ratu kair je	Kli tis po priekiniu ratu dešin je	Kli tis po galiniu ratu kair je	Kli tis po galiniu ratu dešin je
		, mm	, mm	, mm	, mm
Sunkvežimis pakrautas. Atpalaiduotas 3- ias skersinis					
3- ias skersinis kair j	15,7	0,2	0	0,6	0
3- ias skersinis dešin j	16,5	-0,3	0	-0,3	0,3
Sunkvežimis pakrautas. Atpalaiduoti 3- ias ir 4-tas skersiniai					
3- ias skersinis kair j	15,7	0,4	0,4	0,6	0,4
3- ias skersinis dešin j	16,5	0	0,1	0,4	0,2
4-tas skersinis kair j	15,4	0,3	0,3	0,7	0,6
4-tas skersinis dešin j	15,5	0,3	0,6	0,9	-0,2
Sunkvežimis pakrautas. Atpalaiduoti 3- ias, 4-tas ir 6-tas skersiniai					
3- ias skersinis kair j	16	0,4	-0,1	0,2	0,1
3- ias skersinis dešin j	16,3	0,2	0,7	0,8	0,7
4-tas skersinis kair j	16,4	-0,4	-1,1	-0,5	-0,6
4-tas skersinis dešin j	15,5	1,3	0,7	0,8	-0,2

6-tas skersinis kair j	15,8	0,3	0,5	0,3	0,4
6-tas skersinis dešin j	16,9	-0,2	0,3	0,4	0,5
Sunkvežimis nepakrautas. Atpalaiduoti 3-ias, 4-tas ir 6-tas skersiniai					
3-ias skersinis kair j	16,2	0,1	0	0,4	0,9
3-ias skersinis dešin j	16,7	0,2	0,2	0,6	0,1
4-tas skersinis kair j	15,8	0	-0,4	-0,6	0,7
4-tas skersinis dešin j	15,9	0	0,3	0,9	-0,6
6-tas skersinis kair j	16	0,6	0,1	0	0,8
6-tas skersinis dešin j	17,2	-0,2	0,3	0,1	0

ia išskirti *neigiami* ir **didžiausi teigiami poslinkiai**. Pradiniai matmenys gauti išmatuojant atstum tarp k bulo ir por mio tose vietose kuriose buvo išsukami k bulo tvirtinimo varžtai (žr. 24 pav.). Neigiamas poslinkis reiškia tarpelio sumažėjimą tarp k bulo ir por mio. Iš to galime spręsti, jog išsukus tvirtinimo varžtus, k bului stovint tiesiai, iš karto atsirado tarpelis, dėl k bulo ir por mio paviršių nelygumo, kuris bandymo mažėjo dėl veikiančių apkrovų.

2. Sunkvežimio kbul ir jo tvirtinimo elementus veikiančių tyrimas

Sunkvežimių vairuotojų yra labai didelis kelis priežastis. Visų pirma yra nemažai skirtingų gamintojų ir kiekvienas iš jų turi skirtingus sunkvežimių modelius ir atitinkamas jų konfigūracijas skirtas vairuotojų kliento poreikiams. Skiriasi sunkvežimių ašies skaičius, ratų bazės, rėmo ilgiai ir kiti parametrai.

Šio darbo tikslas ištirti ne vien konkretų atvejį, bet vertinti kokios apkrovos turi didžiausi takai ir nustatyti koks mažiausias tvirtinimo elementų kiekis užtikrina tvirtinimo elementų darbą.

Taigi, atliksime skaičiavimus naudodami supaprastintus skaičiavimo modelius ir gautus rezultatus sulysinsime su aprašyto bandymo duomenimis. Sunkiojo transporto projektavimas taikant supaprastintus modelius yra plačiai naudojamas ir praktikoje.

2.1. Pagrindiniai sunkvežimio dinamiką takojantys veiksniai

Nordami atlikti kbul tvirtinimo stiprumo skaičiavimus pradžia turime nustatyti kokio dydžio yra didžiausios apkrovos, veikiančios sunkvežimio antstatą. Šiame tyrime vertinsime šias galimas apkrovas:

- inercijos jėga staigaus stabdymo metu;
- inercijos jėga staigaus posūkio metu;
- kinematinis žadinimas atsirandantis dėl kelio nelygumų;
- krovinio masė.

2.2. Ribinis varžtas apkrovos

Prieš atlikdami stiprumo skaičiavimus turime nustatyti, kokią maksimalią tempimo F_t ir kirpimo F_k jėgą gali atlaikyti naudojami varžtai M16 x 1,5 – 10.9 (galimi alternatyvus tvirtinimo varžtai). Lentelėje 5 pateiktos M16 varžtų leistinos statinės apkrovos [8]. Be tempimo ir kirpimo tempimui varžte atsiranda glemžimo tempimai. Kadangi šiuo atveju glemžiamas paviršiaus plotas yra panašus kerpaui paviršiaus plotas ($A_{glemz} = 150 \text{ mm}^2$, o $A_{kirpimo} = 167 \text{ mm}^2$), o glemžimo lestinieji tempimai paprastai 2 ir daugiau kartų [9] yra didesni už kirpimo lestinuosius tempimus todėl šiame darbe tvirtinimo elementų stiprumo glemžimui nevertinsime.

5 lentel . M16 varžt stiprumo parametrai tempimui [8]

Varžt Klas	Varžto sriegio tipas	Varžto skerspj vio plotas	Leistina apkrova tempimui	Tamprumo riba	Ribin apkrova
		(mm ²)	(kN)	(kN)	(kN)
8.8	M16×1,5	167	100,3	110,7	138,4
10.9			138,4	156,8	174,1
12.9			162,6	184,5	204,1

Remdamiesi literat ros šaltiniu [10] nustatome, kad leistina varžto apkrova kirpimui sudaro 60% leistinos apkrovos tempimui (žr. 6 lent.). Apskai iuoti duomenys vertinant leistinos apkrovos sumaž jim kirpimui pateikiam 6 lentel je.

6 lentel . M16 varžt stiprumo parametrai kirpimui

Varžt Klas	Varžto sriegio tipas	Varžto skerspj vio plotas	Leistina apkrova kirpimui
		(mm ²)	(kN)
8.8	M16×1,5	167	55,2
10.9			83,0
12.9			97,6

2.3. Saugos koeficientas dinamin ms apkrovoms.

Lentel se 5 ir 6 pateiktos leistinos apkrovos neatsižvelgiant atsargos koeficientus. Nor dami nustatyti atsargos koeficientus tempimui ir kirpimui naudojant M16×1,5–10.9 varžtus, juos išsireiškiame ir randame iš 2 ir 3 formuli :

$$s_{t adm} = \frac{A \uparrow_{yt}}{F_t}; \quad (2)$$

$$s_{k adm} = \frac{A \uparrow_{yt}}{F_k}; \quad (3)$$

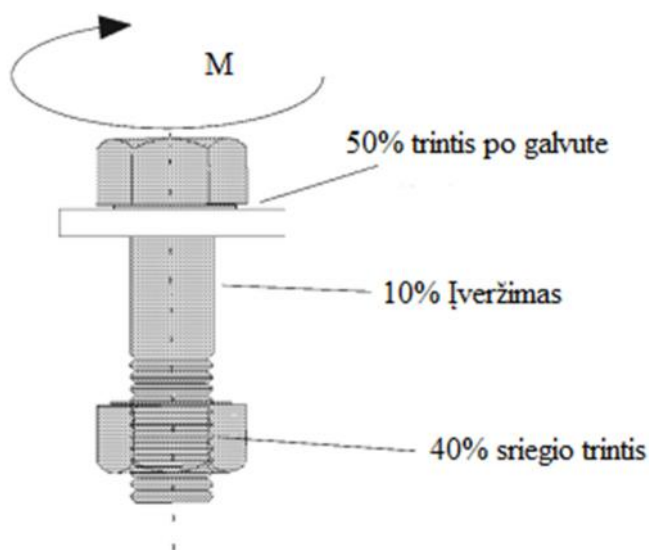
ia: A – varžto skaičiuojamasis skerspjūvio plotas ($M16 \times 1,5$ varžtam $A = 167 \text{ mm}^2$) [8]; σ_{yt} – takumo riba (10.9 stiprumo klasės varžto takumo riba yra ne mažesnė už 900 MPa [11]); $s_{t adm}$ – atsargos koeficientas tempimui; $s_{k adm}$ – atsargos koeficientas kirpimui, $F_t = 138 \text{ kN}$ – naudojama veržimo jėga, $F_k = 0,6 F_t = 83 \text{ kN}$ – naudojama kirpimo jėga (priklausomybė $F_k = 0,6 F_t$ paimta iš [10]).

Apskaičiuavus randame, jog $s_{t adm} = 2,0$ ir $s_{k adm} = 3,3$. Šios vertės atitinka atsargos koeficientus rekomenduojamus [12] literaturoje.

2.4. Tvirtinimo varžtų veržimas

Tvirtinimo varžtų veržimo jėga nėra taip jau tiksliai numatoma ir nustatoma dydis kaip gali pasirodyti iš pirmo žvilgsnio. Remiantis literatūra [13] žinome, jog tempimo jėgos vertė turi $\pm 25\%$ paklaidą užveržiant varžtus dinamometrinio raktu. Yra kitas tikslesnis metodas, bet jie reikalauja daugiau laiko ir yra brangesni, todėl šiame darbe nebus juos atsižvelgta.

Iš bandymo duomenų, pateiktų [7] bandymo protokole ir lentelėje 8 matome, kad priveržiant $M16 \times 1,5$ –10.9 varžtus 230 Nm užveržimo momentu, gautos veržimo jėgos nuo 62 kN iki 111 kN. Taigi, naudojant tą patį užveržimo momentą gaunamos pakankamai skirtingos varžtų veržimo jėgos. Tai labiausiai takuoja trintis po varžto galvute ir paties sriegio trinties koeficientas [14].



22 pav. Užveržimo momento darbo pasiskirstymas veržimui ir trinties jėgoms kompensuoti [14]

Kitas svarbus reiškinys kur matome iš 8 lentelės duomenų, tai kad po bandymų veržimo jėgos sumažėjo vidutiniškai apie 12%. Tai yra pakankamai būtinas reiškinys pasireiškiantis dėl apkrovų, vibracijų, temperatūros pokyčių ir kitų priežasčių.

Tolimesniuose skaičiavimuose darysime prielaidą, kad 230 Nm užveržimo momentas sukuria vidutinai naudingą veržimo jėgą lygią 75 kN.

8 lentel . veržimo j gos ir likutin s j vert s užveržiant 230 Nm sukimo momentu

Tvirtinimo varžimo j ga (kN)	Likutin veržimo j ga (kN)	Likutin veržimo j ga (%)
103	85	83
111	93	84
70	64	91
74	65	88
62	55	89
90	87	97
Vidutin s reikšm s		
85	75	88

2.5. Trinties j gos dydis vaidmuo j g analiz je

Bet koks poslinkis tarp k bulo ir por mio n ra pageidaujamas. Statin s trinties j ga tarp k bulo ir por mio sumažina ar iš viso panaikina tvirtinimo varžtus veikian i šlities j g , atsirandan i d l skersin s inercin s j gos stabdant ar darant pos k .

Trinties j g F_{tr} (žr. 9 lent.) galime rasti pagal formul :

$$F_{tr} = k_{tr} F_R ; \quad (4)$$

ia: k_{tr} – trinties koeficientas, F_R – bendra reakcijos j ga.

Bendra reakcijos j ga F_R tarp por mio ir k bulo susideda iš k bulo svorio ir varžt veržimo j g :

$$F_R = F_m + F_{užv} ; \quad (5)$$

ia: F_m – k bulo svoris; $F_{užv}$ – varžt veržimo j ga.

Remiantis k bulo tvirtinimo stiprumo bandymo duomenimis [4], žinome jog M16×1,5–10.9 varžtai, užveržti 230 Nm sukimo momentu vidutiniškai veržiami 75 kN j ga. Kadangi vien grind plokšt s skersin sukasi keturi M16 varžtai, bendra varžt veržimo reakcija vienam grind skersiniui bus 300 kN.

Reakcijos j gos dedamoji F_m , atsirandanti d l savojo k bulo svorio, yra:

$$F_m = m g; \quad (6)$$

ia: g – laisvasis kritimo pagreitis.

Trinties koeficient k_{tr} tarp poro ir k bulo galime prilyginti trinties koeficientui tarp plieno ir PVC plastiko, t. y. $k_{tr} = 0,5$ [15].

Trinties j g tarp k bulo ir poro reikšmės, rastos pagal (4) formulę, pateiktos 9 lentelėje.

9 lentelė. Trinties j g (* - iš skliausteliuose tvirtinimo varžtų skaičius)

Tvirtinimo skersinių kiekis	F_{tr} , kN (nekrautas – brutto 3 t)	F_{tr} , kN (pakrautas – brutto 12 t)
2 (8)*	315	359
3 (12)*	465	509
4 (16)*	615	659
5 (20)*	765	809

2.6. Inercijos j g dydis staigiai stabdant

Scania sunkvežimių stabdymo testo duomenimis, stabdant nuo 80 km/h iki pilno sustojimo, intensyviausias stabdymas vyksta 64 ... 8 km/h greičio ribose ir stabdymo pagreitis siekia iki 6 m/s² [15]. Remiantis pagrindiniais puspriekabių projektavimo techniniais užduoties reikalavimais [17] stabdymo metu veikianti j g gali siekti 0,8 g kas būtų 7,9 m/s². Pastarąją reikšmę ir naudosime šiame darbe.

Stabdymo inercijos j g F_{st} , veikianti sunkvežimio antstatą, gaunama iš antrojo Niutono dėsnio:

$$F_{st} = ma; \quad (7)$$

ia: m – k bulo masė; a – stabdymo pagreitis.

K bulo svoris be krovinio paprastai siekia iki 3 t, o su kroviniumi iki 12 t. Taigi, inercijos j g stabdant F_{st} , veikianti nepakrautą k bulą bus apie 23,7 kN ir atitinkamai 94,8 kN, kai k bulas pilnai pakrautas (žr. 10 lentelę).

10 lentelė. K bulą veikianti inercijos j g stabdant

	K bulo masė - m , kg	Inercijos j g stabdant – F_{st} , kN
Nepakrautas k bulas	3000	23,7
Pilnai pakrautas k bulas	12000	94,8

2.7. Inercijos jėgos dydis atliekant staigų posūkį

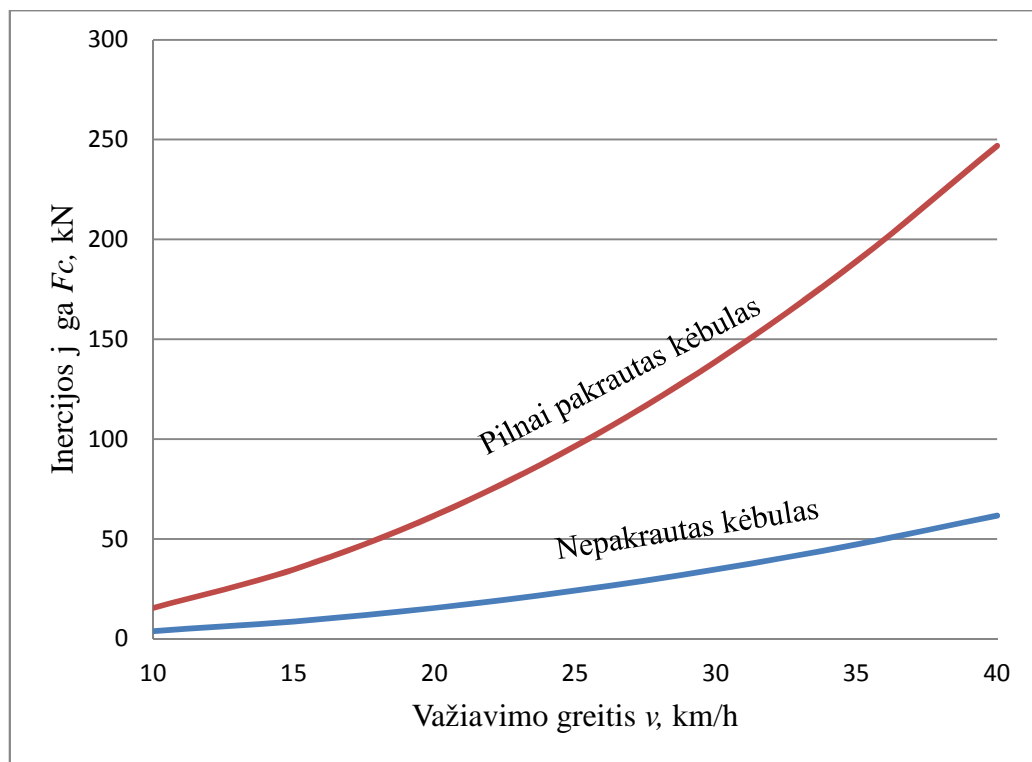
Išcentrinę jėgą F_C , veikianti antstato posūkyje:

$$F_C = \frac{mv^2}{R}; \quad (8)$$

čia: v – judėjimo greitis, R – masės centro judėjimo trajektorijos spindulys.

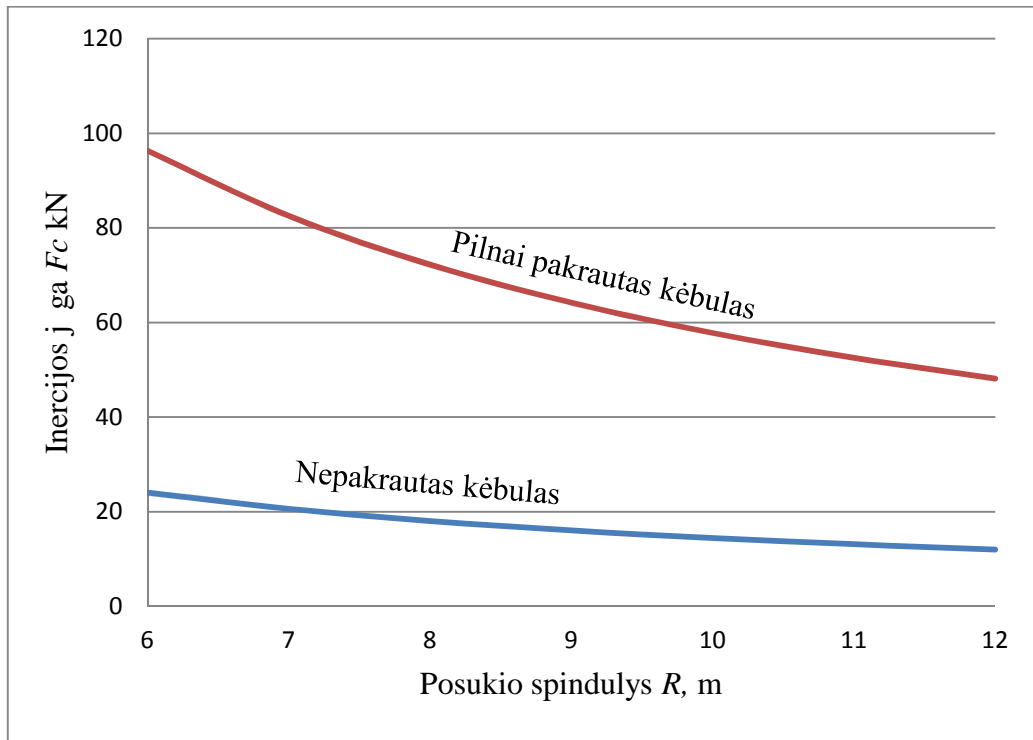
Remdamiesi skaičiavimams pasirinkto sunkvežimio techniniais duomenimis [18], galime teigti, kad antstato masės centras posūkyje paprastai juda ne mažesniu kaip 6 m spinduliu.

Darydami prielaidą, kad sunkvežimis, veikiamas išcentrinės jėgos, nepradės slysti, braižome išcentrinės jėgos priklausomybės grafikus nuo važiavimo greičio ir krovinio masės (žr. 23 ir 24 pav.).



23 pav. Išcentrinės jėgos priklausomybė nuo sunkvežimio važiavimo greičio ir masės

Tolimesniems skaičiavimams darysime prielaidą, kad maksimalus greitis, kuriuo pilnai pakrautas sunkvežimis gali atlikti posūkį, yra 25 km/h. Tokiu atveju inercijos jėgos bus 75 kN pakrautam sunkvežimui.



24 pav. Išcentrinės jėgos priklausomybė nuo posūkio spindulio ir kėbulos masės ($v=25\text{km/h}$).

2.8. Papildoma apkrova posūkyje, sukeliama vertimo momento

Atliekant posūkio manevrą sunkvežimio antstatai veikianti išcentrinė inercijos jėga sukuria ne tik skersinį jėgą, bet ir sukuria papildomą tvirtinimo elementų tempimą jėgą F_{t2} , kuri atsiranda dėl veikiančio vertimo momento (žr. 26 pav.).

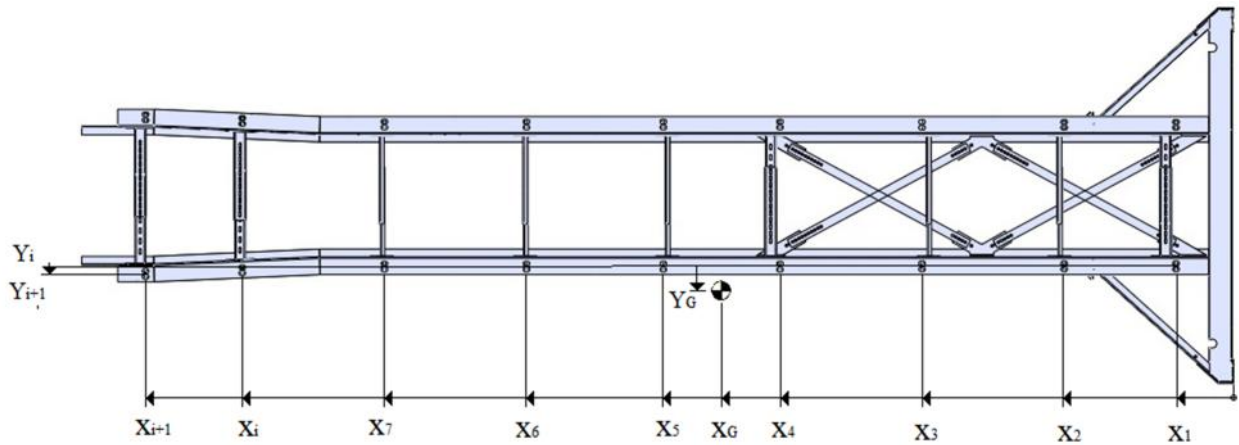
Reakcija F_{t2} randasi tempiam varžtų geometriniam centre. Šio geometrinio centro (X_G, Y_G) galime rasti remdamiesi 9 ir 10 formulėmis pagal 25 pav.:

$$X_G = \frac{\sum F_i X_i}{\sum F_i}; \quad (9)$$

$$Y_G = \frac{\sum F_i Y_i}{\sum F_i}; \quad (10)$$

čia: F_i – ojo varžto veržimo jėga; X_i, Y_i – ojo varžto pasirinktos X, Y, koordinatės.

Nordami supaprastinti skaičiavimus darysime prielaidą, kad $Y_G = 0$, dėl labai mažos reikšmės ir nevertinsim porinio galinio skersinio takos.

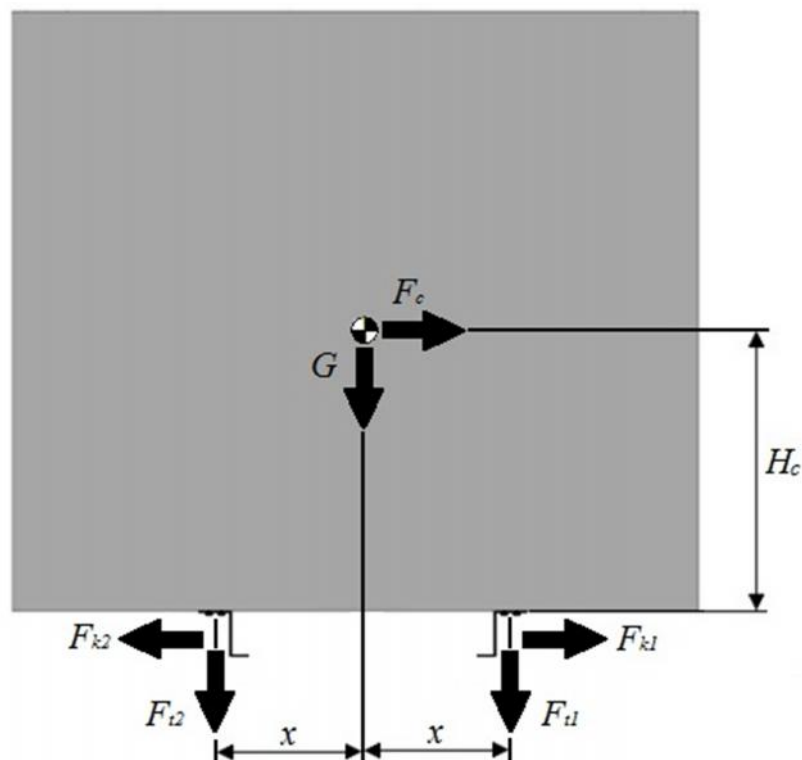


25 pav. K bulo vertimo ašin s linijos

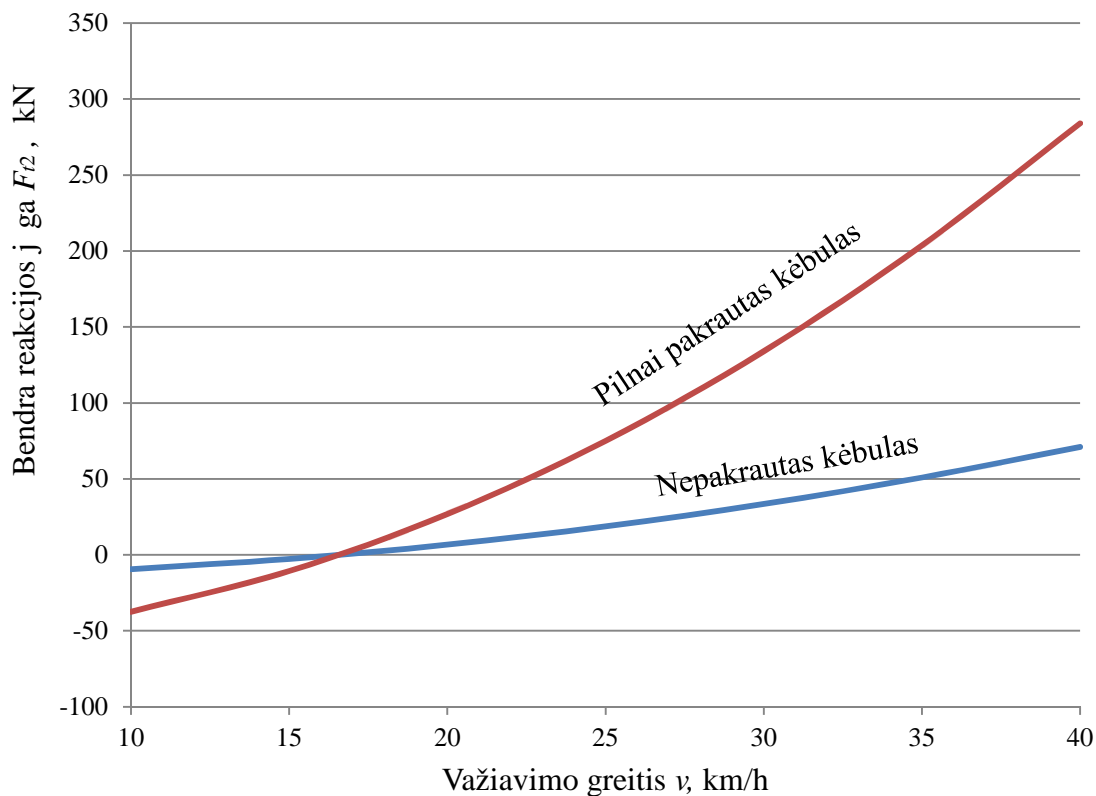
Nor dami rasti tempimo reakcij F_{t2} (26 pav.) sudarome moment pusiausvyros lygt geometrinio vienos por mio sijos tvirtinimo varžt centro atžvilgiu (apie tašk kuriame reakcijos žymimos F_{t1} ir F_{k1}):

$$F_C \times H_C - G \times x - F_{t2} \times 2x = 0; \quad (11)$$

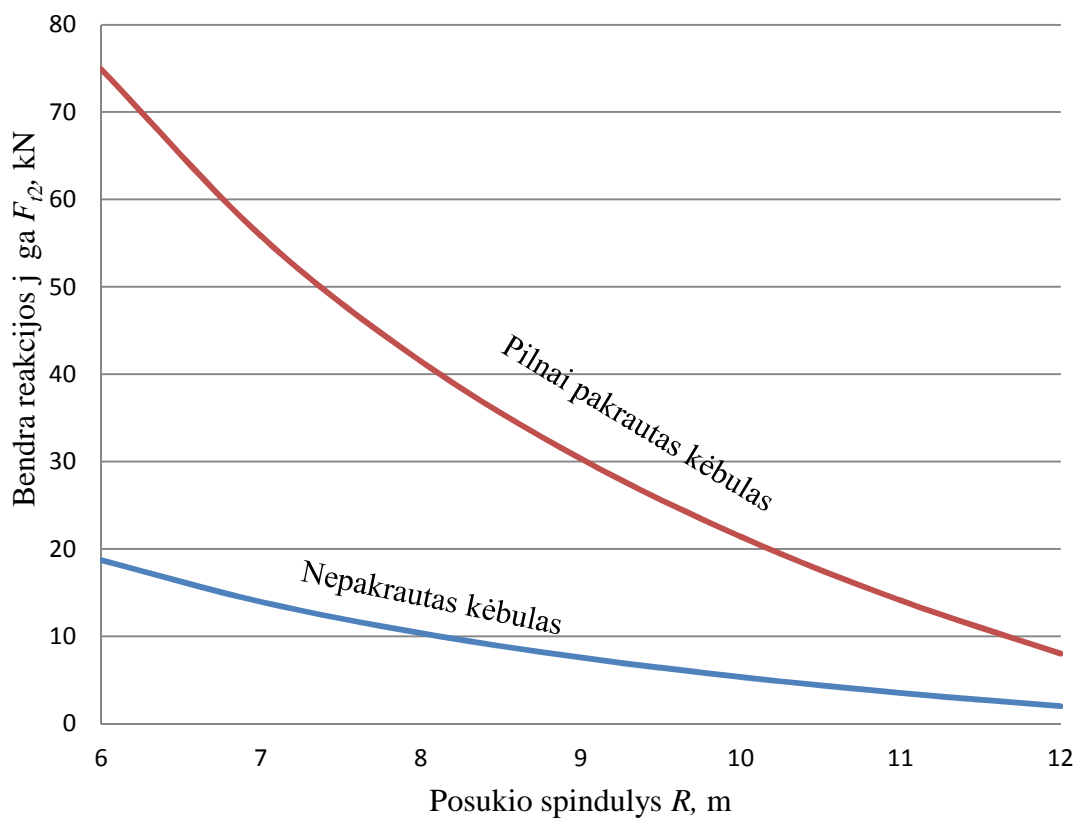
Kaip reakcijs F_{t2} vert priklausio nuo važiavimo grei io v , pos kio spindulio R ir k bulo mas s centro aukš io H_c pateikta 27-29 pav.



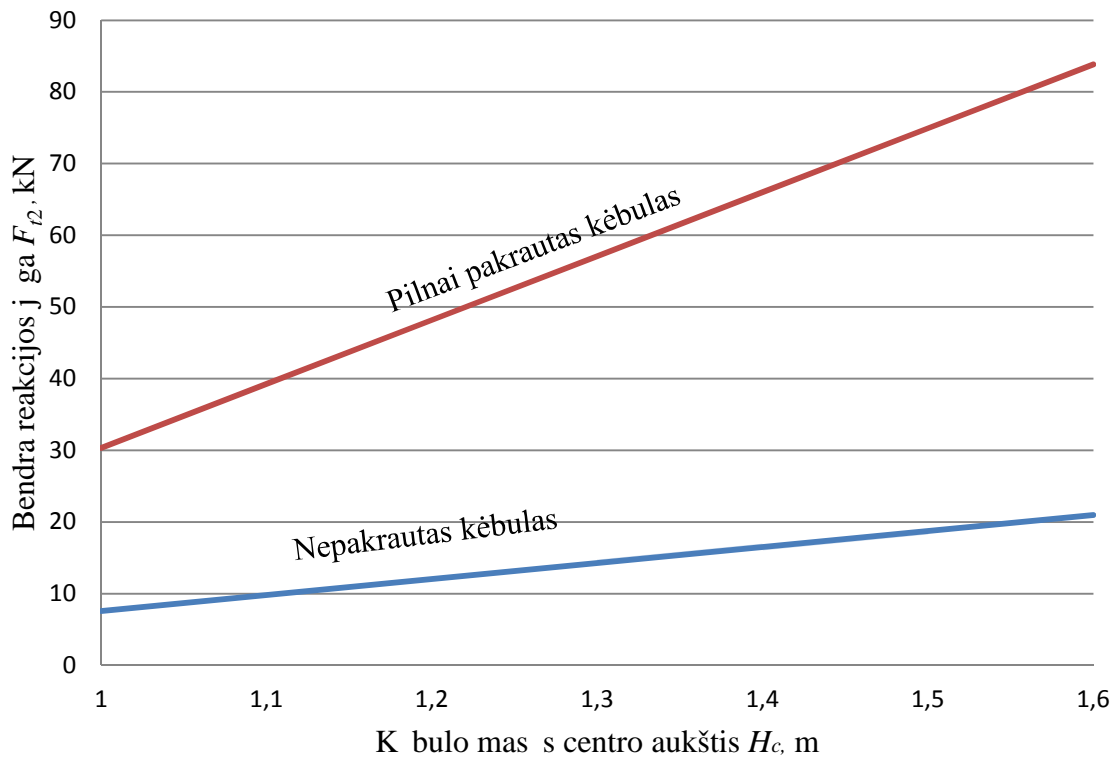
26 pav. Reakcij schema pos kio metu. ia: G – sunkio j ga, H_c – mas s centro pad tis, F_{k1} – Kirpimo j gos reakcija apie kuri vyksta vertimas, F_{k2} – bendra kirpimo reakcijos j ga tenkanti sijai, F_{t1} – sunkio reakcijos j ga, F_{t2} – sunkio reakcijos j ga



27 pav. Tempimo reakcijos F_{r2} priklausomybė nuo važiavimo greičio v



28 pav. Tempimo reakcijos F_{r2} priklausomybė nuo posūkio spindulio R



29 pav. Tempimo reakcijos F_{r2} priklausomybė nuo masės centro aukščio

Visais atvejais pakrautas kėbulas turi didesnę reakcijos jėgos vertę. Iš 27 pav. matome, jog iki 18 km/h greičio reakcijos jėga yra neigiama, kas reiškia, kad kėbului priešpriešiai spausti vis dar užtenka kėbulų sunkio jėgos. Todėl tai, kad sunkio jėga nugalima sukant tuo pačiu greičiu tiek pakrautam tiek ir nepakrautam sunkvežimiui.

Posūkio spinduliui padidėjus dvigubai reakcija F_{r2} pakrautam ir nepakrautam sunkvežimiui sumažėja apie 10 kartų. Taip pat matome, jog reakcijos jėgos skirtumas siekia 55 kN, kas būna apie didelį kėbulų masės taką atsiranda tos F_{r2} reakcijos dydžiui.

Kėbulų masės centro aukštis taip pat turi ženklų taką. Masės centrui padidėjus 0,5 m reakcijos jėga F_{r2} išauga iki 2,5 karto.

2.9. Kombinuota tempimo ir kirpimo apkrova

Kaip matyti iš 26 pav. atliekant poskio manevrą antstatas veikia inercijos jėga, kuri formuoja ir sukimo momentą. Dėl šios priežasties vieni iš porinių sijų veikia kombinuota tempimo ir kirpimo apkrova. Tokio tipo apkrovos stiprumo sąlygos tikrinamos remiantis formulėmis [19]:

$$\left(\frac{F_{k2}}{F_{k.adm}}\right)^2 + \left(\frac{F_{t1}}{F_{t.adm}}\right)^2 \leq 1; \quad (12)$$

čia: $F_{k.adm}$ – maksimali leistina apkrova kirpimui; $F_{t.adm}$ – didžiausia leistina apkrova tempimui.

Visgi, kombinuoto tvirtinimo elementų tempimo ir kirpimo apkrovimo atveju neturime, nes veikiant F_{t2} tempimo jėgai varžtas veržimo ir kbulas masės kuriama trinties jėga turi būti pakankama, kad tarp porinio ir kbulos poslinkis nebūt galimas.

2.10. Kinematinio žadinimo dėl kelio nelygumų vertinimas

Siekiant nustatyti kbulą veikiančią apkrovą dydžius, kai važiuojama vairios kokybės keliais, atlikome stiprumo skaičiavimus veikiant atsitiktiniam žadinimui.

Stiprumo skaičiavimus, veikiant atsitiktiniam žadinimui, atlikome baigtini elementų metodu naudojant „SolidWorks 2012 Simulation“.

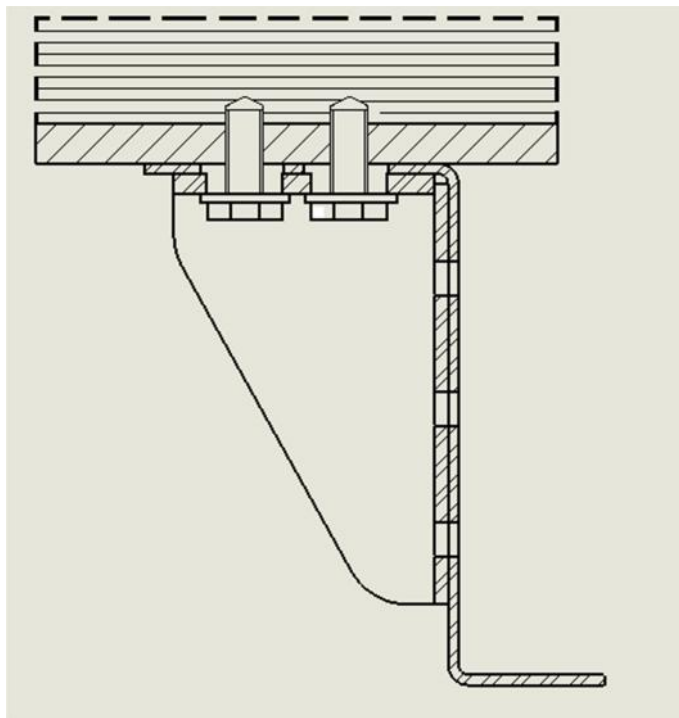
Stiprumo skaičiavimų rezultatai parodė kokius tempimus gauname tvirtinimo elementuose nevertinant varžtų veržimo ir trinties jėgų tarp porinio ir kbulos. Turdami vidutinės varžtų tempimų reikšmes galime apskaičiuoti apkrovas veikiančias kbulas jam važiuojant vairaus nelygumo keliais.

Atliekant atsitiktinį virpesių stiprumo skaičiavimus nurodome sunkvežimio dinaminės sistemos, veikiančios kbulos porinį, slopinimo laipsnį. Jį apskaičiuojame pagal formulę:

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}; \quad (13)$$

čia: c – dinaminės sistemos atstojamasis klampiojo slopinimo koeficientas; k – dinaminės sistemos atstojamasis standumas.

Kbulas prie porinio tvirtinamas M16x1,5–10.9 varžtais. Kbulos grindplokštė esantys faneriniai skersiniai turi plieninius apkaustus su prasriegtoms M16 skylėms. Kiekvienai grindplokštės skersin sukami keturi M16-10.9 varžtai (po 2 iš abiejų pusių) (žr. 29 pav.).



29 pav. K bulo tvirtinimas prie porinio

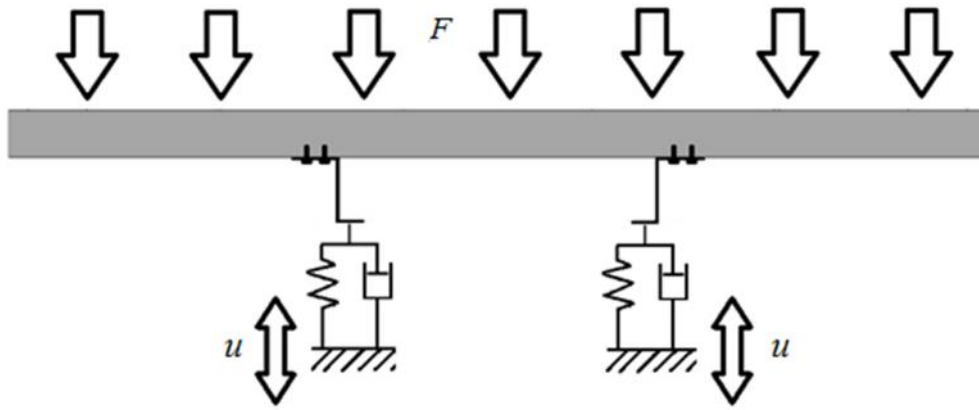
Nor būti supras, kaip atsitiktiniai virpesiai taiko apkrovas atsirandančias tvirtinimo elementuose nustatome tris skirtingas priklausomybes:

1. vertiname kaip keisis tvirtinimo elementų apkrovos kai keičiamas J kiekis.
Pagrindinės prielaidos: K bulas nepakrautas, mažas važiavimo greitis, nevertinama k bulo masės inercija.
2. vertiname kaip keisis tvirtinimo elementų apkrovos kai vertinama k bulo inercija.
Pagrindinės prielaidos: K bulas nepakrautas, skirtingi važiavimo greičiai.
3. vertiname kaip keisis tvirtinimo elementų apkrovos kai vertinamas k bulo masės centro aukštis.
Pagrindinės prielaidos: K bulas pakrautas, vertinami skirtingi važiavimo greičiai.
4. vertiname kaip keisis tvirtinimo elementų apkrovos kai keičiasi k bulo ilgis esant tam pačiam tvirtinimo elementų kiekiui.

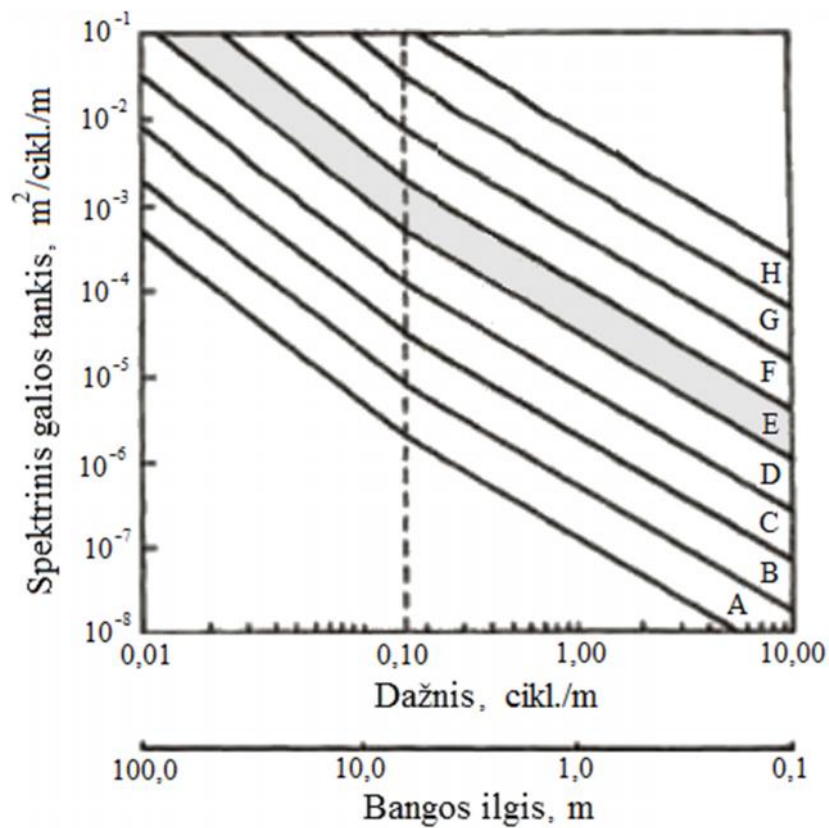
2.10.1 K bulo tvirtinimo taškų skaičiaus taktinio vidutinio tvirtinimo varžtų apkrovoms

Pirmuoju atveju atliekant skaičiavimus buvo nustatyta, kaip keičiasi varžtų kirpimo ir tempimo įgosis, keičiantis grindų skersinio kiekio nuo 2 iki 5 vienetų. Stiprumo skaičiavimai atlikti taikant sekantios prielaidas ir sąlygas:

- kelio nelygumų taktinio vertinimo nurodant atsitiktinį kinematinį žadinimą ;
- supaprastinta skaičiavimo schema, pateikta 30 pav.;
- pasirinkta kelio nelygumo klasė – E (pagal ISO 2631-1) (žr. 31 pav.);



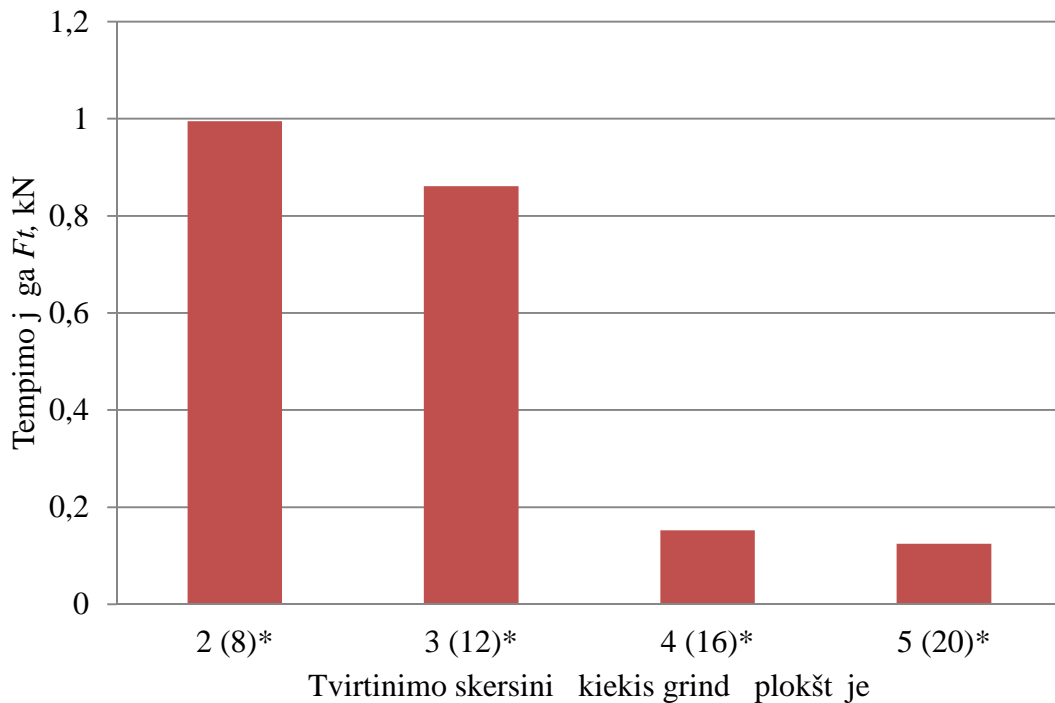
30 pav. Stiprumo skai iavim apkrov schema var.1



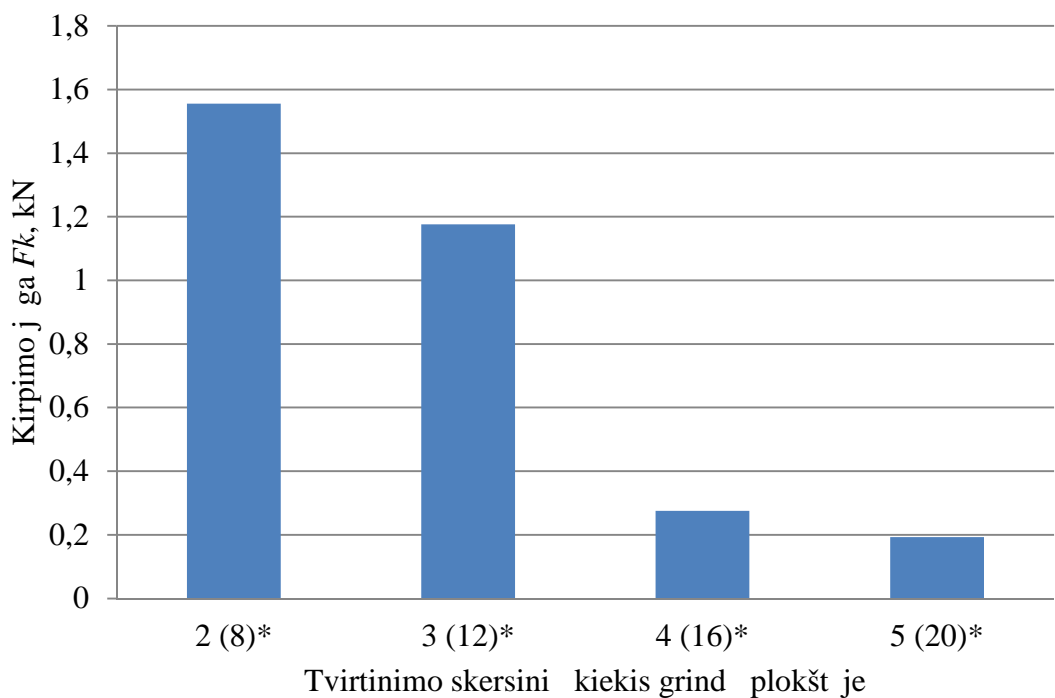
31 pav. Keli klas s pagal ISO 2631 [4]: E – Labai prastos kokyb s kelias

- važiavimo greitis – 34 km/h;
- pastovi tolygiai paskirstyta apkrova $F = 30 \text{ kN}$ (savasis k bulo svoris);
- sistemos slopinimo laipsnis $\zeta = 0,18$ apskai iuotas remiantis (13) formule;
- stiprumo skai iavim skaitini ver i tikyb , naudojant atsitiktines apkrovas, yra 99,7%;
- n ra veržimo tvirtinimo elementuose;
- n ra trinties tarp por mio ir k bulo;
- nevertinamas galinio skersinio tvirtinimas;
- nevertinama k bulo inercija;

Iš rezultatų, pateiktų 32 ir 33 pav., matome, jog tiek tempimo tiek kirpimo apkrovos yra labai mažos. Visgi šie rezultatai ne vertina k bulo masės centro veikiančios inercijos atsirandančios dėl kinematinio žadinimo.



32 pav. Vidutinė tempimo jėga, tenkanti vienam varžtui. \ast - naudojama varžtų kiekis.

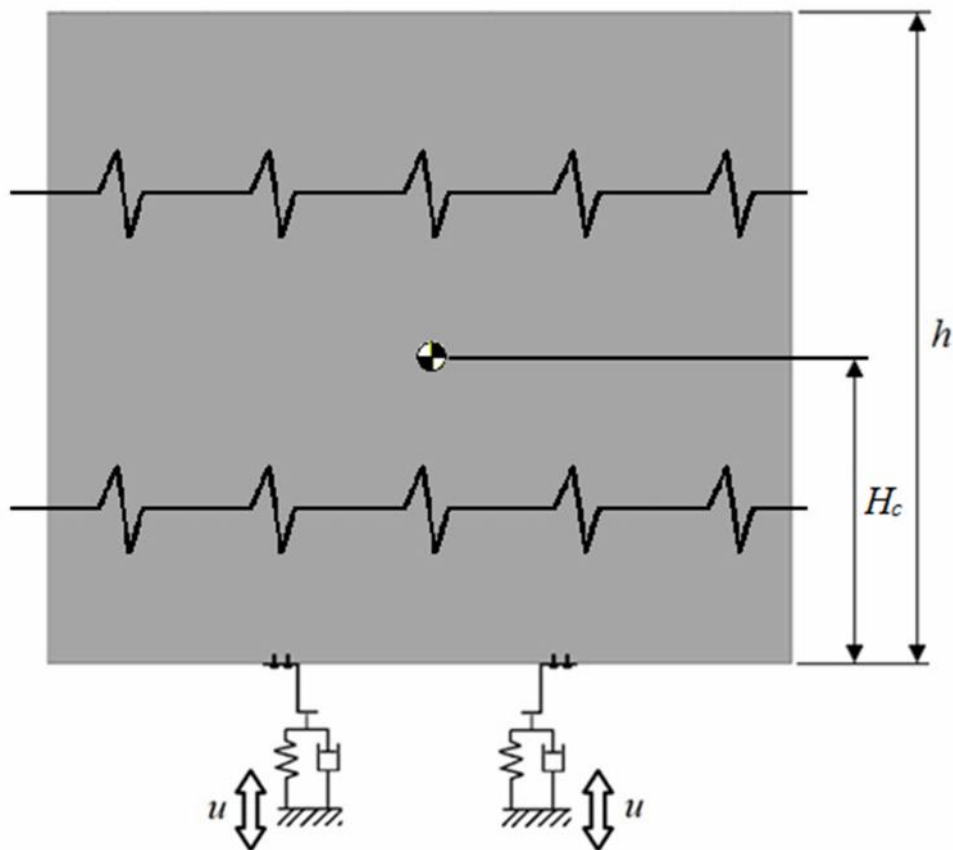


33 pav. Vidutinė kirpimo jėga, tenkanti vienam varžtui. \ast - naudojama varžtų kiekis.

2.10.2. K bulo inercijos taka vidutin ms tvirtinimo varžt apkrovoms

Skai iavim pakartojame vertindami k bulo inercij tik tam atvejui, kai k bulas yra tvirtinamas prie keturi tvirtinimo skersini k bulo grind plokšt je. Šiam perskai iavimui taikytos tokios s lygos:

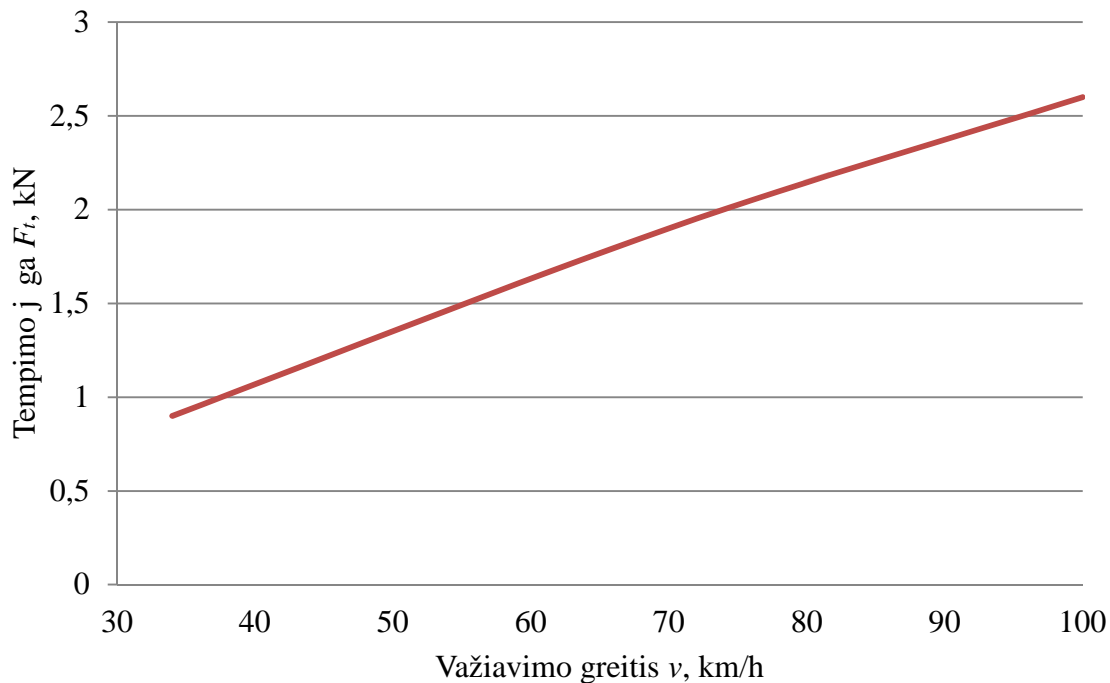
- kelio nelygum taka vertinta nurodant atsitiktin kinematin žadinim ;
- supaprastinta skai iavimo schema, pateikta 34 pav.;



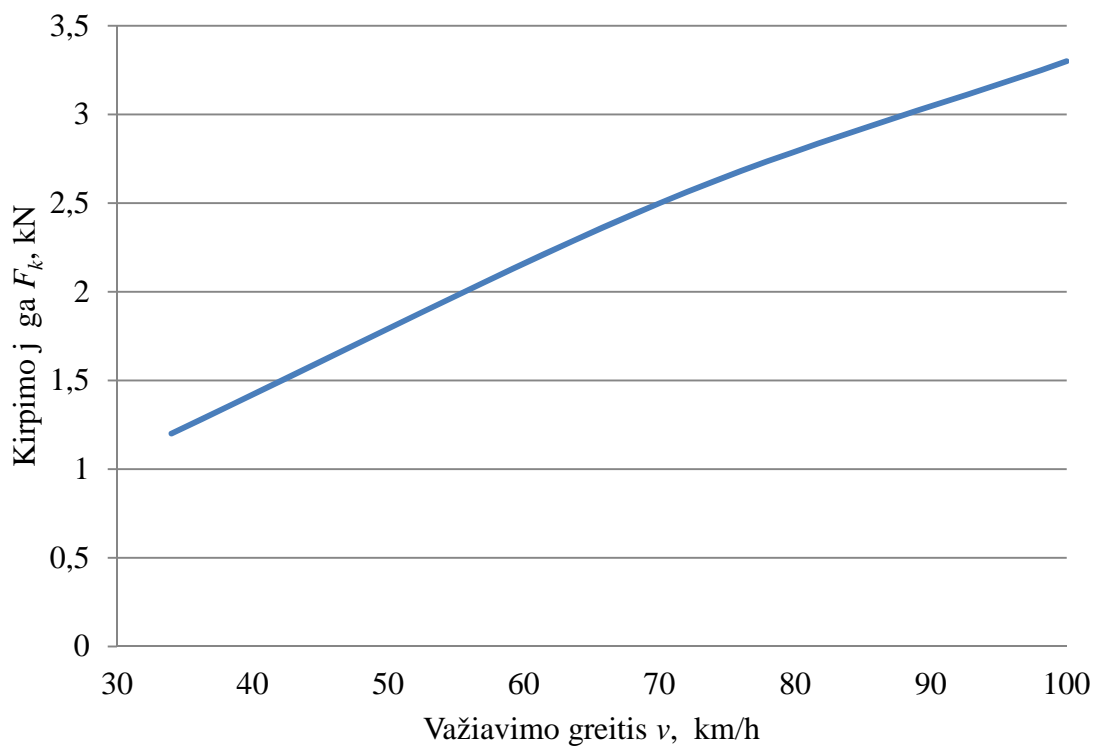
34 pav. Stiprumo skai iavim apkrov schema var.2

- pasirinkta kelio nelygumo klas – E (pagal ISO 2631-1) (žr. 31 pav.);
- važiavimo greiiai – 34, 70 ir 100 km/h;
- k bulo aukštis $h = 3\text{m}$, k bulo masės centro aukštis nuo k bulo apašios $H_c = 1,5\text{m}$;
- k bulas imamas kaip vienalytis k nas kurio bendroji masė $12t$;
- sistemos slopinimo laipsnis $\zeta = 0,09$ apskaičiuotas remiantis (13) formule;
- stiprumo skai iavim skaitiniai veritikyb , naudojant atsitiktines apkrovas, yra 99,7%;
- n ra veržimo tvirtinimo elementuose;
- n ra trinties tarp por mio ir k bulo;
- nevertinimas galinio skersinio tvirtinimas.

Galime sulyginti 32 ir 33 pav. atvejo, kai k bulas buvo tvirtinamas prie keturi skersini su 35 ir 36 pav. gautais rezultatais vertinus k bulo inercij . Matome, jog tempimo j ga išaugo 3 katus, o kirpimo apkrovos padid jo ženkliai padid jo 8 kartus vertinus k bulo inercij , bet vis dar išlieka gana žemos.



35 pav. Tempimo j ga kai sunkvežimis nepakrautas ir jo aukštis 3,0m



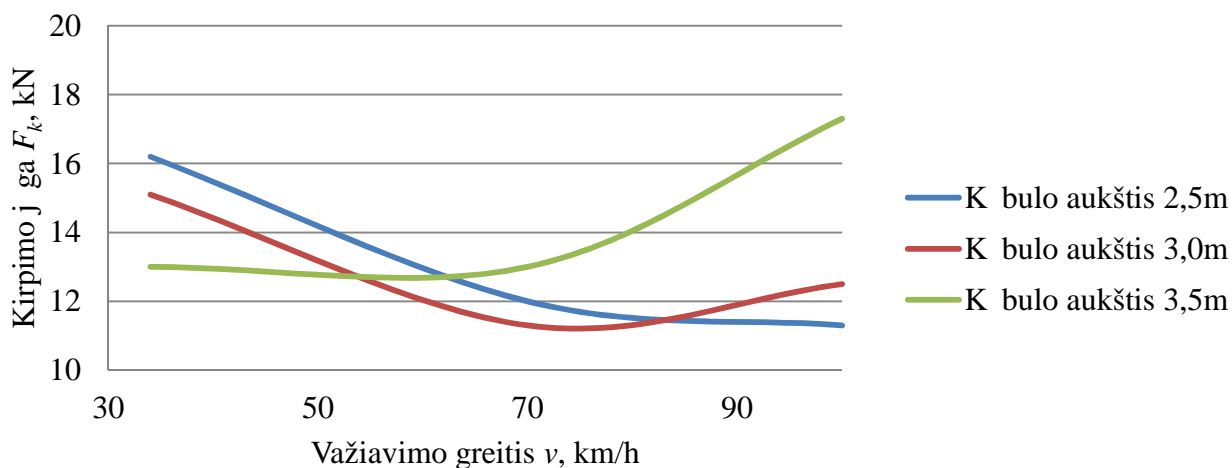
36 pav. Kirpimo j ga kai sunkvežimis pakrautas ir jo aukštis 3,0m

2.10.3. K bulo masės centro taks vidutinės tvirtinimo varžt apkrovoms.

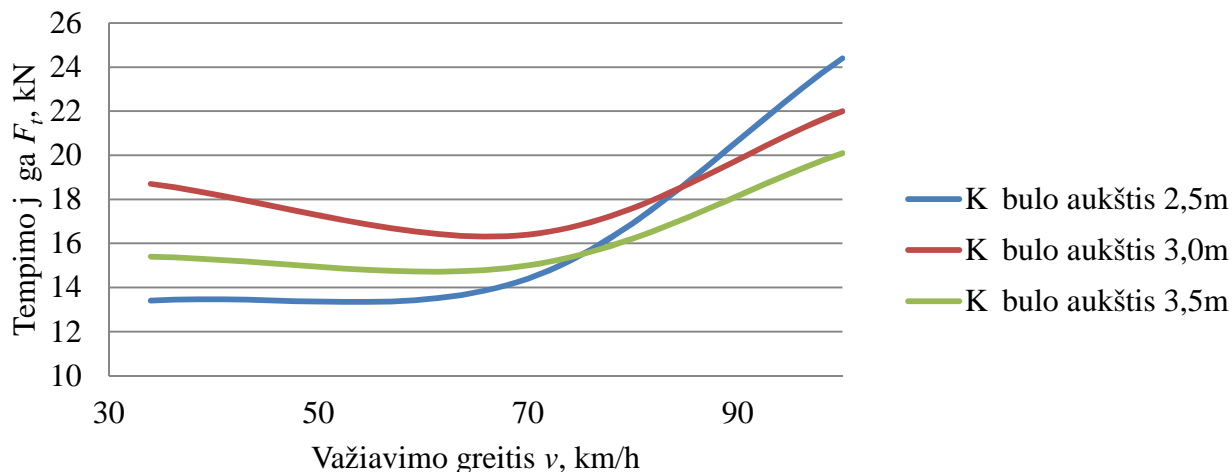
Šis skaičiavimo variantas yra labiausiai atitinkantis realias sąlygas, nes nustatysime kokie bus rezultatai pilnai pakrautam k bului.

Stiprumo skaičiavimų analizėje taikytos prielaidos:

- kelio nelygumų taks vertinta nurodant atsitiktinį kinematinį žadinimą;
- supaprastinta skaičiavimo schema, pateikta 34 pav.;
- pasirinkta kelio nelygumo klasė – E (pagal ISO 2631-1) (žr. 31 pav.);
- važiavimo greičiai – 34, 70 ir 100 km/h;
- k bulas imamas kaip vienalytis kinas kurio bendroji masė 12t;
- sistemos slopinimo laipsnis $\zeta = 0,09$ apskaičiuotas remiantis (13) formule;
- stiprumo skaičiavimų skaitiniai vertinimai, naudojant atsitiktines apkrovas, yra 99,7%;
- nra varžimo tvirtinimo elementuose;
- nra trinties tarp porinio ir k bulo;
- nevertinamas galinio skersinio tvirtinimas.



37 pav. Tempimo jėga kai sunkvežimis pakrautas ir skiriasi k bulo aukščiai



38 pav. Kirpimo jėga kai sunkvežimis pakrautas ir skiriasi k bulo aukščiai

2.10.4 K bulo ilgio taka tvirtinimo varžt apkrovoms

Nor dami nustatyti koki tak turi atstumas tarp k bulo tvirtinimo element pakartojame stiprum skai iavim analiz dviem skirtingo ilgio modeliams. Pirmuoju atveju tarp k bulo tvirtinimo skersini buvo – 1,3 m, antruoju – 2,0 m. Abiem atvejais modelyje buvo po 4 tvirtinimo skersinius.

Stiprum skai iavim analiz je taikytos prielaidos:

- kelio nelygum taka vertinta nurodant atsitiktin kinematin žadinim ;
- supaprastinta skai iavimo schema, pateikta 34 pav.;
- pasirinkta kelio nelygumo klas – E (pagal ISO 2631-1) (žr. 31 pav.);
- $h = 3000\text{mm}$, $H_c = 1500\text{mm}$ (žr. 31 pav.);
- važiavimo greitis –100 km/h;
- k bulas imamas kaip vienalytis k nas kurio bendroji mas 12t.
- sistemos slopinimo laipsnis $\zeta = 0,09$ apskai iuotas remiantis (13) formule;
- stiprum skai iavim skaitini ver i tikyb , naudojant atsitiktines apkrovas, yra 99,7%;
- n ra veržimo tvirtinimo elementuose;
- n ra trinties tarp por mio ir k bulo;
- nevertinamas galinio skersinio tvirtinimas.

Iš rezultat , pateikt 11 lentel je, matome, kad atstumui tarp tvirtinimo element padid jus 0,7 m bendra tempimo j ga padid jo tik 2,2 %, o kirpimo j ga tik 8,2 %. Tai reiškia jog atstumas tarp k bulo tvirtinimo skersini aprovoms didel s takos netur s, bet tur s takos trinties j gos pasiskirstymui. Kuo mažesni atstumai tarp tvirtinimo element tuo tolygiau yra paskirstyta trinties j ga.

11 lentel Atstumo tarp k bulo tvirtinimo element taka

Atstumas tarp segment :	1,3 m	2,0 m	%
Bendra tempimo j ga (kN)	73,6	75,2	2,2
Bendra kirpimo j ga (kN)	116,8	126,4	8,2

3. Rezultatai

Tiriamąjį darbą eigoje nustatėme didžiausią sunkvežimio antstatą veikiantį apkrovų dydžius. Didžiausias dėmesys buvo kreiptas kinematinio žadinimo sukeliams reakcijoms, nes jas nustatyti buvo sudėtingiausia.

vertinus išorinį poveikio į galą buvo patikrinta ar jos nėra didesnės už trinties į galą tarp kėbulų ir porčių F_{tr} , kuri susidaro dėl bendros kėbulų masės ir tvirtinimo varžtų veržimo.

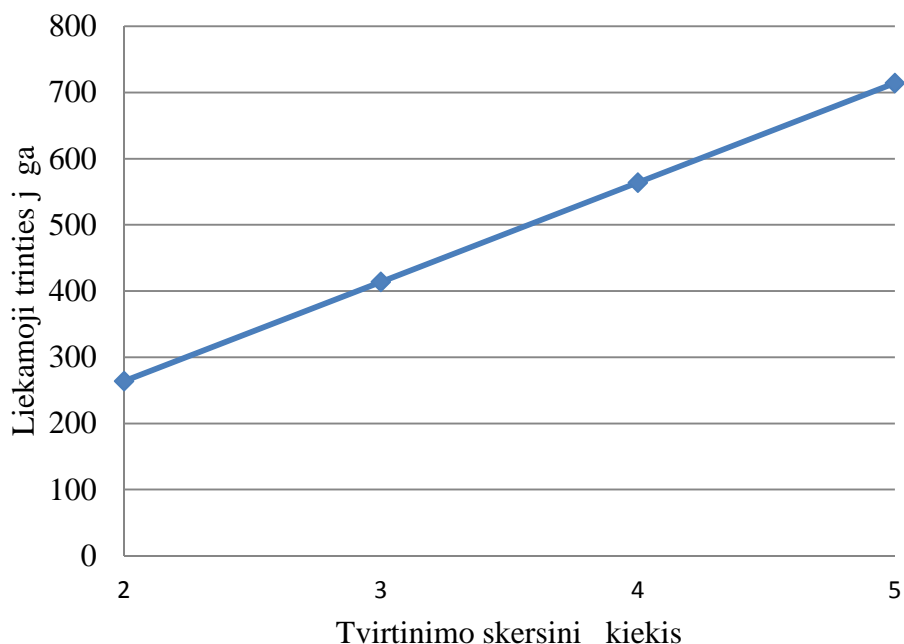
buvo tikrinamos šios kėbulų ant porčių nepraslydimo sąlygos:

- 1) $F_{st} < F_{tr}$ stabdymo metu. Rezultatai pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. Liekamoji trinties į galą užtikrinanti stiprumo sąlyga staigaus stabdymo metu.

Tvirtinimo skersiniai kiekis:	Kėbulų laikanti trinties į galą (kN)	Inercijos į galą (kN)	Liekamoji trinties į galą (kN)
2 (8)*	358,9	94,8	264,1
3 (12)*	508,9	94,8	414,1
4 (16)*	658,9	94,8	564,1
5 (20)*	808,9	94,8	714,1

* - Naudojami M16-10.9 tvirtinimo varžtų kiekiai.



39 pav. Liekamosios trinties į galą stabdant ir tvirtinimo skersinių priklausomybė.

Iš 39 pav. matome, jog kėbulą tvirtinant vos prie 2-jų tvirtinimo skersinių nepraslydimo sąlyga yra tenkina. Nepraslydimo į galą didėjimą tiesiškai didinant tvirtinimo varžtų skaičių.

2) $F_c < F_{tr}$ atliekant staig posk. Rezultatai pateikti 13 lentelje.

13 lentelė. Liekamosios trinties jėgos tenkinamos nepraslydimosių lyg.

Važiavimo greitis v (km/h)	F_c (kN)	$F_{tr.vid.}$ (kN)	$F_{tr.išor.}$ (kN)
20	61,7	254,4	281,3
25	96,5	195,5	270,6
30	138,9	123,6	257,6

čia: $F_{tr.vid.}$ - liekamoji trinties jėga ant porinio sijos esanios vidinės pusės dalyje, kuri veikia F_{t2} reakcija (žr. 26 pav.); $F_{tr.išor.}$ - liekamoji trinties jėga ant porinio sijos esanios išorinės pusės dalyje, kuri veikia F_{t1} reakcija (žr. 26 pav.)

Šie rezultatai gauti vertinat šias pagrindines sąlygas:

- k bulo masė su kroviniu 12 t;
- k bulas pritvirtintas prie 4 skersinių (16vnt M16-10.9 varžt.);
- k bulo svorio centras $H_c = 1,75$ m aukštyje;
- kelio klase E pagal ISO 2631-1.

Iš gautų rezultatų matome, jog išcentrinė jėga atliekant posk yra pavojingesnė lyginant su inercijos jėga stabdant. Taip pat matome, kad didžiausios greičio poskyje liekamosios trinties jėgos skirtumas tarp kairės ir dešinės porinio sijos didžiausias veikiančio vertimo momento.

3) $F_{t.kin.} < F_{tr}$ ir $F_{k.kin.} < F_{tr}$ važiuojant prastos kokybės keliu. Rezultatai pateikti 14 lentelje.

14 lentelė. Kinematinio žadinimo apkrovos ir liekamosios trinties jėgos joms veikiant.

	Tempimui:	Kirpimui:
Bendra veikianti jėga (kN)	390,4	276,0
Liekamoji trinties jėga (kN)	463,8	382,2

Šie rezultatai gauti vertinat šias pagrindines sąlygas:

- k bulo masė su kroviniu 12 t;
- k bulas pritvirtintas prie 4 skersinių (16vnt M16-10.9 varžt.);
- k bulo svorio centras $H_c = 1,75$ m aukštyje;
- važiavimo greitis $v = 100$ km/h;
- kelio klase E pagal ISO 2631-1.

Iš rezultat 14 lentelje matome, jog d l kinematinio žadinimo didesn yra tempimo apkrova, bet kadangi jos dydis dauginamas iš trinties koeficiento k_{tr} jos tak liekamajai trintiai yra mažesn .

- 4) Iš rezultat , pateikt 11 lentelje, matome, kad atstumas tarp k bulo tvirtinimo element didel s takos tvirtinimo element apkrovos dydžiui netur jo. Atstumui tarp k bulo tvirtinimo skersini padid jus 50% tempimo ir kirpimo apkrovos tepadid jo atitinkamai 2% ir 8%.
- 5) Norint sitikinti gaut rezultat teisingumu b tina atlikti papildomus testus. Pirmuoju testu reikt patikrinti trinties koeficiento reikšm , nes ji turi didel tak k bulo nepraslydimos lygai. Antruoju žingsniu reikt patikrinti naudot pakabos parametr teisingum remiantis bandym ar sunkvežimi gamintoj duomenimis. Galiausiai b tina pakartoti k bulo tvirtinimo stiprumo bandym , kurio metu reikia sitikinti, kad d l sumažinto k bulo tvirtinimo tašk skai iaus per daug nesusilpn ja pati k bulo ar por mio konstrukcija.
- 6) K tik aptart teorini skai iavim rezultatai neprieštarauja praktinio bandymo duomenims [7]. Šio bandymo duomenys parod , kad inercijos j ga pos kio metu s lygoja didžiausias varžt apkrovas. Šiuo bandymu taip pat nustatyta, kad k bul tvirtinant prie 5-ki k bulo tvirtinimo skersini tvirtinimo varžtams tenkan ios apkrovos n ra didesn s už j pa i veržimo vertes. Atlik skai iavimus nustat me, jog užtenka 4-i k bulo tvirtinimo skersini , tam kad b t užtikrinta k bulo su por mio nepraslydimos lyga. Visgi vertinant atsarg rekomenduojama naudoti ne mažiau kaip 5-is k bulo tvirtinimo skersinius, kiekvien iš j tvirtinant 4-iais M16x1,5 10.9 varžtais.

4. Išvados

1. Darbo metu nustatyti svarbiausi k bul veikian i apkrov dydžiai, o skai iavimais patikrinta, kad užtenka 4-ri k bulo tvirtinimo skersini arba 16vnt M16x1,5 10-9 varžt .

Toks rezultatas gautas darant šias prielaidas:

- pasirinkta trinties koeficiento k_{tr} reikšm yra 0,5;
- pasirinkti pakabos parametrai yra teisingi: $c = 20 \times 10^3$ Ns/m; $k = 1 \times 10^6$ N/m [20].

Ta iau atsižvelgiant reali por mio ir k bulo s ly io plokštum nelygum rekomenduotina naudoti ne mažiau 5-i k bulo tvirtinimo skersini . Tvirtinimo taškus paskirstyti tolygiai per k bulo ilg taip, kad tarp j b t nemažesnis kaip 2,0 m atstumas tam, kad trinties j ga pasiskirstyt tolygiau.

2. Nustatyta, kad didžiausia apkrova veikianti k bul yra inercija atliekant staig pos k . J pavojinga net tik d l skersin s j gos, bet ir d l veikian io vertimo momento, d l kurio vienos pus s tvirtinimo varžtai yra papildomai apkraunami.

Literatūros sąrašas

1. Volvo Trucks. Volvo FE 42 duomen lapai. Prieiga per internet : <http://productinfo.vtc.volvo.se/files/pdf/modelrange/fe42ra_8ce_engvt.pdf> [žiūrta 2015-01-20].
2. Hapag-Lloyd Container packing. Prieiga per internet : <<http://unotrans.com/docs/Container%20Packing.pdf>> [žiūrta 2015-01-20].
3. Roberto Spinola Barbosa. Vechnile Dynamic Response Due to Pavement Roughness. J. of the Braz. Soc.of Mech. Sci. & Eng. July-September 2011, Vol XXXIII, No. 3
4. Reza-Kashyzadeh K., Ostad-Ahmad-Ghorabi M. J., Arghavan A. Study Effects of Vehicle Velocity on A Road Surface Roughness Simulation // Applied Mechanics and Materials Vol.372 (2013), p. 650-656.
5. J.Oliva, J.M. Goicolea, P Antolin, M.Astiz. Dynamic behaviuor of underspanned suspension road bridges under traffic loads. Journal of the South African Institution of Civil Engineering, Volume 56, Number 3, October 2014.
6. Vilniaus Gedimono technikos Universiteto konspekt medžiaga. Prieiga per internet : <http://www.techmat.vgtu.lt/konspektai/Skaic_mech/Inziner_met/Teorija/AGG_P8.pdf> [žiūrta 2015-03-25].
7. Wittig M. Messung Boden MKO, Auswertung Messdaten, Versuch: A_12_5_106.
8. Metric Threads Proof Load, Yield, & Tensile Chart, Engineering center, General Fasteners Company. Prieiga per internet : <<http://www.engineeringfasteners.com/pdf/TensileYieldProofMetric.pdf>> [žiūrta 2015-04-15].
9. Vai iulis Dainius. Mašin element kursinis projektavimas. I dalis.
10. Ed. Moore D.B., Wald F. Design of Structural Connections to Eurocode 3 – Frequently Asked Questions; Prieiga per internet : <http://www.e-konstrukcije.si/user_files/vsebina/Informacije/DESIGN_OF_STRUCTURAL_CONNECTIONS_TO%20EUROCODE_3.pdf>
- 11.BlackFasteners. Prieiga per internet : <http://www.blacksfasteners.co.nz/assets/BoltShearCapacity_14-15.pdf> [žiūrta 2015-03-05].
- 12.BlackFasteners. Prieiga per internet : <http://www.blacksfasteners.co.nz/assets/DesignofBoltedJoints_16-20.pdf> [žiūrta 2015-03-05].
13. JAMESGLEN Stainless fastenrers. Prieiga per internet : <<http://www.jamesglen.com.au/bolt-tensioning/>> [žiūrta 2015-05-05].

14. Mokomoji knyga: Fatigue and fracture understanding the basics. Prieiga per internet : <https://books.google.lt/books?id=rE5K9zBrprAC&pg=PA264&lpg=PA264&dq=grade+10.9+bolt+fatigue+strength&source=bl&ots=39UX0Amrok&sig=DVe3oEk4v96stXaiO_gNSMEHISE&hl=lt&sa=X&ei=9jFgVYyxJMSKsgGRtIGoDA&ved=0CDMQ6AEwAzgK#v=onepage&q=grade%2010.9%20bolt%20fatigue%20strength&f=false> [ži r ta 2015-04-10].
15. MechGuru. Typical Coefficient of Friction Values for common materials. Prieiga per internet : <<http://blog.mechguru.com/machine-design/typical-coefficient-of-friction-values-for-common-materials/>> [ži r ta 2015-02-05].
16. Commercial Motor. Heavy truck braking tests...the discs have it by 'eight' lengths recalls Biglorryblog! Prieiga per internet : <<http://www.commercialmotor.com/big-lorry-blog/heavy-truck-braking-tests-the-d>> [ži r ta 2015-03-01].
17. M.Gerling Lastenheft Faltwandfahrzeug FP25-4B
18. Volvo Trucks. Volvo FE 42 duomen lapai. Prieiga per internet : <http://productinfo.vtc.volvo.se/files/pdf/modelrange/fe42ra_8ce_engvt.pdf> [ži r ta 2015-01-20].
19. Prof. S.R.Satish Kumar and Prof. A.R.Santha Kumar. Design of Steel Structures Prieiga per internet : <http://mantusanchors.com/wp-content/uploads/2013/11/bolted_connections.pdf>
20. Patrick J. McGetrick, Dynamic Axle Force and Road Profile Identification Using a Moving Vehicle, International Journal of Architecture, Engineering and Construction; Vol 2, No 1, March 2013, pp. 1-16.