



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

Rimantas Zakaryza

PNEUMATINIO RATO ENERGIJOS KAUPIMO TYRIMAS

INVESTIGATION OF ENERGY ACCUMULATION OF PNEUMATIC TIRE

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Transporto technologinių sistemų inžinerijos specializacija

Transporto inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
prof. Marijonas Bogdevičius
(Vardas, pavardė)

(Data)

Rimantas Zakaryza

PNEUMATINIO RATO ENERGIJOS KAUPIMO TYRIMAS
INVESTIGATION OF ENERGY ACCUMULATION OF PNEUMATIC TIRE

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Transporto technologinių sistemų inžinerijos specializacija

Transporto inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas _____ (Moksl.
laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas _____ (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas)
(Data)

Konsultantas _____ (Moksl. laipsnis, vardas, pavardė) (Parašas)
(Data)

Vilnius, 2011

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Transporto inžinerijos fakultetas

Transporto technologinių įrenginių katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Transporto inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Pneumatinio rato energijos kaupimo tyrimas**

Autorius **Rimantas Zakaryza**

Vadovas prof. Marijonas Bogdevičius

Kalba

☒ lietuvių

☐ užsienio

Anotacija

Šiame darbe analizuojami pneumatiniai ratai su energijos kaupimo įtaisais. Pateikiamos bendros žinios apie lengvųjų automobilių pneumatinius ratus. Sukuriamas pneumatinio rato su energijos kaupikliu prototipas. Sudaromas energijos kaupiklio matematinis modelis ir atliekami matematiniai skaičiavimai. Darbą sudaro įvadas ir keturi aiškinamojo rašto skyriai, pabaigoje pateikiamos išvados.

Prasminiai žodžiai: Pneumatinis ratas, energijos kaupiklis, matematinis modeliavimas

Vilnius Gediminas Technical University

Faculty of Transport Engineering

Department of Transport Technological

ISBN

ISSN

Copies No.

Date-....-....

Transport Engineering study programme master thesis

Title: **Investigation of energy accumulation of pneumatic tire**

Thesis language

☒ Lithuanian

☐ Foreign

Annotation

In this paper analyzes the wheels with pneumatic energy storage devices. Provides general information about the car pneumatic wheels. Created a pneumatic wheel with an energy storage device. Created energy storage device mathematical model and carried out the mathematical calculations. The work consists of an introduction and four chapters of the explanatory note and the findings at the end.

Keywords: pneumatic wheel, energy storage, mathematical modeling

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
ĮVADAS.....	10
1. MOKSLO DARBŲ, SKIRTŲ PADANGOMS SU ENERGIJOS KAUPIKLIAIS TIRTI, APŽVALGA	11
2. BENDROSIOS ŽINIOS APIE PADANGAS	17
2.1 Svarbiausi terminai ir apibrėžimai	17
2.2 Padangos funkcijos.....	21
2.2 Padangoms keliami reikalavimai.....	23
2.3 Padangų konstrukcija.....	23
2.4 Padangų žymėjimas	26
2.5 Padangų dėvėjimasis	29
3. AUTOMOBILIO RATO KINEMATIKA IR DINAMIKA.....	30
3.1 Automobilio rato kinematika.....	30
3.2 Ratą veikiančios jėgos ir jų momentai	32
3.3 Padangos ir kelio deformacijos	35
3.4 Kelio reakcijos į stumiamą ratą	37
4. RATO PROTOTIPO SU ENERGIJOS KAUPIKLIU TEORINIAI TYRIMAI.....	39
4.1 Rato su energijos kaupikliu veikimo principas	39
4.2 Rato su energijos kaupikliu matematinis modelis.....	41
4.3 Matematinio modeliavimo metu gauti rezultatai.....	45
IŠVADOS.....	49
LITERATŪRA.....	50
PRIEDAI	52

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Elektros generatorius su pavara.....	11
2 pav. Įrenginio komponavimo padangoje schema	12
3 pav. Padangos pjūvio vaizdas, kuriame matosi pjezoelektrinio kabelio tvirtinimo vieta	12
4 pav. Padangos, kurioje panaudoti pjezoelektriniai elementai, pjūvis.....	13
5 pav. Elektros energijos gamybos bloko elektrinė schema.....	13
6 pav. Įrenginys, skirtas slėgio kitimą padangoje paversti elektros energija	14
7 pav. Įrenginio elektros grandinės schema	15
8 pav. Wilson įrenginio elektros grandinės schema	15
9 pav. Įrenginio pjūvis.....	16
10 pav. Rato pjūvis.....	20
11 pav. Ketvirčio automobilio modelis	21
12 pav. Automobilio masės dažninės charakteristikos.....	22
13 pav. Diagonalinė padanga	24
14 pav. Istrižųjų sluoksnių padanga	25
15 pav. Radialinės padangos konstrukcija	26
16 pav. Padangų žymėjimas	27
17 pav. Padangos matmenų paaiškinimas	28
18 pav. Rato kinematikos schema.	30
19 pav. Automobilio ratą veikiančios apkrovos	32
20 pav. Automobilio ratą veikiantys momentai	33
21 pav. Automobilio ratą veikiančios atstojamosios jėgos	34
22 pav. Padangos ir kelio deformacijos atvejai	35
23 pav. Vertikalaus slėgio pasiskirstymas padangos kontakte su keliu	37
24 pav. Stumiamo rato schema, kai greitis V yra pastovus.....	38
25 pav. Padangos prototipo pjūvis	39
26 pav. Padangos su energijos kaupikliu pjūvis.....	40
27 pav. Padangos su energijos kaupikliu veikimo schema	41
28 pav. Tūris sudalintas į segmentus.....	41
29 pav. Segmento ir padangos spinduliai	42
30 pav. Segmentų, sujungtų su resiveriu, matematinis modelis.....	43
31 pav. Slėgio priklausomybė nuo laiko, automobiliui judant 60 km/h greičiu	46
32 pav. Tūrio kitimas I – jame segmente	46
33 pav. Oro masės debito kitimas I, II ir III segmentuose	47
34 pav. Kontakto poslinkis rate ir bendras poslinkis.....	47

35 pav. Slėgio priklausomybė nuo laiko, automobiliui judant 90 km/h greičiu 48

IVADAS

Mano baigiamojo darbo tema yra „Pneumatinio rato energijos kaupimo tyrimas“. Visą transporto sistemą sudaro trys pagrindiniai, tarpusavyje sąveikaujantys, elementai: kroviniai ir eismo dalyviai, transporto priemonės bei transporto keliai (Sivilevičius 2011). Pastarųjų dviejų elementų sąveikos kokybė priklauso nuo transporto priemonės ir kelio jungiamosios grandies – rato. Nuo jų sąveikos kokybės taip pat priklauso keleivių ir krovinių saugumas, keleivių komfortas.

Pasaulyje sparčiai didėjant degalų kainoms, vis aktualesnė problema yra alternatyvios energijos panaudojimas automobiliuose. Vis daugiau dėmesio skiriama automobilio ekonomiškumui. Siekiama, kad energijos būtų švaistoma kuo mažiau, ir kad ji būtų panaudojama kuo tikslingiau. Taip pat daug dėmesio skiriama energijos regeneravimo sistemų tobulinimui, pvz. kinetinės energijos regeneravimo sistema (KERS).

Mano baigiamajame darbe, bus tiriamas automobilio ratas su energijos kaupikliu.

Darbo tikslas:

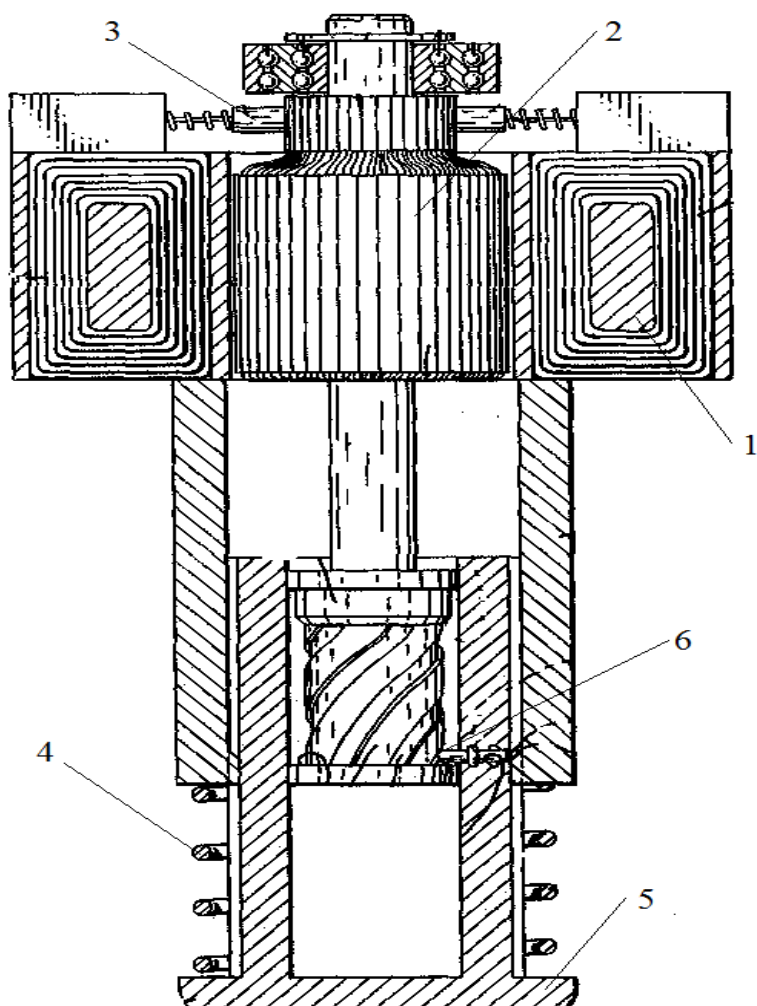
1. Sukurti naują rato modelį su energijos kaupimo įtaisu.
2. Susipažinti su patentais, kuriuose aprašomi ratai su energijos kaupimo įtaisais.
3. Susipažinti su padangos konstrukcija.
4. Atlikti sukurto rato su energijos kaupikliu matematinį modeliavimą.
5. Išanalizuoti gautus duomenis.
6. Pateikti išvadas ir pasiūlymus.

Tiriamąjį darbą sudaro trys dalys:

- Pirmoje dalyje atliekama mokslinių darbų ir patentų analizė.
- Antroje dalyje pateikiama teorinė medžiaga, susijusi su automobilio ratais.
- Trečioje dalyje aprašoma automobilio rato kinematika ir dinamika.
- Ketvirtoje dalyje sukuriamas padangos su energijos kaupikliu modelis, matematinis modelis ir atliekami skaičiavimai su nustatytais parametrais. Taip pat pateikiami gauti rezultatai, bei atliekama jų analizė.

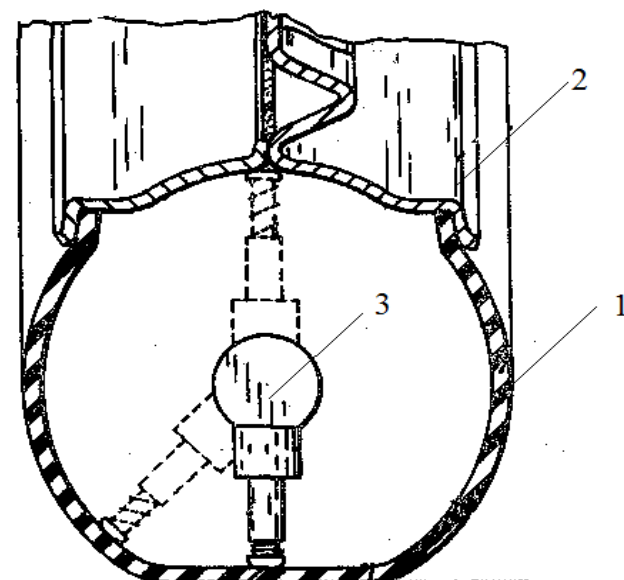
1. MOKSLO DARBŲ, SKIRTŲ PADANGOMS SU ENERGIJOS KAUPIKLIAIS TIRTI, APŽVALGA

Vienas pirmųjų padangos deformacijos panaudojimu energijai gauti susidomėjo (Thomas *et al.* 1972), kuris užpatentavo įrenginį su elektros generatoriumi. Elektros generatorius buvo sukamas panaudojant specialią pavara, kuri slenkamąjį judesį paverčia sukamuju ir suka generatoriaus rotorių (žr. 1 pav.)



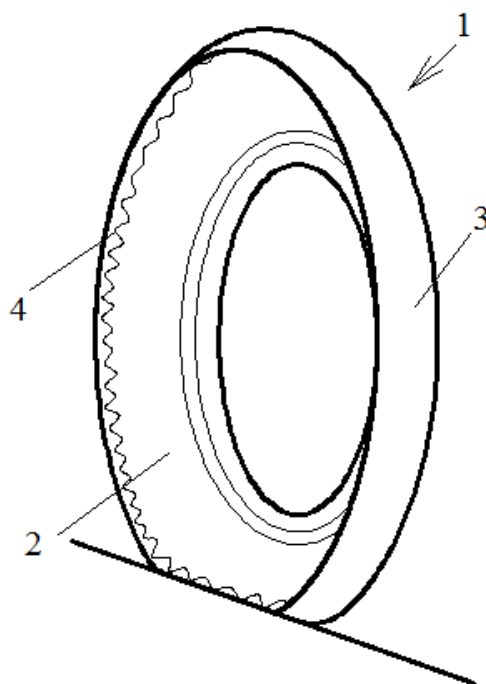
1 pav. Elektros generatorius su pavara: 1 – statorius; 2 – rotorius; 3 – šepetėliai; 4 – spyruoklė; 5 – atrama – slankiklis; 6 – pavara

Įrenginio komponavimas padangoje (žr. 2 pav.). Generatorių gali sukti tiek padangos protektoriaus deformavimas, tiek šoninių sienelių deformacija.



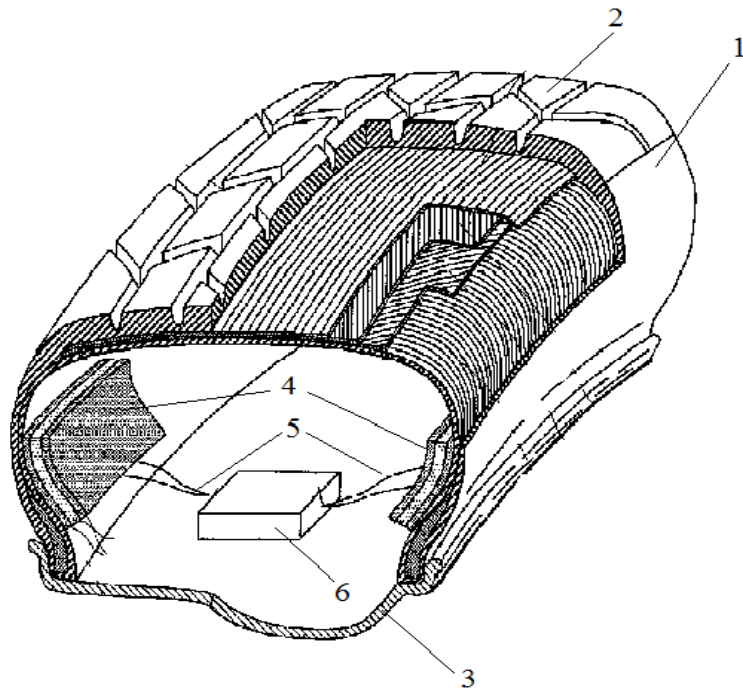
2 pav. Įrenginio komponavimo padangoje schema

(Mancosu *et al.* 2006) savo išradime naudoja padangos deformaciją elektros energijos gamybai. Elektros energija gaunama panaudojant pjezoelektrinį elementą. Elementas tvirtinamas ant padangos karkaso vidinės pusės ir yra sujungtas į elektros grandinę (žr. 3 pav.). Padangai riedant kelio paviršiumi ir deformuojantis, pjezoelektrinis elementas deformuojasi kartu sukurdamas elektros srovę. Elektros srovė panaudojama padangos viduje esančių įrenginių, tokių kaip slėgio, temperatūros ir kt. jutiklių, maitinimui.

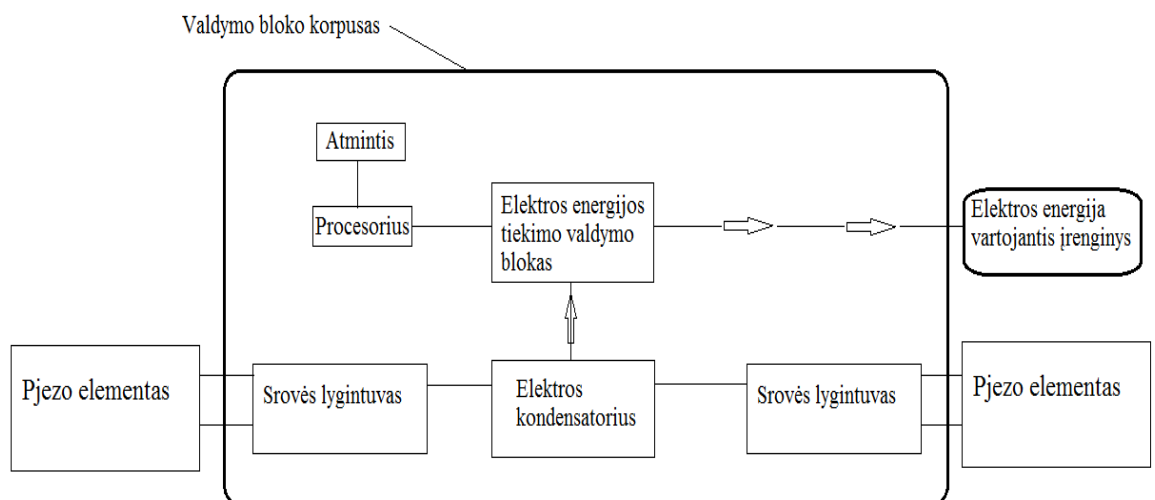


3 pav. Padangos pjūvio vaizdas, kuriame matyti pjezoelektrinio kabelio tvirtinimo vieta: 1 – padanga; 2 – padangos karkasas; 3 – protektorius; 4 – pjezoelektrinis kabelis

(Hatano 2010) savo išradime panaudoja padangos šoninių sienelių deformaciją elektros energijos gamybai. Energijai gauti taip pat panaudojami pjezoelektriniai elementai, kuriais padengiamos padangos sienelės (žr. 4 pav.). Deformuojantis padangos sienelėms, kartu deformuojasi ir pjezoelektriniai elementai, taip sukurdami elektros srovę. Pjezoelektriniai elementai sujungti su valdymo bloku, kuriame yra kondensatorius. Įrenginys taip pat turi kondensatorius elektros srovei akumuliuoti.



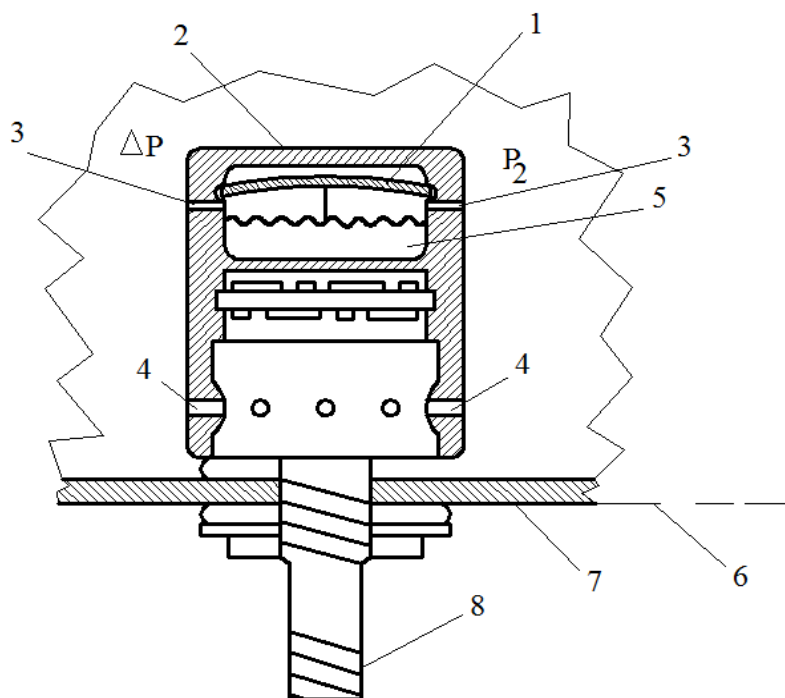
4 pav. Padangos, kurioje panaudoti pjezoelektriniai elementai, pjūvis: 1 – padanga; 2 – protektorius; 3 – ratlankis; 4 – pjezoelektriniai elementai; 5 – laidai; 6 – įrenginio korpusas



5 pav. Elektros energijos gamybos bloko elektrinė schema

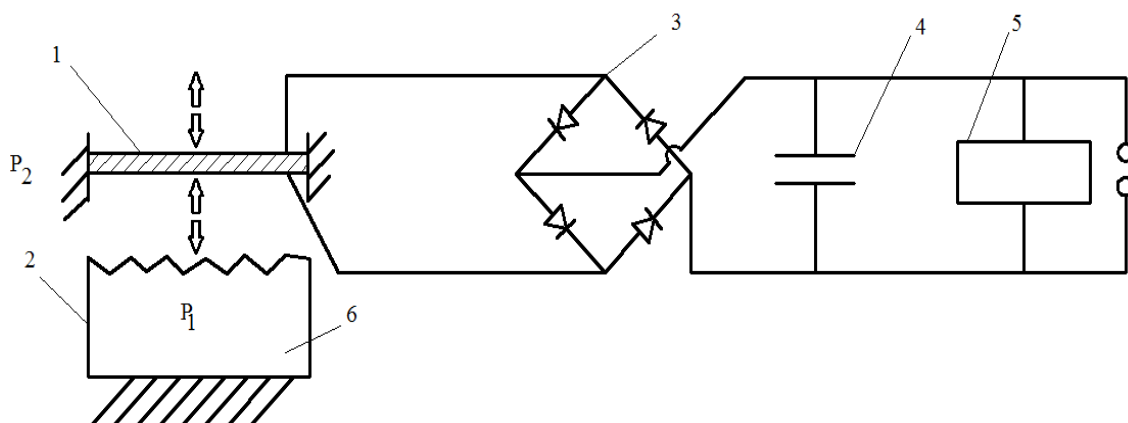
(Jackson *et. al* 2007) savo darbe aprašo, kaip galima panaudoti padangos slėgio kitimo energiją elektros energijai gauti. Šiame išradime taip pat naudojami pjezoelektriniai elementai, tik skirtingai nuo kitų apžvelgtų darbų, elementus deformuoja padangos vidinio slėgio pokytis. Įrenginio schema (žr. 6 pav.). Ją sudaro korpusas 2 su jame įmontuotu pjezoelektriniu elementu 1. Pjezoelektrinis elementas sujungtas su aneroidine kamera 5. Įrenginio korpusas turi kiaurymes 3 ir 4. Per kiaurymes 4 padanga pripildoma oro, o per kiaurymes 3 įrenginį pasiekia slėgio pokytis. Įrenginio korpusas sujungtas su padangos ventiliu 8.

Aneroidinėje kameroje slėgis lygus automobilio padangos slėgiui, kai padanga apkrauta normalia apkrova ir yra normalios temperatūros. Kaip padangoje esantis slėgis P_2 pasikeičia, tampa didesnis arba mažesnis už aneroidinės kameros slėgį, deformuojasi sienelė, kartu veikdama ir pjezoelektrinį elementą. Taip sukurama elektros srovė.



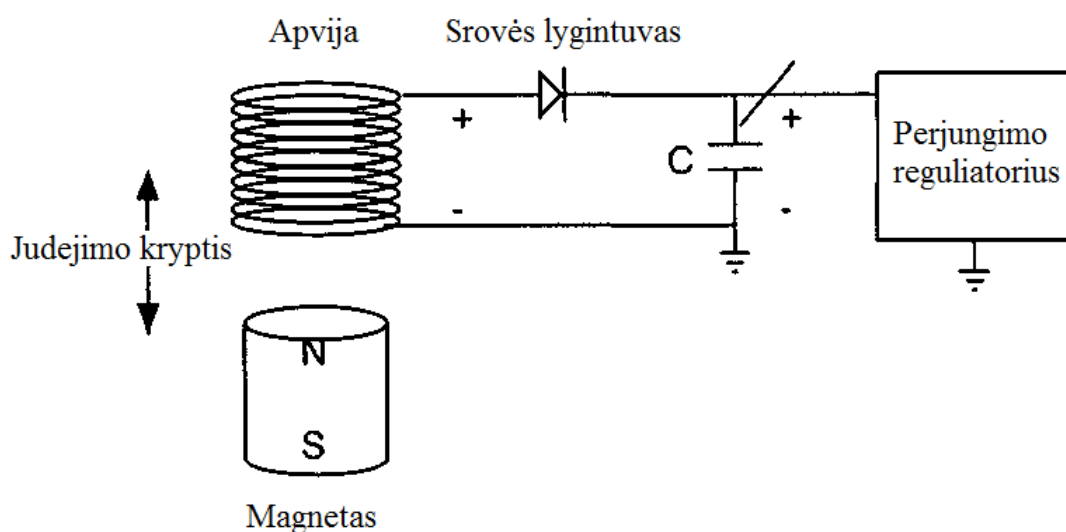
6 pav. Įrenginys, skirtas slėgio kitimą padangoje paversti elektros energija

Pjezoelektrinis elementas sujungtas į elektros grandinę (žr. 7 pav.). Kadangi pjezoelektrinis elementas generuoja kintamą srovę, reikalingas srovės lygintuvas, kuris kintamą srovę verčia į nekintamą. Į grandinę taip pat prijungti kondensatorius 4 ir reguliatorius 5.



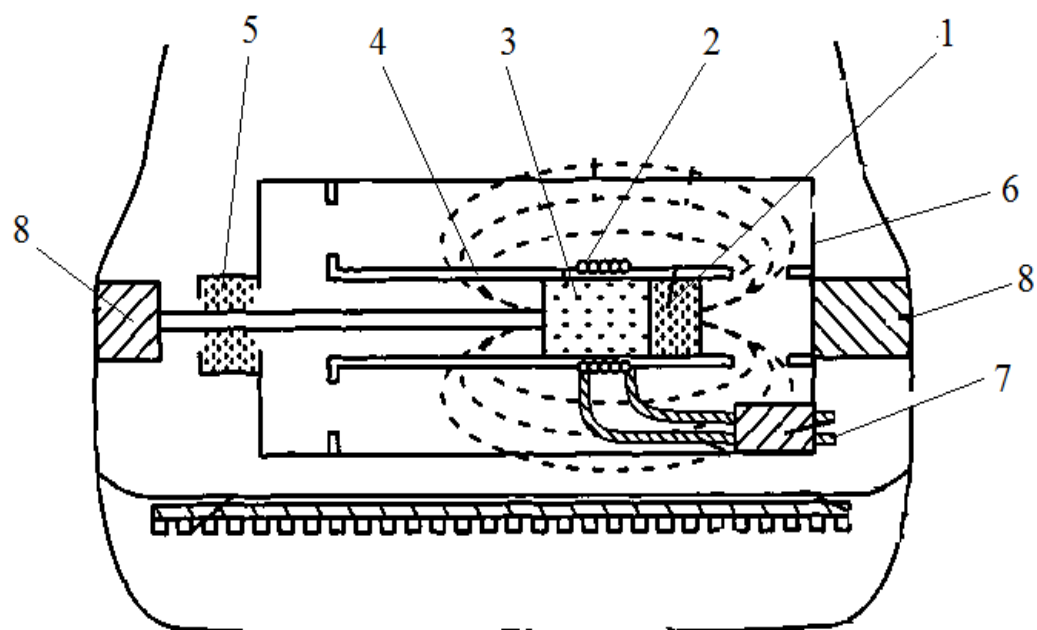
7 pav. Įrenginio elektros grandinės schema

(Wilson 2004) savo patente aprašo įrenginį, kuris naudoja padangos deformaciją kaip būdą elektros energijai gaminti. Energijai gauti autorius naudoja magnetą ir apvijas (žr. 8 pav.). Magnetui judant viduryje apvijų, apvijose generuojama elektros srovė. Iš kintamos į nuolatinę srovę pakeičiama srovės lygintuvu.



8 pav. Wilson įrenginio elektros grandinės schema

Įrenginio pjūvis (žr. 9 pav.). Įrenginys prie padangos šonų pritvirtintas jungtimis 8. Deformuojantis padangai, šliaužiklis 2 stumdo magnetą 1. Judesys vyksta kreipiančiajame vamzdelyje 4. Siekiant apsaugoti įrenginio 6 korpusą nuo padangos viduje esančių nešvarumų, naudojamas tarpiklis 5. Elektros energiją naudojančio įtaiso laidai jungiami su jungtimi 7.



9 pav. Įrenginio pjūvis

2. BENDROSIOS ŽINIOS APIE PADANGAS

2.1 Svarbiausi terminai ir apibrėžimai

Atsarginis junginys – junginys, skirtas pakeisti sugedusį normalųjį junginį; atsarginis junginys gali būti laikino naudojimo atsarginis junginys arba normalusis atsarginis junginys.

Bendras padangos plotis – linijinis atstumas tarp pripūstos padangos šonų išorės, įskaitant ženklinių etiketėmis, papuošimus ir apsaugines juostas ar briaunas (žr. 10 pav.).

Bortas – padangos dalis, kuri liečiasi prie ratlankio ir laiko ant jo padangą (žr. 10 pav.).

Brekeris – guminės medžiagos arba metalo kordinis tarp sluoksnių tarp karkaso ir protektoriaus.

Didžiausia apkrovos vertė – didžiausia masė, kurią turi išlaikyti padanga.

Didžiausia ašies apkrova – techniškai leistina didžiausia transporto priemonės gamintojo nustatyta vertė visai vertikaliajai jėgai tarp atitinkamos ašies padangų ir pagrindo lietimosi paviršiaus bei atsirandančios dėl ta ašimi palaikomos transporto priemonės masės dalies; ašių apkrovų suma gali būti didesnė, negu vertė, atitinkanti didžiausią transporto priemonės masę.

Funkciniai matmenys – matmenys, gauti atsižvelgiant į ratų ar padangų nustatytus matmenis (pvz.: skersmenį, plotį, išraiškos santykį) ir junginio montavimą transporto priemonėje (pvz., rato išsikišimą).

Gamintojas – transporto priemonės arba padangų įmonės vardo ar prekės ženklo turėtojas.

Greičio kategorija – gamintojo nustatytas greitis, išreiškiamas greičio kategorijos simboliu.

Istrižinė arba istrižųjų sluoksnių padangos struktūra – padangos struktūra, kurioje sluoksnių kordai pasiekia bortą ir yra sudėlioti besikeičiančiais kampais, daug mažesniais negu 90° protektoriaus centro linijos atžvilgiu.

Istrižinių juostų padangos struktūra – padangos struktūra, kai karkasas yra apribotas juosta, apimančia du ar daugiau sluoksnių iš mažai besiplečiančios kordo medžiagos, išdėstytos skirtingais, panašiais į karkaso, kampais;

Išorės skersmuo – bendras pripūstos naujos padangos skersmuo (žr. 10 pav.).

Junginys – surinktas ratas ir padanga.

Karkasas – padangos dalis, išskyrus protektorių ir gumos šonus, kuri pripūsta išlaiko apkrovą, jis gaminamas iš keletu sluoksnių kordo (žr. 10 pav.).

Kordas – tai siūlų ir gumos audeklas (žr. 10 pav.).

Krovumo rodiklis – vienas ar du skaičiai, rodantys apkrovą, kurią gali išlaikyti viengubos ar sudvejintos sandaros padanga, kai greitis atitinka tam tikrą greičio kategoriją ir kai naudojama laikantis gamintojo nustatytų reikalavimų.

Lengvojo automobilio padanga – padanga, suprojektuota M_1 klasės transporto priemonėms (lengviesiems automobiliams) ir jų O_1 ir O_2 klasės priekaboms.

Maksimalus konstrukcinis greitis – didžiausias patvirtintas transporto priemonės tipo greitis, įskaitant leidžiamą toleranciją.

Matavimo ratlankis – ratlankis, ant kurio padanga turi būti montuojama, siekiant išmatuoti padangos dydį.

Nominaliosios išraiškos santykis R_a – skaičius, gautas padalijus skaičių, išreiškiantį vardinį skerspjuvio aukštį milimetrais, iš vardinį skerspjuvio plotį milimetrais išreiškiančio skaičiaus ir padaugintas iš šimto.

Padanga – bet kokia nauja pneumatinė padanga, įskaitant žieminę padangą su skylėmis spygliams, originali arba keičiama sudėtinė dalis, skirta sumontuoti transporto priemonėje; šis apibrėžimas netaikomas žieminėms padangoms su spygliais.

Padangos dydžio žymėjimas – žymėjimas, rodantis vardinį skerspjuvio plotį, nominaliosios išraiškos santykį R_a , vardinį ratlankio skersmenį (coliais arba milimetrais).

Padangos lietimosi plotas (A_c) – plokščio paviršiaus, esančio padangos pėdsako tikrojo perimetro viduje, plotas, išreikštas m^2 ;

Padangos slėgis į gruntą (F/A_c) – vienetinė vidutinė apkrova, padangos perduodama per jos sąlyčio plotą į kelio paviršių, išreikšta statinėje padėtyje rato ašį apkraunančios vertikaliosios jėgos (F) ir padangos sąlyčio ploto (A_c), išmatuoto su padanga, pripūsta taikant numatomam naudojimui tipui rekomenduojamą šalto pripūtimo slėgį, santykiu, išreikštas kN/m^2 .

Protektoriaus griovelis – erdvė tarp protektoriaus rašto gretimų briaunų ar blokų.

Protektoriaus susidėvėjimo rodikliai – išsikišimai protektoriaus griovelių viduje, kurie yra suprojektuoti, siekiant vizualiai nurodyti protektoriaus susidėvėjimo laipsnį.

Protektorius – guminė padangos dalis, kuri kontaktuoja su kelio danga, padangos riedėjimo paviršius (žr. 10 pav.).

Radialinė padangos struktūra – tokia padangos struktūra, kurioje sluoksnių kordai pasiekia bortus ir yra išdėstyti 90° statmenai protektoriaus centro linijai, karkasas stabilizuotas iš esmės nesiplečiančia žiedine juosta.

Ratas – neišardomai sujungtas ratlankis su rato disku;

Ratlankis – atraminė konstrukcija padangai ir kamerai surinkti arba bekamerei padangai, padangos bortams įdėti (žr. 10 pav.).

Skerspjuvio aukštis – atstumas, lygus pusei skirtumo tarp padangos išorės skersmens ir ratlankio vardinio skersmens (žr. 10 pav.).

Skerspjuvio plotis – linijinis atstumas tarp pripūstos padangos šonų išorės, išskyrus iškilimus dėl ženklinimo etiketėmis (žymėjimo), papuošimo arba apsauginių juostų ar briaunų (žr. 10 pav.).

Sluoksnis – guma dengtų lygiagrečių kordų sluoksniai;

Sustiprinta padanga – padanga, kurios karkasas patvaresnis negu atitinkamos standartinės padangos.

Šalto pripūtimo slėgis – padangos vidinis slėgis, kai padanga yra aplinkos temperatūros, neįskaitant jokio kito slėgio, susidarančio dėl padangos naudojimo; jis išreiškiamas bar arba kPa.

Šonas – padangos dalis, išskyrus protektorių, kuri matoma, kai į padangą, surinktą ant ratlankio, žiūrima iš šono (žr. 10 pav.).

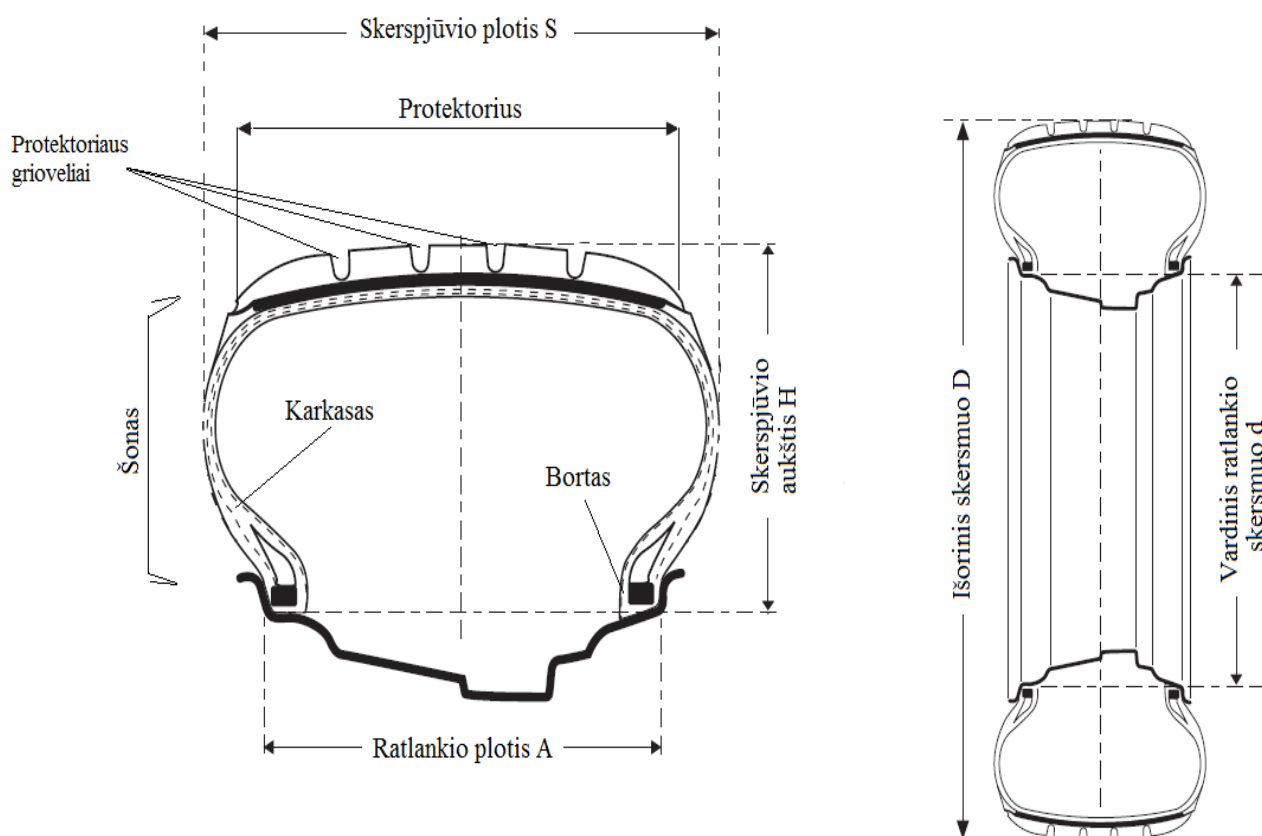
Tikrasis padangos pėdsako perimetras – tai išgaubta daugiakampė kreivė, ribojanti visus sąlyčio tarp padangos ir pagrindo taškus apimančią mažiausią plotą.

Transporto priemonė – M arba N kategorijos motorinė transporto priemonė, skirta naudoti keliuose, turinti bent keturis ratus ir didesnę kaip 25 km/val. maksimalų konstrukcinį greitį, ir jos priekabos, išskyrus bėgiais važiuojančias transporto priemones bei žemės arba miškų ūkyje naudojamus traktorius ir visus judriuosius mechanizmus.

Transporto priemonės tipas – transporto priemonės, nesiskiriančios pagrindinėmis techninėmis charakteristikomis, turinčiomis įtakos padangos dydžio žymėjimui, greičio kategorijos simboliui ar krovumo rodikliui.

Vardinis ratlankio skersmuo (d) – tai ratlankio, ant kurio padanga sukonstruota montuoti, skersmuo (žr. 10 pav.).

Žieminė padanga – padanga, kurios protektoriaus raštas ir struktūra yra sukonstruota, siekiant užtikrinti geresnę sukibimą su kelio danga, esant purvui, pasnigui arba tirpstančiam snigui. Žieminės padangos protektoriaus raštas paprastai sudarytas iš griovelių (briaunų) ir (arba) plačiai išdėstytų vientiso bloko elementų.



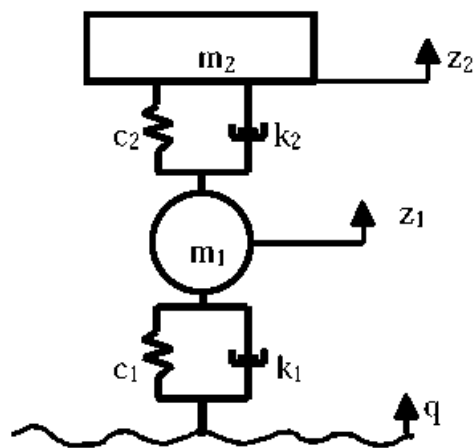
10 pav. Rato pjūvis

2.2 Padangos funkcijos

Pagrindinė padangos funkcija yra palaikyti ryšį tarp kelio dangos ir transporto priemonės, atlaikyti automobilio svorio jėgą.

Automobilio gebėjimas pajudėti iš vietos, stabdyti, įveikti posūkius priklauso nuo padangų, trinties tarp jų ir kelio dangos. Ši trintis priklauso tiek nuo padangos, tiek nuo kelio dangos savybių. Padangos protektoriaus dizainas turi didelę įtaką sukibimui su kelio danga. Protektoriaus griovelių piešinys padeda pasišalinti vandeniui iš padangos ir kelio kontakto zonos, taip užtikrindamas geresnį sukibimą. Sportinės „Slick“ tipo padangos turi labai gerą sukibimą su sausa kelio danga, bet visiškai prastą su šlapia.

Padanga veikia kaip spyruoklės ir amortizatoriaus junginys, kuris padeda sušvelninti smūgius, susidariusius dėl kelio dangos pažeidimų ar nelygumų. (Rutka *et. al* 2002) tiria padangos svarbą kelio ir automobilio sąveikai. Autoriai naudoja ketvirčio automobilio modelį (žr. 11 pav.).



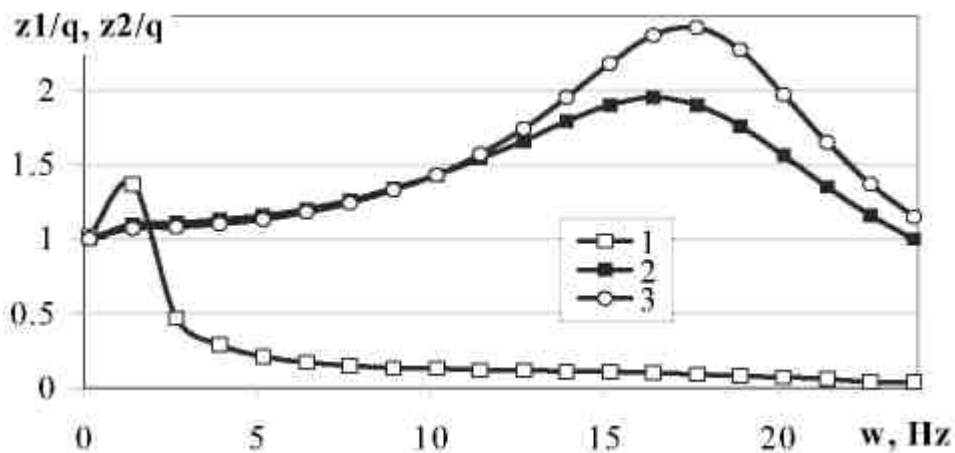
11 pav. Ketvirčio automobilio modelis

Ketvirčio automobilio modelis naudojamas siekiant apibrėžti automobilio padangos vertikaliosios deformaciją. Darant prielaidą, kad automobilio pakabos ir padangos standumo charakteristikos yra linijinės, modelis gali būti aprašomas tokiomis lygtimis:

$$\begin{cases} m_2 \frac{d^2 z_2}{dt^2} + k_2 \left(\frac{dz_2}{dt} - \frac{dz_1}{dt} \right) + c_2 (z_2 - z_1) = 0 \\ m_2 \frac{d^2 z_2}{dt^2} + m_1 \frac{d^2 z_1}{dt^2} + k_1 \left(\frac{dz_1}{dt} - \frac{dq}{dt} \right) + c_1 (z_1 - q) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

čia: m_2 – spyruokliuojanti automobilio masė, kg; m_1 – nespyruokliuojanti automobilio masė, kg; c_1 – padangos standumas; c_2 – pakabos elementų standumas; k_1 – padangos slopinimas; q – kelio profilio ordinatė po automobilio ratu; z_1 – vertikalus nespyruokliuojančios masės poslinkis; z_2 – vertikalus spyruokliuojančios masės poslinkis.

Lygčių sistema išspręsta naudojant Rungės – Kuto metodą. Tiriant padangų reikšmę automobilio ir kelio sąveikai, būtina įvertinti padangos slopinimo koeficientą k_1 . Koeficientas priklauso nuo padangos konstrukcijos. Išanalizavus padangos įtaką gauti tokie rezultatai (žr. 12 pav.).



12 pav. Automobilio masės dažninės charakteristikos: 1 – spyruokliuojanti masė; 2 – nespyruokliuojanti masė; 3 – nespyruokliuojanti masė, kai padangos slopinimo koeficientas $k_1 = 0$

Ketvirčio automobilio modelio dažninės charakteristikos keičiasi tik nespyruokliuojančiai masei. Keičiasi gana plačiai 14 – 22 Hz, vertikalios deformacijos dinaminis koeficientas padidėja 1,2 karto.

2.2 Padangoms keliami reikalavimai

Padangų konstrukcija, kokybė ir paskirtis daro didelę įtaką transporto priemonės važiavimo saugumui ir komfortui, kelio dangai, ekonomiškumui bei aplinkai. Todėl padangoms keliami šie reikalavimai (Giedra, 2006):

- geras jėgų perdavimas tarp kelio ir padangos;
- patikimas padangos pritvirtinimas prie ratlankio;
- gebėjimas išlaikyti stabilią formą važiuojant tiesiai ir posūkyje, kas užtikrina automobilio vairuojamumą;
- mažas polinkis akvaplaniruoti;
- pakankamas stiprumas važiuojant dideliais greičiais;
- ilgaamžiškumas;
- geros amortizacinės savybės, nežymus padangų keliamas triukšmas.

2.3 Padangų konstrukcija

Padangos pagal konstrukciją skirstomos į tris pagrindinius tipus: diagonalines, įstrižųjų sluoksnių ir radialines (Gent, 2006).

Diagonalinės padangos – tai padangos, turinčios diagonalinę struktūrą, kurioje sluoksnių kordai pasiekia bortą ir yra sudėlioti besikeičiančiais kampais, daug mažesniais negu 90° protektoriaus centro linijos atžvilgiu (žr. 13 pav.).

Privalumai:

- paprasta konstrukcija;
- paprasta gamyba.

Trūkumai:

- tarp sluoksnių kordų vyksta šlytis, kuri generuoja šilumą;
- prastas šoninis stabilumas;
- mažas resursas.



13 pav. Diagonalinė padanga

Istrižųjų sluoksnių padangos - tai padangos, turinčios įstrižųjų sluoksnių struktūrą, kai karkasas yra apribotas juosta, apimančia du ar daugiau sluoksnių iš mažai besiplečiančios kordo medžiagos, išdėstytos skirtingais, panašiais į karkaso, kampais (žr. 14 pav.). Kordo juosta gali būti plieninė arba tekstilinė, ji mažina padangos plėtimąsi radialine kryptimi.

Privalumai:

- lyginant su diagonoline, geresnis šoninis stabilumas dėl padidėjusio standumo;
- mažas pasipriešinimas riedėjimui.

Trūkumai:

- tarp sluoksnių vyksta šlytis, kuri generuoja šilumą.



14 pav. Istrižųjų sluoksnių padanga

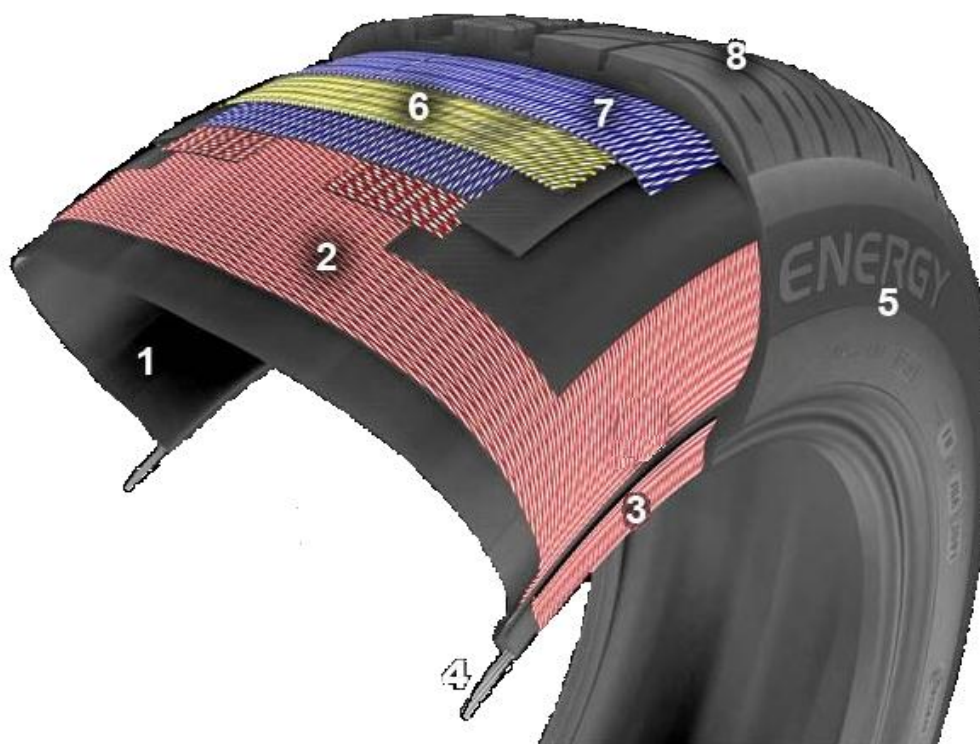
Radialinės padangos – tai padangos, kuriose sluoksnių kordai pasiekia bortus ir yra išdėstyti 90° protektoriaus centro linijai, karkasas stabilizuotas iš esmės nesiplečiančia žiedine juosta (žr. 15 pav.). Žiedinė juosta gali būti plieninė arba tekstilinė, ji mažina padangos plėtimąsi radialine kryptimi.

Privalumai:

- geras šoninis stabilumas;
- gerai atlaikoma apkrova;
- mažas pasipriešinimas riedėjimui;
- ilgaamžiškumas.

Trūkumai:

- Brangesnė gamyba.



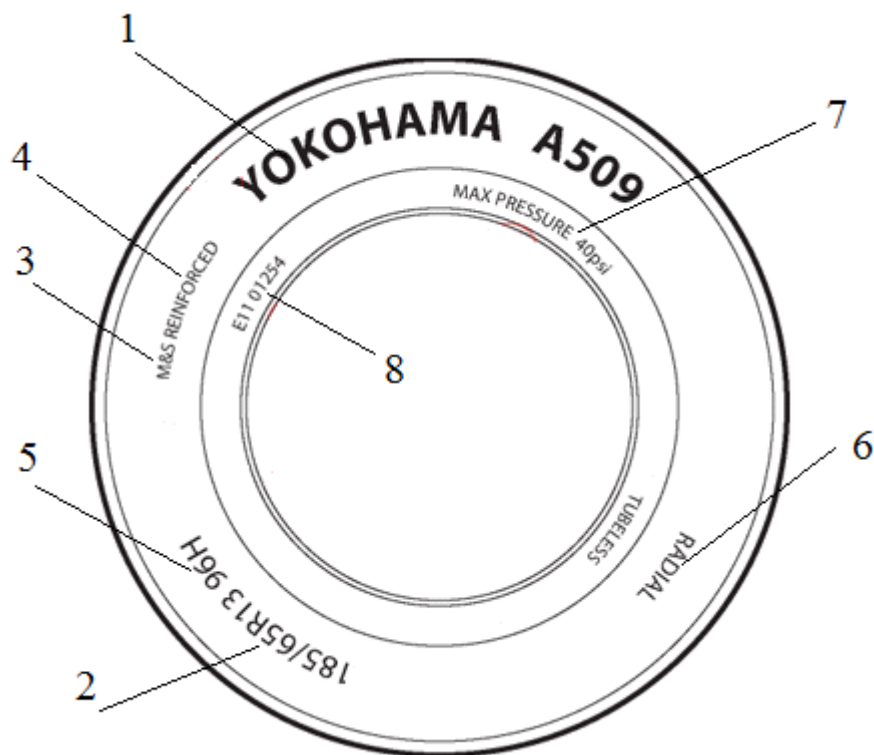
15 pav. Radialinės padangos konstrukcija: 1 – hermetizuojantis gumos sluoksnis; 2 – karkasas; 3 – guminė borto juosta; 4 – metalinis borto žiedas; 5 – šoninis gumos sluoksnis; 6 – brekeris; 7 – apsauginis sluoksnis; 8 – protektorius

2.4 Padangų žymėjimas

Ant automobilio padangos turi būti pateikiama tokia informacija (Valstybinė kelių transporto inspekcija, 2005) (žr. 16 pav.):

- Gamintojo pavadinimas arba prekės ženklas
- Padangos dydis
- Padangos struktūra
- Padangos greičio kategorijos simbolis
- Krovumo rodiklis
- Žieminėms padangoms įrašas „M+S” arba „M&S”
- Žodis „TUBELESS“ (BEKAMERĖ), jei padanga suprojektuota naudoti be kameros
- Žodis „REINFORCED“ („SUSTIPRINTA“), jei padanga yra sustiprinta

- Pagaminimo data trijų skaitmenų grupė: pirmi du rodo savaitę, o paskutinis – pagaminimo metus.
- Slėgio rodiklis „PSI“

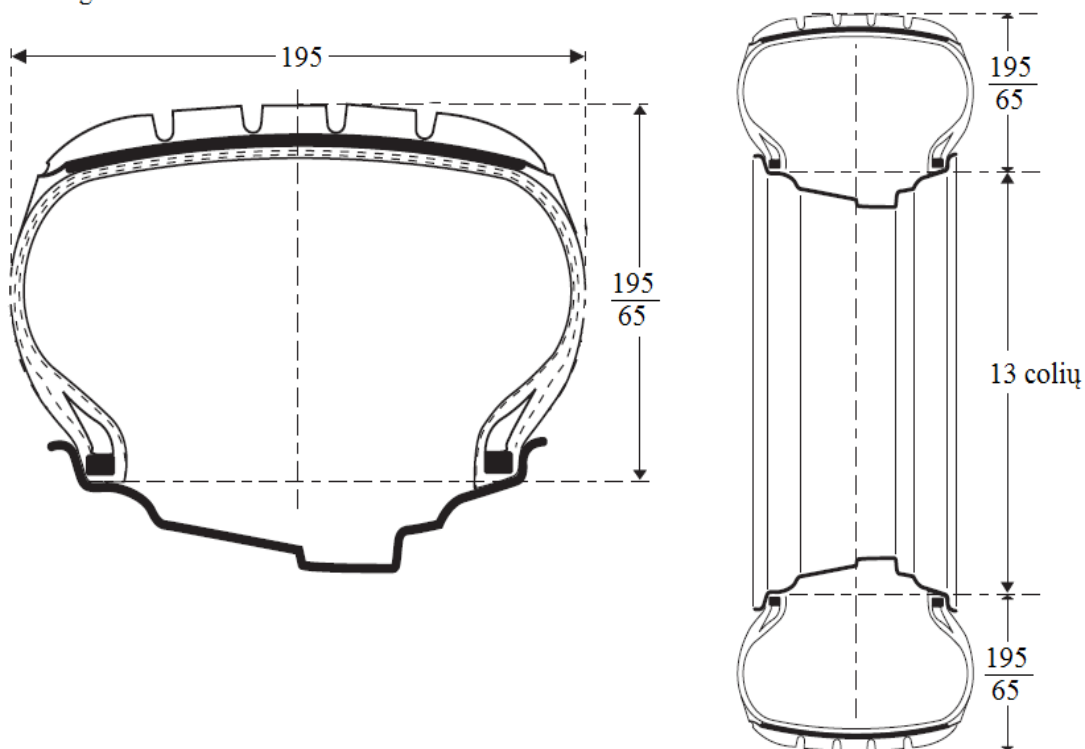


16 pav. Padangų žymėjimas: 1 – gamintojo pavadinimas arba prekės ženklas; 2 – padangos dydžio ir konstrukcijos žymėjimas; 3 – žymėjimas žieminiams padangoms; 4 – žymėjimas, jei padanga yra sustiprinta; 5 – padangos krovmuo ir greičio indeksai; 6 – padangos konstrukcijos žymėjimas; 7 – slėgio rodiklis „PSI“; 8 – atitiktis ECE reikalavimams žymėjimas

Padangos dydžio žymėjimas **185/65R13** reiškia (žr. 17 pav.):

- 185 – padangos vardinis skerspjūvio plotis S, mm
- 65 – skerspjūvio santykis Ra;
- R – radialinės konstrukcijos padanga. Radialinės konstrukcijos padangos žymimos raide R, o diagonalinės raide D arba nežymimos;
- 13 – ratlankio skersmuo d coliais, tačiau gali būti žymimas ir milimetrais;

Padangos išmatavimai **195/65R13**



17 pav. Padangos matmenų paaiškinimas

Žymėjimas **96H** reiškia:

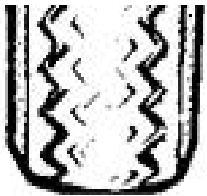
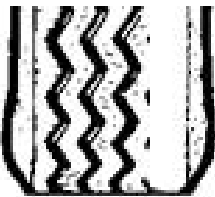
- 96 – krovumo rodiklis. Šiuo atveju padanga turi atlaikyti 710 kg. Krovumo rodiklio reikšmės (žr. 1 priedą);
- H – greičio indeksas. Šiuo atveju didžiausias leistinas padangos greitis 210 km/h. Greičio indeksų reikšmės (žr. 2 priedą);

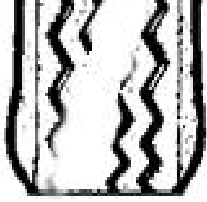
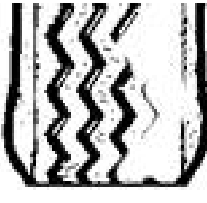
Slėgio rodiklis parodo gamintojo nustatytą maksimalų slėgį, kuris gali būti padangoje. Jis nurodomas PSI (Pounds per square inch). Santykis tarp slėgio rodiklio ir slėgio matavimų vienetų (žr. 3 priedą).

2.5 Padangų dėvėjimasis

Neteisingą padangų dėvėjimąsi gali sukelti neteisingas oro slėgis padangose, ratlankiui parinkta netinkamo dydžio padanga, blogai suderinta važiuoklės geometrija, ratlankio deformacija.

1 lentelė. Neteisingo padangų dėvėjimosi priežastys.

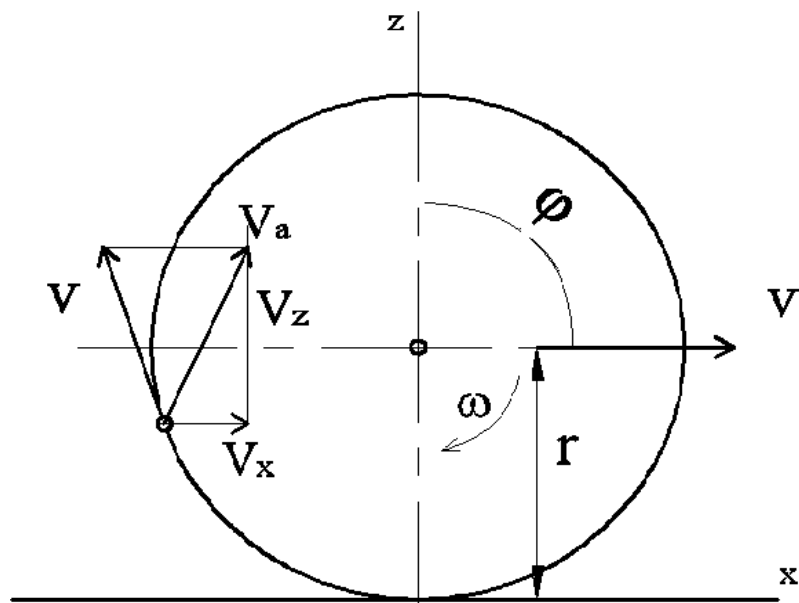
Problema		Priežastys
	Tolygus dėvėjimasis Visas protektoriaus paviršius dyla vienodai Normalus dėvėjimasis	
	Kraštų dėvėjimasis Abu protektoriaus kraštai dėvisi greičiau nei vidurys	Per mažas oro slėgis padangose Dažni staigūs posūkiai važiuojant dideliu greičiu Per siaura padanga ratlankiams Ilgai stovėjusios padangos
	Vidurio dėvėjimasis Protektoriaus vidinė dalis dėvisi greičiau nei kraštai	Per didelis oro slėgis padangose Per plati padanga ratlankiams Ilgai stovėjusios padangos
	Vieno krašto dėvėjimasis Vienas protektoriaus kraštas dėvisi neįprastai greitai	Nesuderinta važiuoklės geometrija (ratų išvrtimas) Ilgai stovėjusios padangos
	Vietinis dėvėjimasis Protektoriaus paviršiaus dalis (arba kelios dalys) dėvisi greičiau.	Nesureguliuotos judančios stabdžių sistemos dalys ar pakaba. Deformuotas ratlankis. Dažni staigūs greitėjimai ir stabdymai. Per mažas oro slėgis padangose.

	Įstrižas dėvėjimasis Greičiau besidėvinti protektoriaus dalis (arba dalys) yra įstrižo kryptiškumo	Nesureguliuotos judančios stabdžių sistemos dalys ar pakaba. Nesuderinta važiuoklės geometrija. Ilgai stovėjusios padangos.
	Plunksniškas dėvėjimasis Protektoriaus sritys arba juostos susidėvėjusios plunksniškėmis formomis.	Nesuderinta važiuoklės geometrija (blogas ratų suvedimas). Sulenktas ašies skersinis.

3. AUTOMOBILIO RATO KINEMATIKA IR DINAMIKA

3.1 Automobilio rato kinematika

Svarbiausi rato kinematiniai parametrai yra rato spindulys r , rato centro greitis v , kampinis sukimosi greitis ω ir sukimosi dažnis n (aps/s). (Gastila, 1978)



18 pav. Rato kinematikos schema.

Šie parametrai susieti tokiais ryšiais:

$$v = r\omega; \quad (2)$$

čia: v – rato centro greitis, m/s;

r – rato spindulys, m;

ω – kampinis sukimosi greitis, rad/s.

Taip pat greitis gali būti išreikštas taip:

$$v = 2\pi r n; \quad (3)$$

čia: n – rato sukimosi dažnis, aps/s.

Rato kampinis greitis išreiškiamas taip:

$$\omega = 2\pi n; \quad (4)$$

Rato taškas A juda pagal cikloidę, kurios lygtys yra:

$$x = r(\varphi - \sin\varphi); \quad (5)$$

$$z = r(1 - \sin\varphi). \quad (6)$$

Šias lygtis išdiferencijavę pagal laiką, rasime taško A greičio projekcijas į ašis x ir z :

$$V_x = \frac{dx}{dt} = r\omega(1 - \cos\varphi); \quad (7)$$

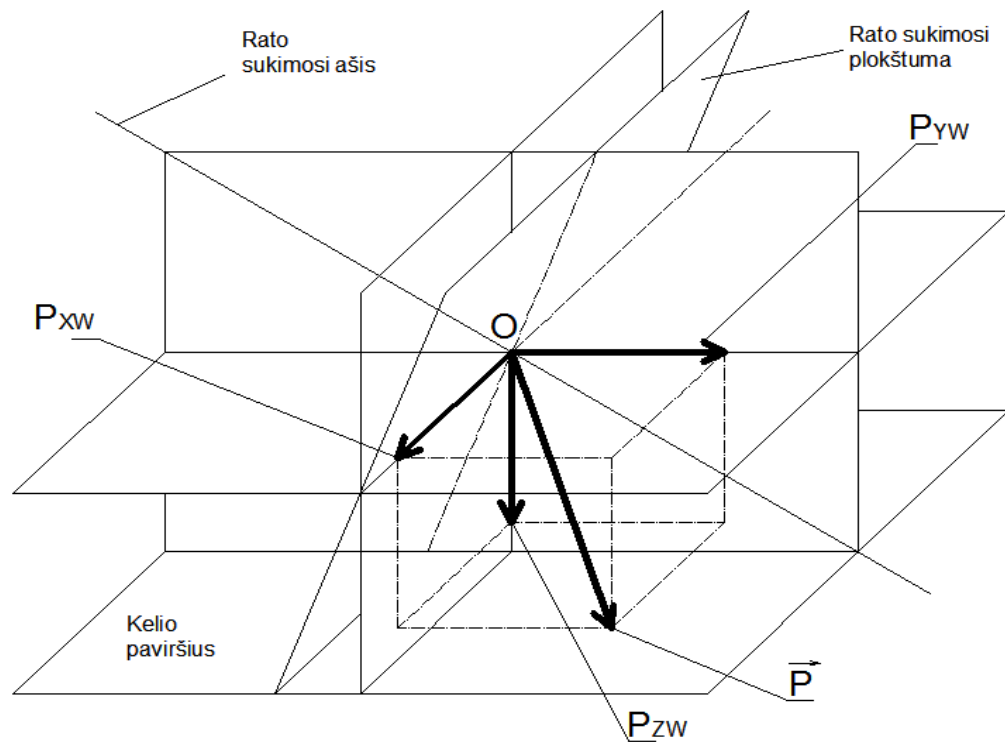
$$V_z = \frac{dz}{dt} = r\omega \cdot \sin\varphi. \quad (8)$$

Vektoriškai sudėję keliantį taško A greičius V_x ir V_z , gausime taško A greitį:

$$v_a = 2r\omega \cdot \sin \frac{\varphi}{2}; \quad (9)$$

3.2 Ratą veikiančios jėgos ir jų momentai

Ratas yra kelio ir automobilio ryšio elementas. Ratą veikia ir kelio, ir automobilio jėgos bei momentai. Ratą veikia automobilio apkrovos, kurių atstojamoji pridėta rato centre. Jėgos $\vec{P}$ projekcijos į rato koordinatinių sistemos ašis X_W , Y_W , Z_W atitinkamai vadinamos išilgine P_{XW} , skersine P_{YW} , ir vertikaliąja P_{ZW} rato apkrovomis (Mitunevičius, 1999) (žr. 19 pav.).



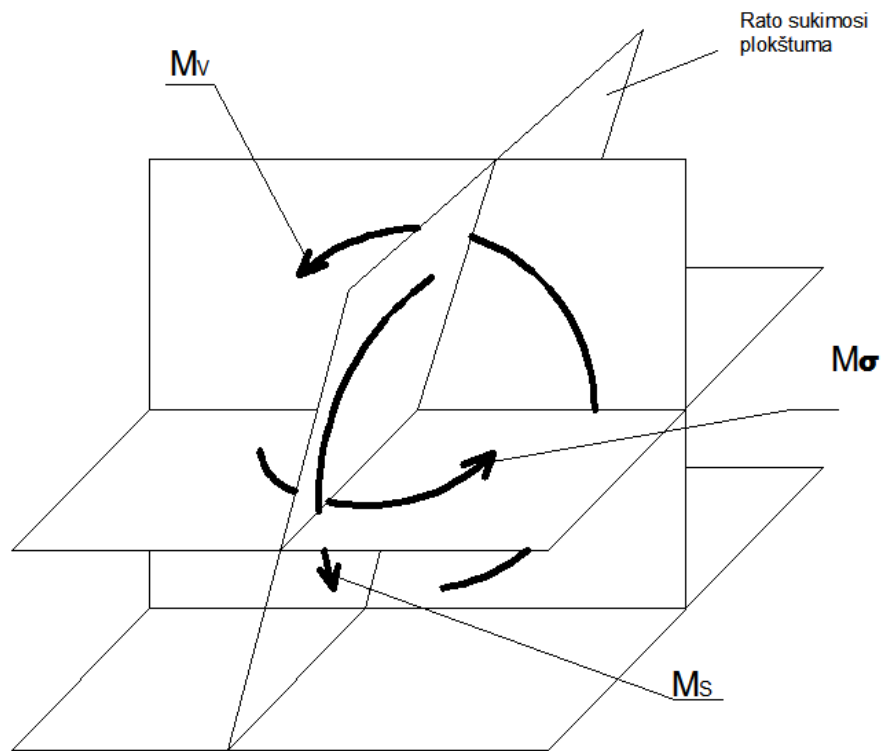
19 pav. Automobilio ratą veikiančios apkrovos

Taip pat ratą gali veikti šie automobilio momentai (žr. 20 pav.):

M_S – rato sukimo arba stabdymo momentas;

M_δ – rato pasukimo momentas;

M_V – rato vertimo momentas.



20 pav. Automobilio ratą veikiantys momentai

Minėtos jėgos ir momentai sukelia kelio reakcijas. Šios reakcijos gali būti redukuotos į atstojamąją jėgą $\vec{F}_w$ ir atstojamąjį momentą $\vec{M}_w$.

Atstojamosios jėgos $\vec{F}_w$ projekcijos į ašis X_w , Y_w ir Z_w (žr. 21 pav.) vadinamos ir žymimos:

išilgine kelio reakcija F_{Xw} ;

skersine kelio reakcija F_{Yw} ;

statmena kelio reakcija F_{Zw} .

Atstojamojo momento $\vec{M}_w$ projekcijos į rato koordinatinių sistemos ašis yra:

Rato vertimo momentas M_{Xw} ;

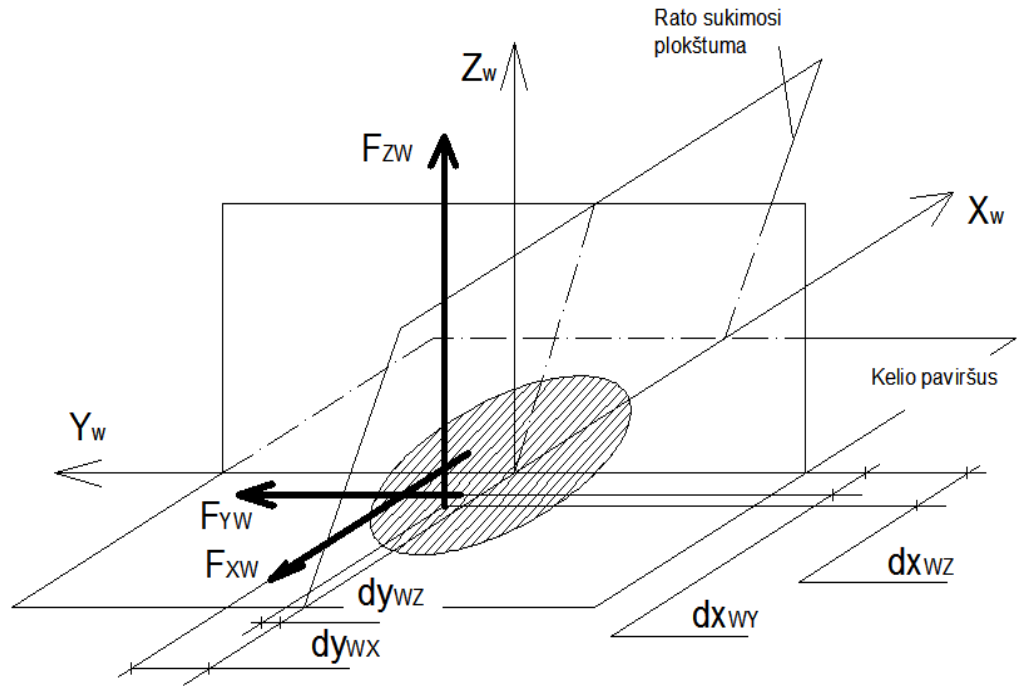
Rato riedėjimo varžos momentas M_{Yw} ;

Rato stabilizuojamasis momentas M_{Zw} .

Jei ratas stovi ir yra vertikalus ($\varepsilon_w = 0$), tai visos trys kelio reakcijos F_{Xw} , F_{Yw} , F_{Zw} yra pridėtos geometriniame rato kontakto centre. Šiuo atveju kelio reakcijų atstojamasis momentas $\vec{M}_w = 0$.

Jei rato išvrtimo kampas $\varepsilon_w \neq 0$, statmena kelio reakcija į ratą persikelia skersine kryptimi atstumu dy_{wz} (žr. 21 pav.), todėl yra sukeliamas vertimo momentas:

$$M_{Xw} = F_{Zw} \cdot dy_{wz} \quad (10)$$



21 pav. Automobilio ratą veikiančios atstojamosios jėgos

Riedančio rato reakcija F_{ZW} persikelia atstumu dx_{wz} (į priekį stumiamam, laisvajam, neutraliajam ir varančiajam ratui dėl histerezės nuostolių padangoje ir slydimo; stabdomojo rato vertikali reakcija gali persikelti atgal judėjimo krypties atžvilgiu (žr. 21 pav.), todėl sukeliamas riedėjimo varžos momentas:

$$M_{YW} = F_{ZW} \cdot dx_{wz} \quad (11)$$

Jei riedantį ratą veikia skersinė apkrova P_{YW} , tai ratas rieda įstrižai. Šiuo atveju skersinė kelio reakcija į ratą F_{YW} persikelia atgal geometrinio rato kontakto, centro atžvilgiu atstumu dx_{wy} (žr. 3.4 pav.) ir sukelia stabilizuojantį momentą:

$$M_{ZW1} = F_{YW} \cdot dx_{wy} \quad (12)$$

Be to, jei riedantį ratą veikia išilginė reakcija F_{XW} , kuri yra pridėta geometrinio kontakto centro atžvilgiu atstumu dy_{wx} , tai sukeliamas papildomas stabilizuojantis momentas:

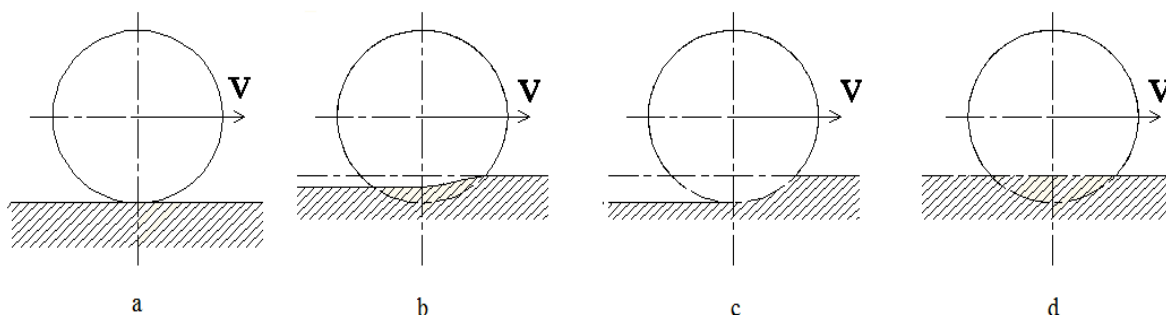
$$M_{ZW2} = F_{XW} \cdot dy_{wx} \quad (13)$$

Bendrasis rato stabilizuojantis momentas:

$$M_{ZW} = M_{ZW1} + M_{ZW2} \quad (14)$$

3.3 Padangos ir kelio deformacijos

Automobilio ratas, remdamasis į kelio paviršių deformuojasi ir deformuoja kelią. Daugiausiai deformuojasi automobilio padanga, tuo tarpu kietos kelio dangos deformuojasi labai nežymiai. Padangos ir kelio deformacijos atvejai (žr. 22 pav.).



22 pav. Padangos ir kelio deformacijos atvejai: a – padanga ir kelias nesideformuoja; b – deformuojasi ir padanga, ir kelias; c – deformuojasi tik kelias; d – deformuojasi padanga.

Pirmasis atvejis atitinka idealiai kietą nesideformuojančią padangą ir nesideformuojantį kelią. Realiai tokio atvejo nebūna. Antrasis atvejis atitinka tamprią padangos ir plastišką kelio deformacijas. Šis atvejis atitinka rato su padanga riedėjimą minkštu keliu. Trečiuoju atveju plastiškai deformuojasi tik kelias. Tokį atvejį atitinka metalinio rato judėjimas minkšta kelio danga. Paskutinis atvejis labiausiai tinka nagrinėjant automobilio rato judėjimą keliu.

Pagal (Rhyne 2005), vertikali padangos deformacija priklauso nuo vertikalios padangos standumo. Vertikalus standumas priklauso nuo padangoje esančio slėgio ir padangos matmenų. Vertikalus padangos standumas apskaičiuojamas pagal:

$$K_z = 0,00028 \cdot P \cdot W \cdot D + 3,45; \quad (15)$$

čia: K_z – vertikalus standumas, kg/mm;

P – padangoje esantis slėgis, kPa;

W – padangos sąlyčio su kelio danga plotis, mm;

D – padangos išorinis skersmuo, mm.

Padangos sąlyčio su kelio danga plotis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$W \approx (-0,004 \cdot Ra + 1,03) \cdot S; \quad (16)$$

čia: Ra – padangos nominaliosios išraiškos santykis;

S – padangos skerspjūvio plotis, mm.

Ištačius padangos sąlyčio pločio išraišką į formulę (15), gauname:

$$K_Z = 0,00028 \cdot P \sqrt{(-0,004 \cdot Ra + 1,03) \cdot S \cdot D} + 3,45; \quad (17)$$

Padangos išorės skersmuo skaičiuojamas pagal formulę:

$$D = \frac{S \cdot Ra}{50} + d; \quad (18)$$

čia: d – vardinis ratlankio skersmuo, mm.

Į formulę (17) ištačius padangos išorės skersmens išraišką, gauname:

$$K_Z = 0,00028 \cdot P \sqrt{(-0,004 \cdot Ra + 1,03) \cdot S \left(\frac{S \cdot Ra}{50} + d \right)} + 3,45; \quad (19)$$

Panaudojus padangos vertikalios standumo koeficientą K_Z , galima apskaičiuoti bet kokių matmenų padangos vertikalią deformaciją. Deformacija priklauso nuo automobilio ratą veikiančios apkrovos. Deformacija apskaičiuojama pagal formulę:

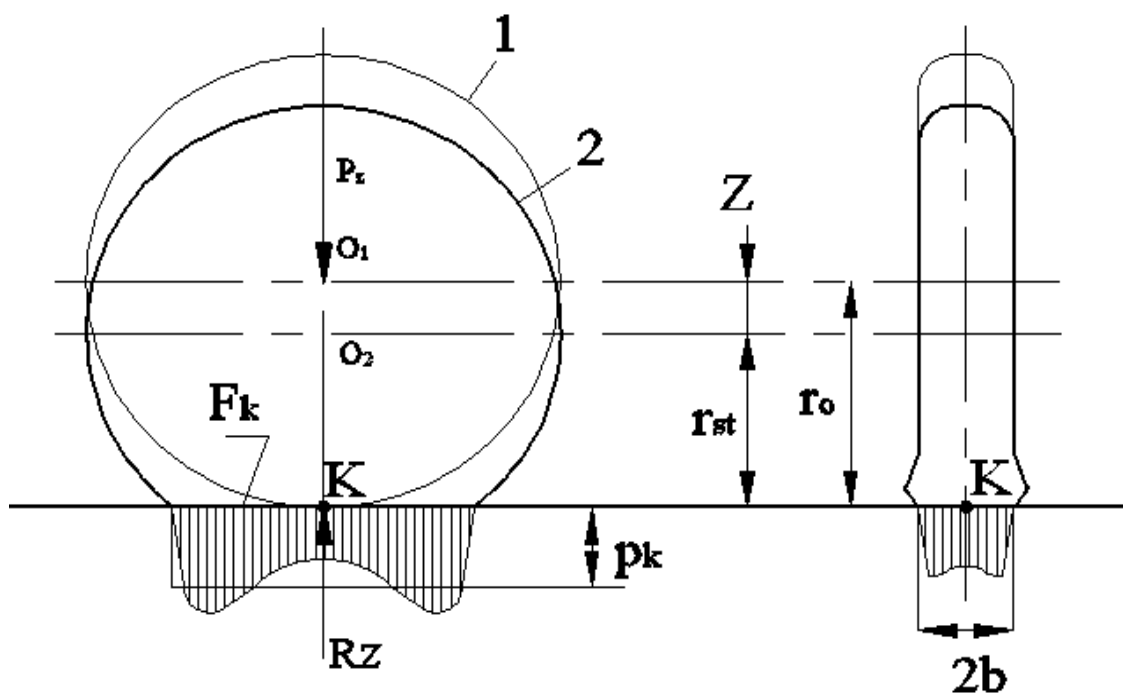
$$d_{DEF} = \frac{L}{K_Z}; \quad (20)$$

čia: L – rato apkrova, kg

K_Z – padangos vertikalios standumo koeficientas.

3.4 Kelio reakcijos į stumiamą ratą

Ratas 1, kurio spindulys yra r_o , apkrautas keliui statmena jėga P_z . Dėl tampriosios orinės padangos deformacijos ratas užims padėtį 2, o jo centras O_1 pasistums į tašką O_2 (žr. 23 pav.). Jėga P_z pasiskirsto visame kontakto plotelyje. Kadangi padangos sienelės veikia kaip atramos, tai jėga P_z kontakte pasiskirsto netolygiai, bet simetriškai vertikalių ašių, einančių per rato centrą, atžvilgiu. Kelio reakcija, visų kontakte išskirstytų jėgų suma $R_z = P_z$ eina per geometrinį kontakto centrą K ir per rato centrus O_2 ir O_1 .



23 pav. Vertikalaus slėgio pasiskirstymas padangos kontakte su keliu

Jei jėgos P_z deformuotas ratas apkrautas horizontaliai veikiančia jėga P_x , tai padangos ir kelio kontakte dėl trinties atsiranda horizontalios, bet priešingos jėgai P_x krypties reakcijos. Šių jėgų suma R_x pridėta kontakto centre K (žr. 23 pav.). Ši jėga vadinama tangentine kelio reakcija.



38

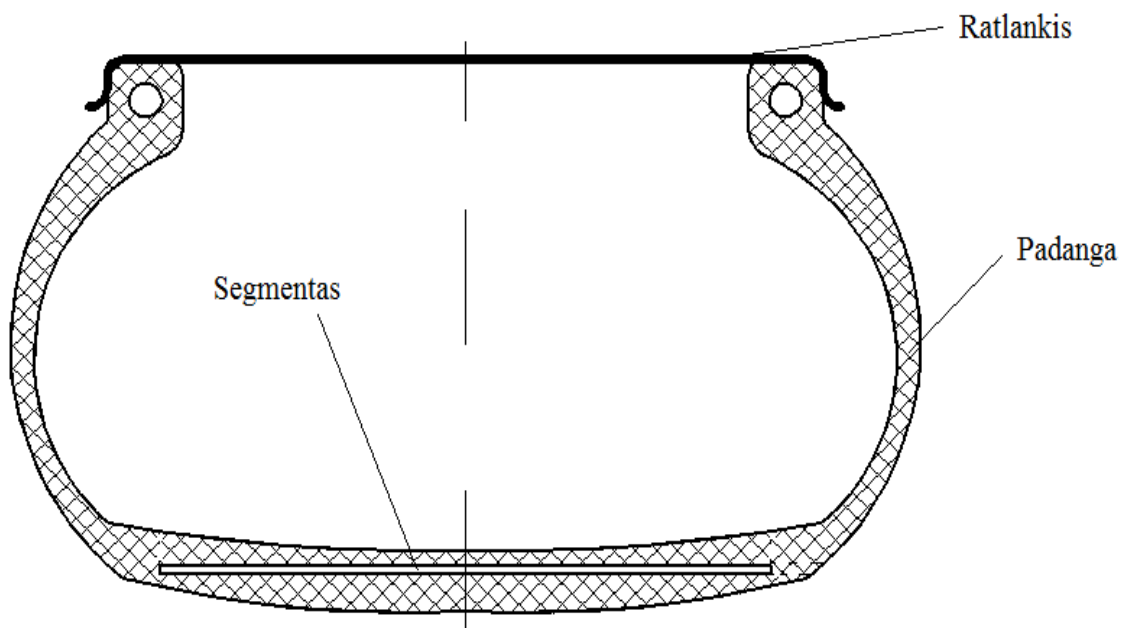
4. RATO PROTOTIPO SU ENERGIJOS KAUPIKLIU TEORINIAI TYRIMAI

4.1 Rato su energijos kaupikliu veikimo principas

Rato su energijos kaupikliu tyrimo tikslas yra sukurti naują ratą, kuris gebėtų gaminti energiją ir ją kaupti savyje ar automobilyje. Apžvelgęs patentus, kuriuose aprašomi ratai su energijos kaupikliais, nusprendžiau, kad geriausias rato elementas, kurį panaudojant būtų galima kaupti energiją, yra padanga. Padanga pasirinkta todėl, kad ji pasižymi tokiomis savybėmis:

1. Padanga, kontakte su kelio danga, tampriai deformuojasi.
2. Dėl veikiančių išcentrinių jėgų ir padangos vidinio slėgio padanga atgauna prieš kontaktą buvusią formą.

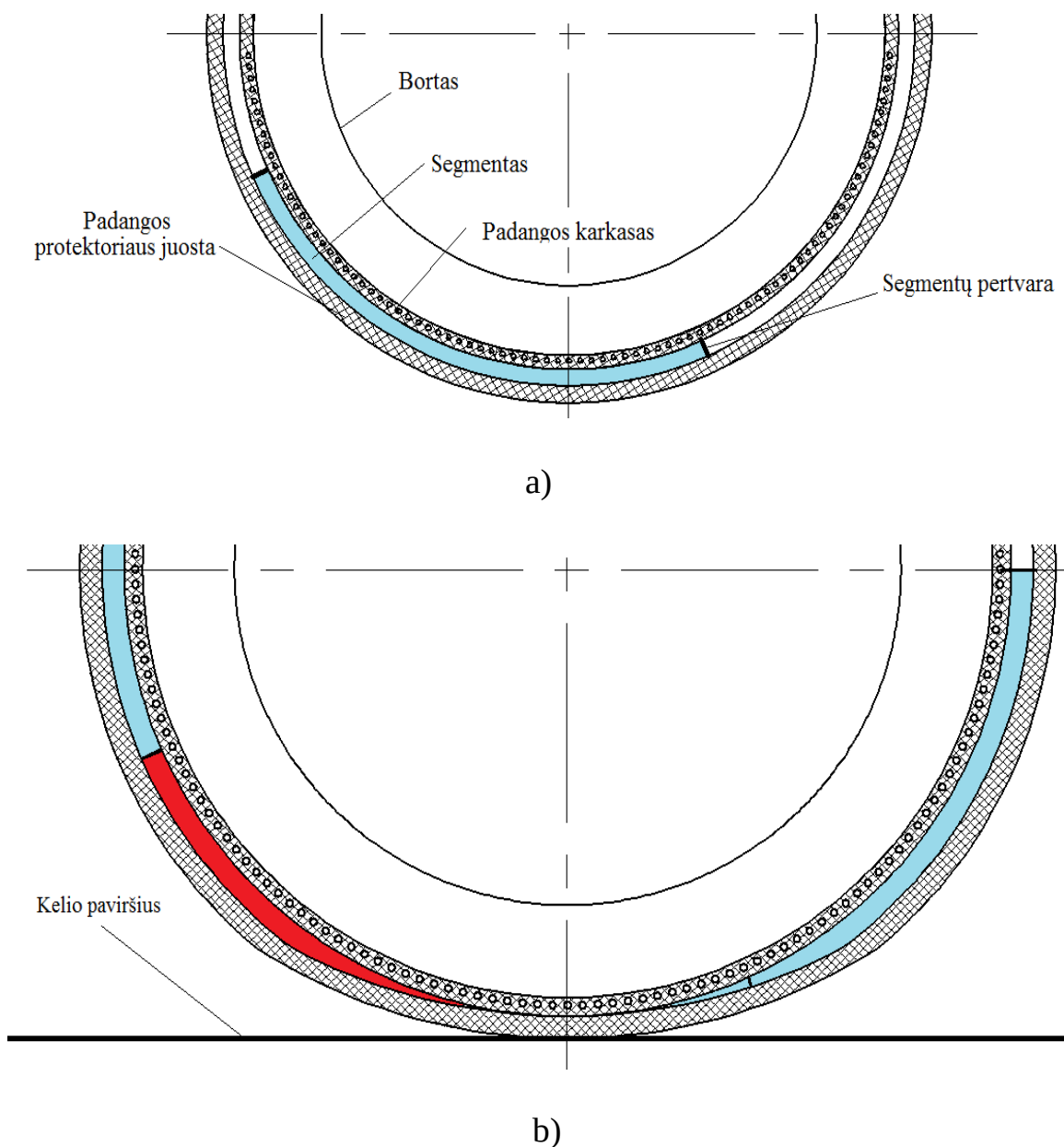
Padangos su energijos kaupikliu prototipas yra standartinė automobilio pneumatinė padanga su ertme, juosiančia padangos gumos sluoksnį tarp padangos karkaso ir protektoriaus. Rato pjūvis pavaizduotas 25 pav. Visa ertmė sudalinta į segmentus, esančius vienas paskui kitą.



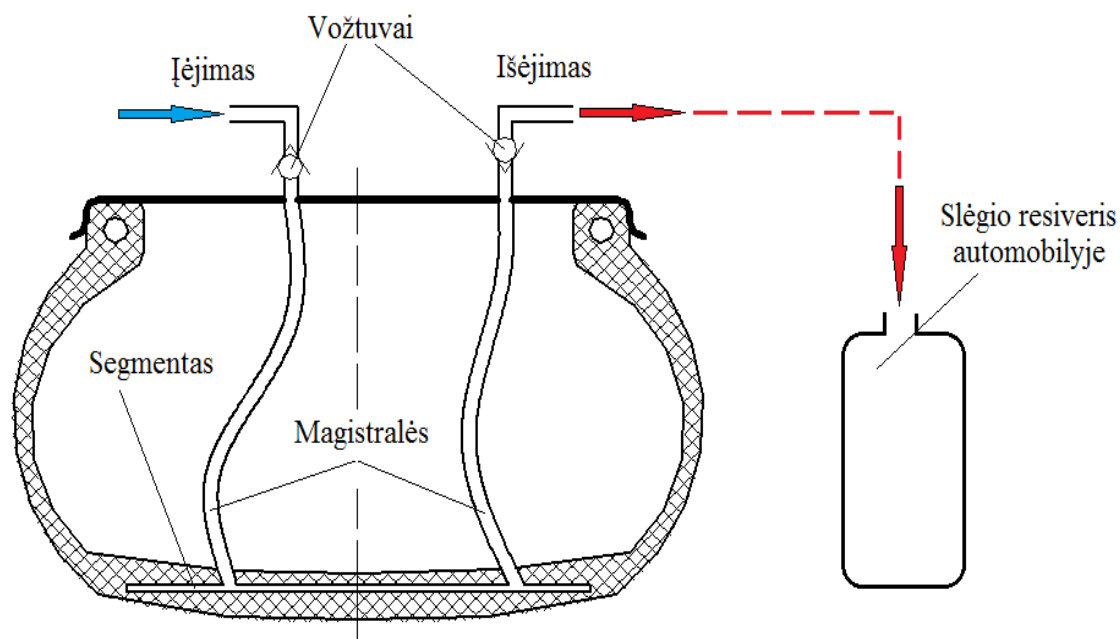
25 pav. Padangos prototipo pjūvis

Rato su energijos kaupikliu veikimo principas pagrįstas segmento tūrio mažėjimu ir slėgio didėjimu jame. Kai rato padanga nekontaktuoja su kelio paviršiumi segmentas užima tūrį V (žr. 26 pav. a). Kai padanga kontaktuoja su kelio danga, segmentas suspaudžiamas, tada sumažėja jo tūris ir padidėja oro slėgis jame (žr. 26 pav. b). Kiekvienas segmentas turi įėjimo ir išėjimo magistrales (žr. 27 pav.). Išėjimo magistralė jungia segmentą su slėgio resiveriu, o įėjimo – su atmosferos oru. Suslėgtas oras, per išėjimo magistralę, išstumiamas į resiverį. Slėgiui iš resiverio atgal į segmentą

neleidžia grįžti atbulinis vožtuvas. Padangai išėjus iš kontakto, segmento išorinę sienelę veikia išcentrinė jėga, taip didėja segmento tūris, jame susidaro oro išretėjimas ir per įėjimo magistralę patenka atmosferos oras.



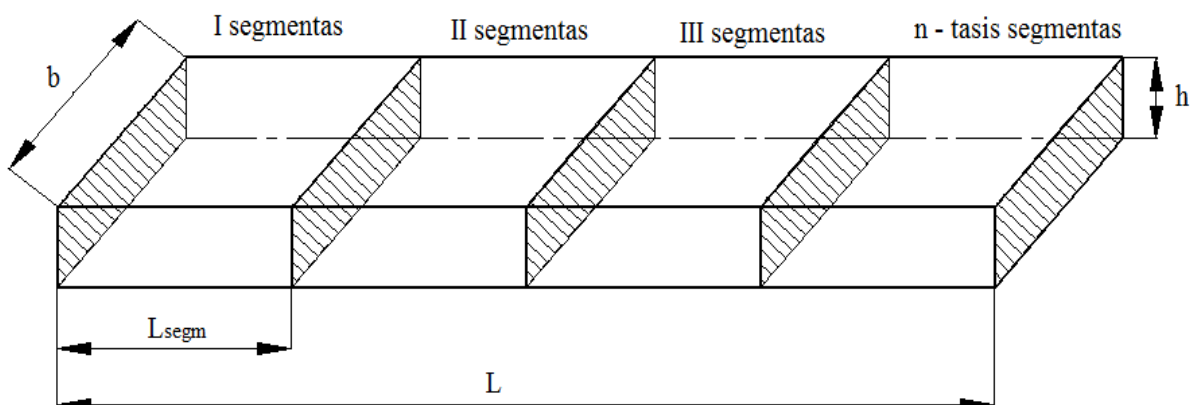
26 pav. Padangos su energijos kaupikliu pjūvis: a) kai ratas nekontaktuoja su kelio danga; b – kai ratas kontaktuoja su kelio danga



27 pav. Padangos su energijos kaupikliu veikimo schema

4.2 Rato su energijos kaupikliu matematinis modelis

Visą tūrį, juosiantį padangą, nagrinėjame supaprastintai, kaip stačiakampio formos tūrinį elementą, sudalintą pertvaromis į segmentus (žr. 28 pav.).



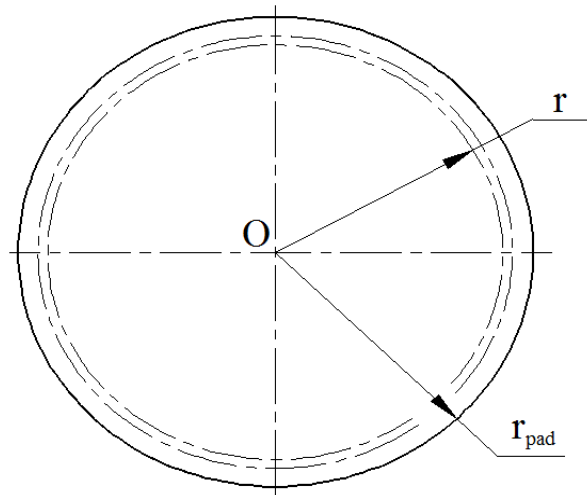
28 pav. Tūris, sudalintas į segmentus: b – segmento skerspjūvio plotis; h – segmento skerspjūvio aukštis; L_{segm} – segmento ilgis; L – bendras n segmentų ilgis

Svarbiausias segmento parametras yra tūris V_{segm} . Segmentų, juosiančių padangos karkasą, tūrį skaičiuoju supaprastintai, kaip stačiakampio formos tiesų tūrinį elementą.

Visų segmentų ilgis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$L = 2\pi r; \quad (21)$$

čia: r – spindulys nuo rato sukimosi ašies O iki segmento, m; (žr. 29 pav.).



29 pav. Segmento ir padangos spinduliai: r – segmento spindulys; r_{pad} – padangos spindulys

Vieno segmento ilgis skaičiuojamas pagal formulę:

$$L_{\text{segm}} = \frac{L}{n_{\text{segm}}} = \frac{2\pi r}{n_{\text{segm}}}; \quad (22)$$

čia: L – visų segmentų ilgis, m;

L_{segm} – vieno segmento ilgis, m;

n_{segm} – segmentų skaičius.

Vieno segmento tūris skaičiuojamas pagal formulę:

$$V_{\text{segm}} = L_{\text{segm}}bh; \quad (23)$$

čia: V_{segm} – vieno segmento tūris, m³;

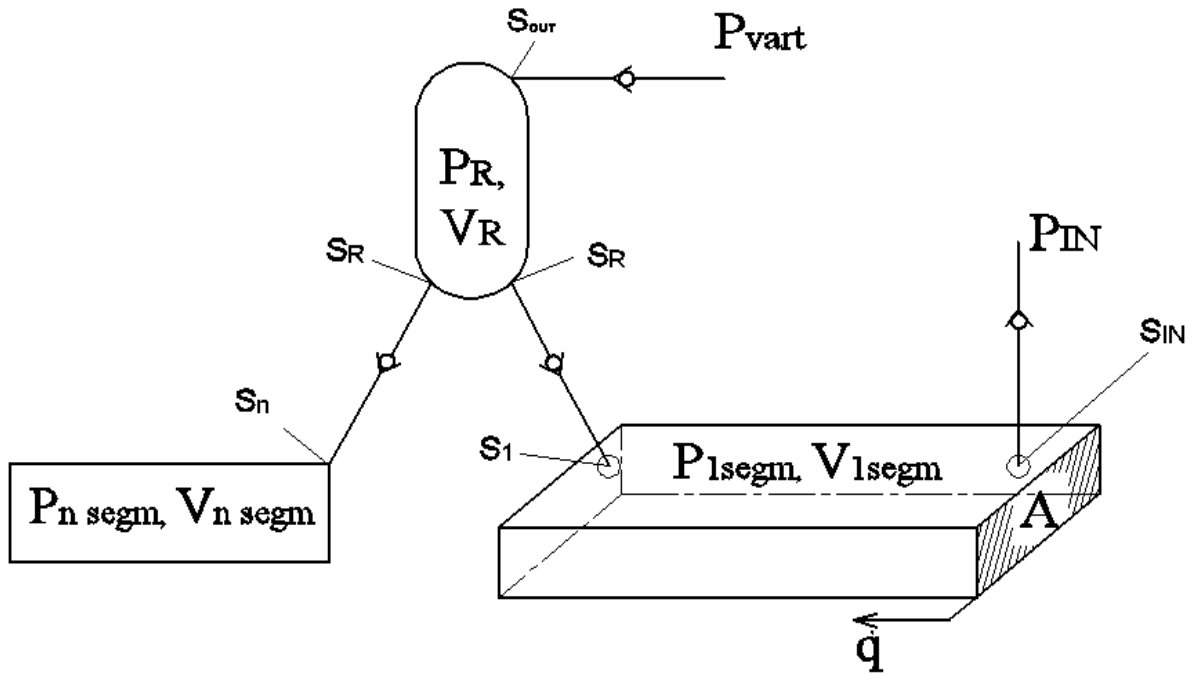
L_{segm} – vieno segmento ilgis, m;

b – segmento skerspjūvio plotis, m;

h – segmento skerspjūvio aukštis, m.

Į segmento tūrio išraišką įrašę formulės 4.2 išraišką gauname:

$$V_{\text{segm}} = \frac{2\pi r h b}{n_{\text{segm}}}; \quad (24)$$



30 pav. Segmentų, sujungtų su resiveriu, matematinis modelis

Slėgio kitimas segmente aprašomas lygtimi (Bogdevičius 2003):

$$\dot{P}_{1\text{segm}} = \frac{\gamma R T}{V_{1\text{segm}} - A \cdot q} [G_{\text{IN}} - G_{1R}] - \frac{\gamma P_{1\text{segm}}}{V_{1\text{segm}} - A \cdot q} (-A \cdot \dot{q}); \quad (25)$$

čia: γ – adiabatės rodiklis orui lygus 1,41;

R – universalioji dujų konstanta;

T – absoliučioji temperatūra;

V_{segm} – segmento tūris;

A – segmento skerspjūvio plotas;

$\dot{q}$ – greitis;

G_{1R} – dujų masės debitas išėjime;

G_{IN} – dujų masės debitas įėjime;

P_{1segm} – slėgis.

Dujų masės debitas segmento įėjime ir išėjime:

$$G_{1R} = \begin{cases} \mu_{1R} \cdot S_1 \cdot P_{1segm} \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{1}{RT}} \cdot \varphi \left(\sigma = \frac{P_R}{P_{1segm}} \right), & \text{kai } P_{1segm} \geq P_R; \\ 0, & \text{kai } P_R \geq P_{1segm} \end{cases} \quad (26)$$

$$G_{IN} = \begin{cases} \mu_{IN} \cdot S_{IN} \cdot P_{IN} \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{1}{RT}} \cdot \varphi \left(\sigma = \frac{P_{1segm}}{P_{IN}} \right), & \text{kai } P_{IN} \geq P_{1segm}; \\ 0, & \text{kai } P_{1segm} \geq P_{IN} \end{cases} \quad (27)$$

$$\varphi(\sigma) = \begin{cases} \sqrt{\sigma^{2/\gamma} - \sigma^{(\gamma+1)/\gamma}}, & \sigma_{kr} \leq \sigma \leq 1 \\ \sqrt{\sigma_{kr}^{2/\gamma} - \sigma_{kr}^{(\gamma+1)/\gamma}}, & 0 \leq \sigma \leq \sigma_{kr} \end{cases}; \quad (28)$$

$$\sigma_{kr} = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}; \quad (29)$$

čia: μ – sąnaudos koeficientas;

S_1 – vamzdelio skerspjūvio plotas išėjime;

S_{IN} – vamzdelio skerspjūvio plotas įėjime;

P_{1segm} – slėgis segmente;

P_{IN} – įėjimo slėgis;

σ_{kr} – krizinis slėgių santykis.

Slegio kitimas resivoryje aprašomas lygtimi:

$$\dot{P}_R = \frac{\gamma RT}{V_R} \cdot (\sum_{i=1}^n G_i - G_{ROUT}), \quad i=1, \dots, n \quad (30)$$

čia: V_R – slėgio resiverio tūris;

G_i – i – segmento dujų masės debitas resiverio įėjime.

i – segmento dujų masės debitas resiverio įėjime:

$$G_i = \begin{cases} \mu_i \cdot S_i \cdot P_{i \text{ segm}} \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{1}{RT}} \cdot \varphi \left(\sigma = \frac{P_R}{P_{i \text{ segm}}} \right), & \text{kai } P_{i \text{ segm}} \geq P_R; \\ 0, & \text{kai } P_R \geq P_{i \text{ segm}} \end{cases} \quad (31)$$

čia: S_i – vamzdelio skerspjūvio plotas resiverio įėjime;

$P_{i \text{ segm}}$ – slėgis segmente.

Dujų masės debitas resiverio išėjime:

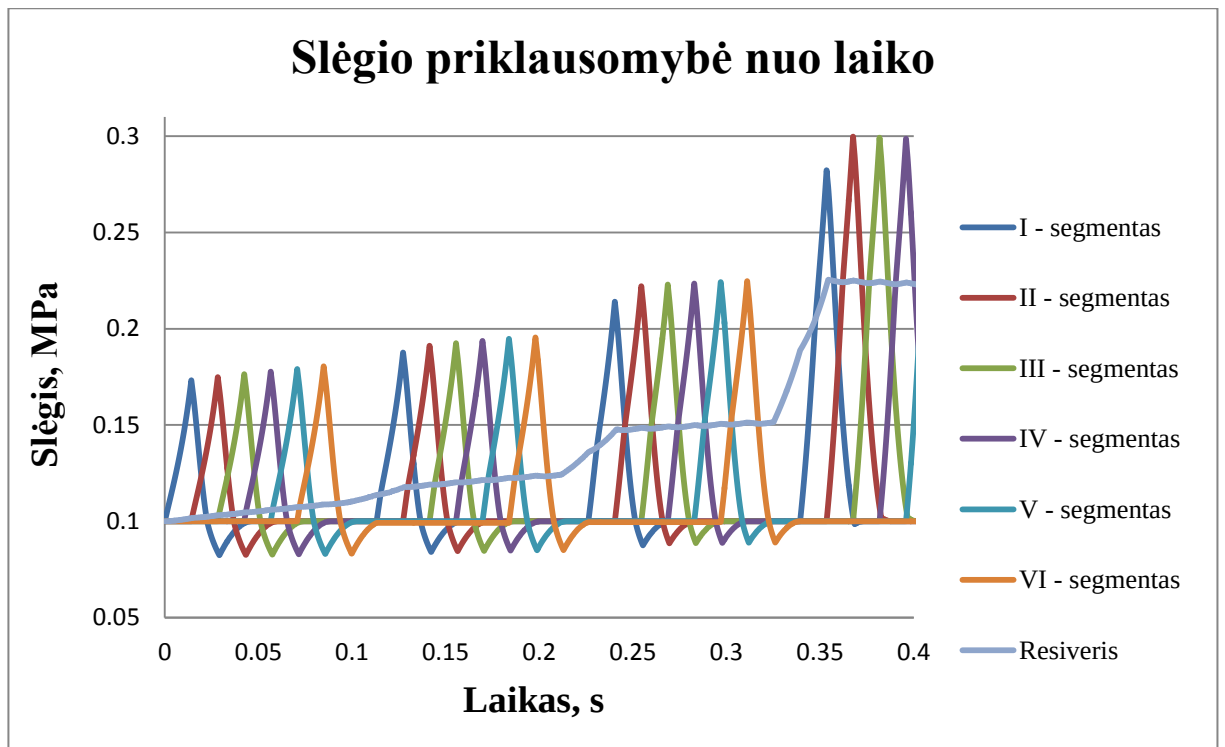
$$G_{R \text{ OUT}} = \begin{cases} \mu_{R \text{ OUT}} \cdot S_{R \text{ OUT}} \cdot P_R \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{1}{RT}} \cdot \varphi \left(\sigma = \frac{P_{\text{OUT}}}{P_R} \right), & \text{kai } P_R \geq P_{\text{OUT}}; \\ 0, & \text{kai } P_{\text{OUT}} \geq P_R \end{cases} \quad (32)$$

4.3 Matematinio modeliavimo metu gauti rezultatai

Sudarytas matematinis modelis buvo skaičiuojamas su programa „FORTRAN“. Skaičiavimai buvo atlikti su tokiais nustatytais parametrais:

- Temperatūra – 20 °C;
- Aplinkos slėgis – 0,1MPa;
- Resiverio tūris – 10 l.;
- Rato spindulys – 0,3 m.;
- Segmentų skaičius rate – 6;
- Automobilio judėjimo greitis – 60 km/h.

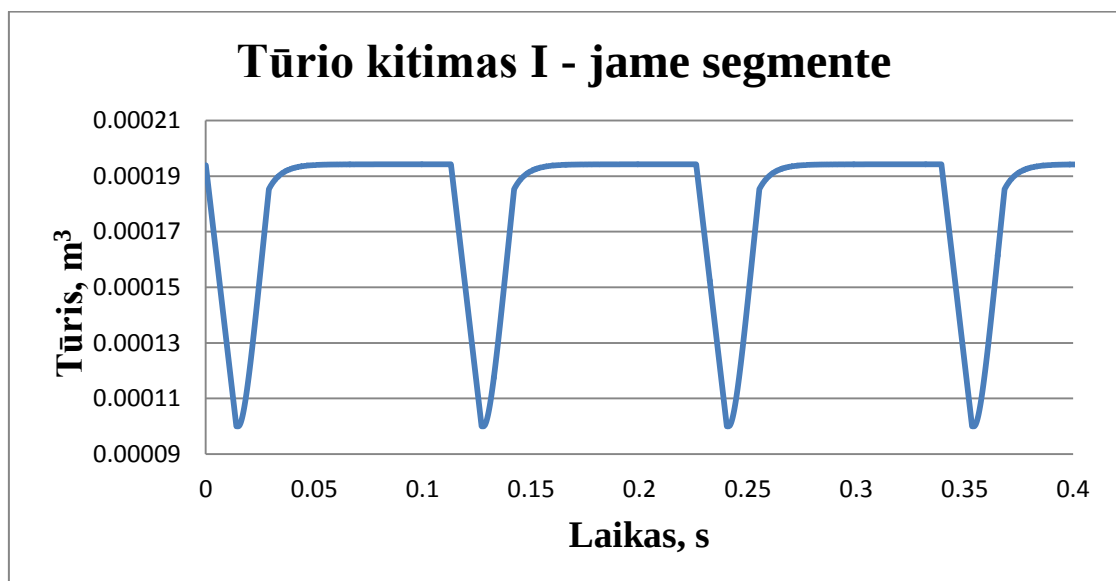
31 paveiksle parodoma atskirų segmentų ir resiverio slėgių kitimas pagal laiką. Matome, kad visų elementų slėgio kitimas prasideda nuo 0,1 MPa. Tai yra todėl, kad visi sementai užsipildo aplinkos slėgiu. Toliau, mažėjant segmento tūriui (žr. 32 pav.), slėgiui segmente augant iki maksimalios ribos yra atidarytas išėjimo magistralės vožtuvas ir oras stumiamas į resiverį. Pasiekus aukščiausią tašką (didžiausias slėgis segmente), slėgis pradeda kristi, nes segmentas išeina iš kontakto su kelio danga. Segmento tūriui atsistatant, matome, kad slėgio kreivė nukrenta žemiau atmosferos slėgio ribos. Tai įvyksta todėl, kad segmento tūris atsistatinėja greičiau, nei, kad per įėjimo magistralę spėja patekti atmosferos oras. Tačiau praėjus šiek tiek laiko, slėgis segmente susilygina su atmosferos slėgiu.



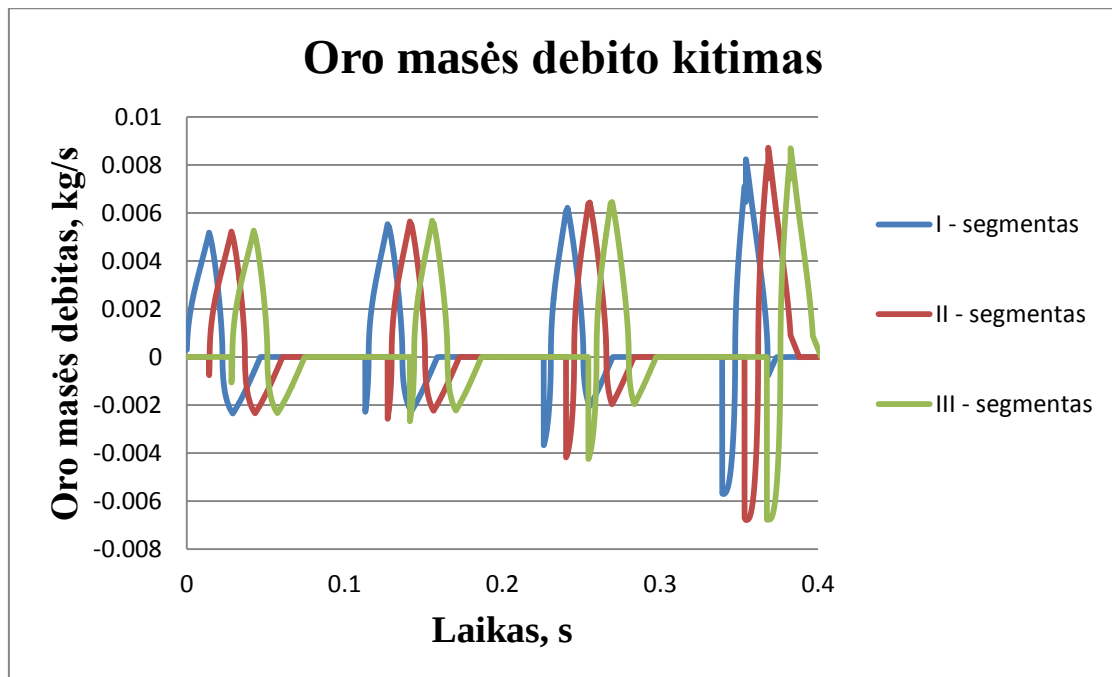
31 pav. Slėgio priklausomybė nuo laiko, automobiliui judant 60 km/h greičiu

Taip pat pastebime, kad kiekviename segmente gauname vis didesnę slėgį. Taip yra todėl, kad prieš tai kontakte buvęs segmentas, sukelia slėgį resiveryje.

32 paveiksle matome kaip kinta I – ojo segmento tūris. Segmentui pradedant kontaktuoti su kelio danga, grafike matome tūrio mažėjimą. Kai visas segmentas pilnai suspaudžiamas, matome kokį minimalų tūrį jis užima. Taip pat pastebime, kad tūris atsitatinėja ne tiesiškai, tai vyksta todėl, kad jo atsistatymą varžo į segmentą traukiamas aplinkos oras.

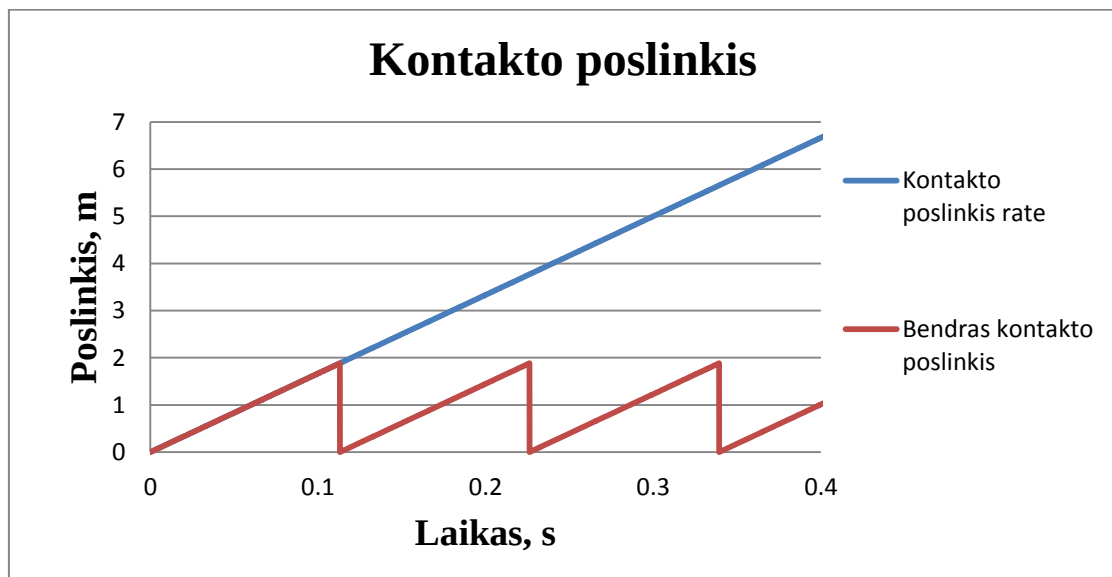


32 pav. Tūrio kitimas I – jame segmente



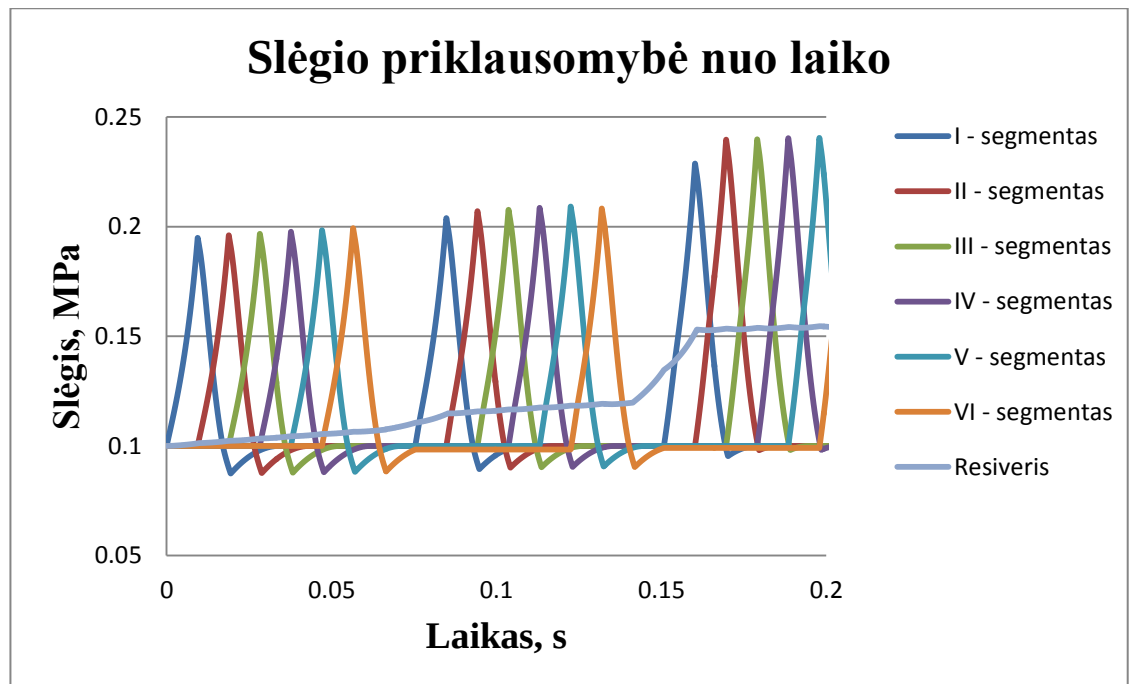
33 pav. Oro masės debito kitimas I, II ir III segmentuose

34 paveiksle, galime stebėti kontakto koordinatės kitimą laike. Raudonos spalvos laužtė rodo kontakto koordinatės kitimą rate. Matome, kad pradžioje koordinatė kinta tiesiškai. Pasiekusi maksimumą ji vėl pradeda kisti nuo 0. Atkarpa nuo 0 iki maksimalios reikšmės yra lygi visų segmentų išdėstyto apskritimu ilgiui, kitaip tariant $L = 2\pi r$. Mėlynos spalvos tiesė rodo bendrą kontakto koordinatės poslinkį.



34 pav. Kontakto poslinkis rate ir bendras poslinkis

Antrąjį skaičiavimą atliekame padidinę automobilio greitį iki 90 km/h. 35 paveiksle matome slėgio kitimą segmentuose ir resiveryje.



35 pav. Slėgio priklausomybė nuo laiko, automobiliui judant 90 km/h greičiu

Galime pastebėti, kad padidinus automobilio greitį, per vieną rato apsisukimą, resivoryje sukaupiamas didesnis slėgis, nei pirmuoju bandymu. Taip yra todėl, kad padidėjus automobilio greičiui, didėja tūrio kitimo greitis segmente.

IŠVADOS

1. Ratais su energijos kaupikliais pradėta domėtis gana seniai. Seniausias, mano rastas, įrenginys užpatentuotas dar 1972 metais. Ši idėja plėtojama iki dabartinių laikų. Populiariausia energijos rūšis, kuri kaupiama panaudojant automobilio ratą yra elektros energija.
2. Atlikus patentų analizę, nutarta sukurti rato modelį, kuris galėtų kaupti oro slėgio energiją.
3. Sukurtas rato su energijos kaupikliu matematinis modelis, kuris leidžia išsamiai nagrinėti, kaip kinta resiveryje kaupiamas slėgis, slėgis atskiruose segmentuose bei segmentų tūris.
4. Skaičiavimai buvo atlikti su tokiais nustatytais parametrais: temperatūra – 20 °C; aplinkos slėgis – 0,1 MPa; resiverio tūris - 10 l.; rato spindulys – 0,3 m.; segmentų skaičius rate – 6; automobilio judėjimo greitis a) 60 km/h; b) 90 km/h.
5. Atlikus skaičiavimus gautos kreivės vaizduojančios slėgio kitimą resiveryje ir atskiruose segmentuose.
6. Palyginus slėgius segmentuose per vieną rato apsisukimą važiuojant 60km/h ir 90km/h greičiu, matome, kad pirmo suspaudimo slėgis yra didesnis važiuojant didesniu greičiu. Taip yra todėl, kad didesnis tūrio kitimo greitis.
7. Iš gautų rezultatų galima daryti išvadą, kad rato su energijos kaupikliu prototipas galėtų veikti realiai.

LITERATŪRA

- Bogdevičius, M.; Prentkovskis, O. 2003. *Hidraulinių ir pneumatinių sistemų dinamika: vadovėlis universitetų technologijos mokslų srities studentams*. Vilnius: Technika. 261 p.
- Gastila, L. 1978. *Automobiliai ir traktoriai: teorija ir konstravimo pagrindai: mokymo priemonė aukštųjų mokyklų studentams*. Vilnius: Mokslas. 248 p.
- Gent, N., Walter, D. 2006. *The Pneumatic Tire*. The University of Akron. 701.
- Giedra, K.; Kirka, A.; Slavinskas, S. 2006. *Automobiliai*. Kaunas: Smaltijos leidykla. 536 p.
- Hatano, Y. 2010. *Tire with electric power generation device*. United States patent. Patent No.: US 7,781,942 B2.
- Jackson, S. B., et al. 2007. *Method and apparatus for scavenging and using energy caused by changing in pressure*. United States patent. Patent No.: US 7,178,389 B2.
- Mancosu, F. Matrascia, G. Villa, D. 2006. *Vehicle tire and system for generating electrical energy in the tire*. United States patent. Patent No.: US 6,992,423 B2.
- Mitunevičius, V. 1999. *Automobilių dinamikos pagrindai: sąvokos, apibrėžimai ir bendrieji taikymo principai: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 75 p.
- Rhyne, T.B. 2005. Development of a Vertical Stiffness Relationship for Belted Radial Tires, *Tire Science and Technology, TSTCA* 33 (3): 136-155.
- Rutka, A., Sapragnas, J. 2002. The role of a tire in vehicle and the road interaction, *Transport* 17 (2): 39 – 45.
- Sivilevičius, H. 2011. Modelling the interaction of transport system elements, *Transport* 26 (1): 20 – 34.
- Spruogis, B. 2008. *Hidraulinių ir pneumatinių sistemų skaičiavimas ir projektavimas: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika. 163 p.
- Thomas, S. E., 1972. *Apparatus and process for developing electromagnetic energy from tire flexure*. United States patent. Patent No.: 3,760,351.
- Valstybinės kelių transporto inspekcijos prie susisiekimo ministerijos viršininko įsakymas dėl transporto priemonių ir jų padangų tipo patvirtinimo taisyklių*. 2005. Vilnius. Nr.: 2B – 399.
- Wilson, C. 2004. *Apparatus and method for energy generation within a tire*. United States patent. Patent No.: US 2004/0100100 A1.
- <http://www.yokohamatire.com/tires_101/reading_your_tire/utqg/ [žiūrėta 2011-03-13].

<<http://www.padanga.lt/Patarimai/Padangos-gedimu-paaiskinimai> [žiūrėta 2011-03-11].

PRIEDAI

1 priedas.

KROVUMO RODIKLIAI

Krovumo rodiklis	Didžiausia masė (kg)	Krovumo rodiklis	Didžiausia masė (kg)	Krovumo rodiklis	Didžiausia masė (kg)	Krovumo rodiklis	Didžiausia masė (kg)
0	45	51	195	101	825	151	3450
1	46,2	52	200	102	850	152	3550
2	47,5	53	206	103	875	153	3650
3	48,7	54	212	104	900	154	3750
4	50	55	218	105	925	155	3875
5	51,5	56	224	106	950	156	4000
6	53	57	230	107	975	157	4125
7	54,5	58	236	108	1000	158	4250
8	56	59	240	109	1030	159	4375
9	58	60	250	110	1060	160	4500
10	60	61	257	111	1090	161	4625
11	61,5	62	265	112	1120	162	4750
12	63	63	272	113	1150	163	4875
13	65	64	280	114	1180	164	5000
14	67	65	290	115	1215	165	5150
15	69	66	300	116	1250	166	5300
16	71	67	307	117	1285	167	5450
17	73	68	315	118	1320	168	5600
18	75	69	325	119	1360	169	5800
19	77,5	70	335	120	1400	170	6000
20	80	71	345	121	1450	171	6150
21	82,5	72	355	122	1500	172	6300
22	85	73	365	123	1550	173	6500
23	87,5	74	375	124	1600	174	6700
24	90	75	387	125	1650	175	6900
25	92,5	76	400	126	1700	176	7100
26	95	77	412	127	1750	177	7300
27	97,5	78	425	128	1800	178	7500
28	100	79	437	129	1850	179	7750
29	103	80	450	130	1900	180	8000
30	106	81	462	131	1950	181	8250
31	109	82	475	132	2000	182	8500
32	112	83	487	133	2060	183	8750
33	115	84	500	134	2120	184	9000
34	118	85	515	135	2180	185	9250
35	121	86	530	136	2240	186	9500
36	125	87	545	137	2300	187	9750
37	128	88	560	138	2360	188	10 000
38	132	89	580	139	2430	189	10 300
39	136	90	600	140	2500	190	10 600
40	140	91	615	141	2575	191	10 900
41	145	92	630	142	2650	192	11 200
42	150	93	650	143	2725	193	11 500
43	155	94	670	144	2800	194	11 800

Krovumo rodiklis	Didžiausia masė (kg)	Krovumo rodiklis	Didžiausia masė (kg)	Krovumo rodiklis	Didžiausia masė (kg)	Krovumo rodiklis	Didžiausia masė (kg)
44	160	95	690	145	2900	195	12 150
45	165	96	F	146	3000	196	12 500
46	170	97	730	147	3075	197	12 850
47	175	98	750	148	3150	198	13 200
48	180	99	775	149	3250	199	13 600
49	185	100	800	150	3350	200	14 000
50	190						

2 priedas.

GREIČIO KATEGORIJOS SIMBOLIS IR JĮ ATITINKANTIS GREITIS

Greičio kategorijos simbolis	Atitinkantis greitis (km/val.)
F	80
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
P	150
Q	160
R	170
S	180
T	190
U	200
H	210
V	240

3 priedas.

**SANTYKIS TARP SLĖGIO RODIKLIO IR SLĖGIO
VIENETŲ**

Slėgio rodiklis („PSI“)	bar	kPa
20	1,4	140
25	1,7	170
30	2,1	210
35	2,4	240
40	2,8	280
45	3,1	310
50	3,4	340
55	3,8	380
60	4,2	420
65	4,5	450
70	4,8	480
75	5,2	520
80	5,5	550
85	5,9	590
90	6,2	620
95	6,6	660
100	6,9	690
105	7,2	720
110	7,6	760
115	7,9	790
120	8,3	830
125	8,6	860
130	9,0	900
135	9,3	930
140	9,7	970
145	10,0	1000
150	10,3	1030