

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

**Dalius Barasnevičius**

**TRAKTORIAUS PADANGŲ SLĖGIO ĮTAKOS**  
**EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. dr. Danas Garuckas

**PANEVĖŽYS, 2016**

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

**TRAKTORIAUS PADANGŲ SLĖGIO ĮTAKOS**  
**EKSPLOATACINIAMS RODIKLIAMS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
**Studijų programos pavadinimas (kodas 621E20001)**

**Vadovas**

(parašas) lektor. dr. Danas Garuckas

(data)

**Recenzentas**

(parašas)

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Dalius Barasnevičius

(data)

**PANEVĖŽYS, 2016**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Dalius Barasnevičius

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerija, kodas 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Traktoriaus padangų slėgio įtakos eksploataciniams rodikliams tyrimas“

### AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. Birželio 6 d.  
Panevėžys

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

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

Dalius Barasnevičius  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

20..... ..

**BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

<b>Išduota studentui:</b>	<i>Daliui Barasnevičiui</i>	<b>Grupė</b>	<i>PMT-4</i>
---------------------------	-----------------------------	--------------	--------------

**1. Darbo tema:**

Lietuvių kalba:	<i>Traktoriaus padangų slėgio įtakos eksploataciniams rodikliams tyrimas</i>
-----------------	--

Anglų kalba:	<i>Investigation of Tractor Tire Pressure influence on Operating Parameters</i>
--------------	---

Patvirtinta 2016 m. kovo mėn. 17 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-13-8

**2. Darbo tikslas:**

<i>Ištirti slėgio padangose įtaką traktoriaus eksploataciniams rodikliams: kinematiniam nesutapimui, degalų sąnaudoms, variklio apkrovai.</i>
---

**3. Reikalavimai ir sąlygos:**

<i>Ratinis traktorius Valta T-214 Versu. 630 kg balastinis svoris – giluminis purentuvas. Duomenų registravimo programinė įranga „AGCO electronic diagnostic tool“.</i>
---

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

<i>Baigiamąjį projektą turi sudaryti: Įvadas. Literatūros apžvalgos ir analizės skyrius. Tyrimo metodų ir priemonių skyrius. Rezultatų ir jų analizės skyrius. Išvados. Literatūros šaltinių sąrašas. Priedai (jei reikalinga).</i>
---

**5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.****6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas***2016-06-13*

Užduotį gavau:

*Dalius Barasnevičius**(studento vardas, pavardė, parašas)**(data)**2016-02-01**(data)*

Vadovas:

*lektor. dr. Danas Garuckas**(pareigos, vardas, pavardė, parašas)**2016-02-01**(data)*



## TURINYS

<b>SIMBOLIŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ĮVADAS.....</b>	<b>10</b>
<b>1. LITERATŪROS ANALIZĖ.....</b>	<b>12</b>
1.1. Traktoriaus padangų tipai ir jų eksploatacinės savybės .....	12
1.2. Slėgio įtaka traktoriaus padangų deformacijai.....	14
1.3. Slėgio įtaka traktoriaus padangą veikiančioms jėgoms riedėjimo metu.....	17
1.4. Traktoriaus balastinių masių ir oro slėgio padangose įtaka darbo rodikliams .....	19
1.5. Slėgio padangose įtaka traktoriaus traukos savybėms .....	20
1.6. Priekinių ratų paskuba traktoriuose su 4x4 transmisija .....	22
1.7. Literatūros šaltinių apibendrinimas .....	25
<b>2. SLĖGIO PADANGOSE ĮTAKOS TRAKTORIAUS EKSPLOATAČINIŲ RODIKLIŲ TYRIMO METODAI IR PRIEMONĖS .....</b>	<b>26</b>
2.1. Slėgio padangose įtakos traktoriaus eksploatacinių rodiklių tyrimo metodologija .....	26
<b>3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ.....</b>	<b>30</b>
3.1. Priekinių ir galinių traktoriaus padangų deformacijos .....	30
3.2. Traktoriaus eksploataciniai rodikliai be giluminio purentuvo, su įjungta 4x4 pavara.....	32
3.2.1. Kinematinis nesutapimas tarp priekinių ir galinių ratų .....	32
3.2.2. Traktoriaus degalų sąnaudos.....	33
3.2.3. Varikliui tenkanti apkrova.....	35
3.3. Traktoriaus eksploataciniai rodikliai be papildomo balastinio svorio, su įjungta 2x4 pavara.....	37
3.3.1. Degalų sąnaudos .....	37
3.3.2. Traktoriaus variklio apkrova.....	38
3.4. Traktoriaus eksploataciniai rodikliai esant užkabintam 630 kg papildomam balastiniam svoriui ant galinio hidraulinio keltuvo ir su įjungta 4x4 pavara .....	40
3.4.1. Kinematinis nesutapimas.....	40

3.4.2. Degalų sąnaudos .....	41
3.4.3. Variklio apkrova .....	43
<b>3.5. Traktoriaus eksploataciniai rodikliai su užkabintu 630 kg sveriančiu giluminiu purentuvu ant galinio hidraulinio keltuvo ir su įjungta 2x4 pavara .....</b>	<b>45</b>
3.5.1. Traktoriaus degalų suvartojimas .....	45
3.5.2. Traktoriui tenkanti variklio apkrova.....	46
<b>IŠVADOS.....</b>	<b>48</b>
<b>INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS .....</b>	<b>49</b>
<b>PRIEDAI .....</b>	<b>52</b>

Barasnevičius, Dalius. Traktoriaus padangų slėgio įtakos eksploataciniams rodikliams tyrimas. *Magistro baigiamasis projektas / vadovas* doc. dr. Danas Garuckas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Transporto priemonių inžinerija:

Reikšminiai žodžiai: *kinematinis nesutapimas; degalų sąnaudos; variklio apkrova.*

Panevėžys, 2016. 52 p.

## SANTRAUKA

*Didėjanti konkurencija, augantys produkcijos gamybos kaštai – priežastys verčiančios tobulinti ūkininkavimo metodus ir atnaujinti darbo priemones.*

*Traktorius yra vienas iš pagrindinių žemės ūkio technikos darbo įrankių, todėl didžioji dalis jų yra eksploatuojami su pneumatinėmis padangomis, kadangi labai daug dėmesio yra skiriama ratų ir dirvos tarpusavio sąveikai.*

*Traktoriui dirbant su įjungtu priekinių tiltu (4x4) ir esant skirtingiems oro slėgiams padangose, atsiranda kinematinis nesutapimas tarp priekinių ir galinių ratų. Dėl šio nesutapimo padidėja variklio apkrova ir didėja kuro sąnaudos.*

*Šiame darbe buvo vertinama kinematinio nesutapimo įtaka variklio apkrovai ir degalų sąnaudoms.*

Barasnevičius, Dalius. Investigation of Tractor Tire Pressure influence on Operating Parameters: *Master's thesis in final project / supervisor* assoc. prof. Danas Garuckas. The Panevėžys Faculty of technology and business, Kaunas University of Technology.

Vehicle engineering :

Key words: *kinematic mismatch; fuel consumption; engine load.*

Panevėžys, 2016. 52 p.

## SUMMARY

*Growing competition and increasing production costs are the reasons to improve farming methods and update the working tools.*

*Tractor is one of the main agricultural machinery tools, so most of them are operated with pneumatic tires, since a lot of attention is paid to the wheel and soil interaction.*

*Tractor work with enabled front axle (4x4), and under different air pressures in the tires, leads to kinematic mismatch between the front and rear wheels. This mismatch increases engine load and fuel consumption.*

*This work evaluates kinematic mismatch effect on engine load and fuel consumption.*

## SIMBOLIŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS

- $\pi$  – matematinė konstanta ( $\pi \approx 3.14$ );
- $p_i$  – slėgis traktoriaus padangoje, MPa;
- $d$  – rato skersmuo, m;
- $F$  – vertikali ratų apkrova, N;
- $R$  – rato spindulys be apkrovos, m;
- $\Delta R$  – padangos deformacijos dydis;
- $r$  – padangos pjūvio spindulys, m;
- $R_s$  – padangos statinis spindulys, m;
- $\Delta R_s$  – statinė padangos deformacija, m;
- $L, a, b$  – atraminio paviršiaus matmenys, m;
- $f$  – deformacijos koeficientas;
- $R_d$  – dinaminis rato spindulys, m;
- $F_b$  – traukos jėga, N;
- $F_{uk}$  – traktoriaus rato suminė jėga, N;
- $F_n$  – traktoriaus rato varančioji galia, N;
- $F_f$  – rato riedėjimo pasipriešinimo jėga, N;
- $F_s$  – jėgos prarandimas dėl ratų buksavimo, N;
- $L$  – atraminio padangos paviršiaus ilgis;
- $P_n$  – varančioji galia, kW;
- $P_{uk}$  – bendroji galia, kW;
- $P_f$  – galia riedėjimo pasipriešinimui įveikti, kW;
- $P_s$  – galia prarandama dėl buksavimo, kW;
- $P_b$  – galios nuostoliai iš transformacijos judėjimo į slenkamą judesį, kW;
- $Q$  – vertikali reakcijos jėga, N;
- $M_i$  – pasipriešinimo riedėjimo momentas, Nm;
- $T$  – rato sukimo momentas, Nm;
- $R_c$  – horizontali dirvos reakcijos dedamoji, N;
- $\delta_{gal.}$  – galinių ratų buksavimo (slydimo) koeficientas;
- $\delta_{prieš.}$  – priekinių ratų buksavimo (slydimo) koeficientas;
- $R_s$  – jėga į ratą, N;
- $X_o$  – padangos ir dirvos kontaktinis paviršius, m;

$P_p$  – traukos galia, kW;  
 $P_f$  – galia riedėjimo pasipriešinimui įveikti, kW;  
 $\mu_{tr}$  – svorio koeficiento panaudojimas;  
 $W_t$  – svorio jėga, N;  
 $F_v$  – rato varančioji jėga, N;  
 $P_{kt}$  ir  $P_{kp}$  – priekinių ir galinių ratų galia, kW;  
 $P_p$  – ratų varomoji galia, kW;  
 $P_{ft}$  ir  $P_{fp}$  – riedėjimo pasipriešinimo galia, kW;  
 $P_{st}$  ir  $P_{sp}$  – buksavimo galia, kN;  
 $P_u$  – traukos galia, kW;  
 $P_{mt}$  ir  $P_{mp}$  – ratų galios nuostoliai, kW;  
 $P_m$  – galios nuostolių dedamoji, kW;  
 $P_{up}$  – galinių ratų galia perduodama priekiniams ratams, kW;  
 $P_p$  – priekinių ratų galia perduodama galiniams ratams per transmisiją, kW;  
 $P_t$  – galinių ratų perduodama galia galiniams ratams per transmisiją, kW;  
 $P_u$  – traukos jėga, F;  
 $\eta_{tr}$  – varančiojo rato traukos naudingumo koeficientas;  
 $\omega$  – rato kampinis greitis, m/s;  
 $V_t^p$  – priekinių ratų teorinis greitis, m/s;  
 $V_t^g$  – galinių ratų teorinis greitis, m/s;  
 $S_{i\dot{s}}$  – kelias per 10 rato apsisukimų, esant išjungtai 4x4 pavarai, m;  
 $S_{ij}$  – kelias per 10 rato apsisukimų, esant įjungtai 4x4 pavarai, m;  
 $k_n$  – kinematinio nesutapimo koeficientas;  
 $v_t$  – teorinis rato greitis, m/s;  
 $v$  – faktinis rato greitis, m/s;  
 $d_0$  – priekinių ir galinių ratų padangos vidinis skersmuo;  
 $H$  – priekinių ir galinių ratų padangos aukštis.

## IVADAS

**Temos aktualumas.** Šiandieniniam pasauliui žengiant į priekį ir su kiekviena diena didėjant mašinų kiekiui vis daugiau dėmesio visuomenė skiria ekologijai bei darbo kaštų mažinimui. Sunkiasvore technika atliekami visi pagrindiniai žemės ūkio darbai: žemės dirbimas, augalų apsauga, derliaus nuėmimas ir t.t.

Didėjanti konkurencija, augantys produkcijos gamybos kaštai – priežastys verčiančios tobulinti ūkininkavimo metodus ir atnaujinti darbo priemones, kadangi vienas iš svarbiausių traktoriaus rodiklių yra jo darbo naudingumas, t.y. jo galios panaudojimas naudingam darbui atlikti.

**Darbo problema.** Žemės ūkio technika neigiamai veikia dirvą dėl ratų didelės apkrovos, buksavimo bei vėžių susiformavimui. Šių visų procesų pasėkme tampa dirvos suslėgimas, dirvožemio struktūros ardymas bei sąlygų vandens ir vėjo erozijai susidarymas. Dėl šių priežasčių mažėja derlius ir didėja energijos sąnaudos dirvai įdirbti. Todėl didžioji dauguma traktorių yra eksploatuojami su pneumatinėmis padangomis, kadangi daugiau dėmesio turėtų būti skiriama rato ir dirvos tarpusavio sąveikai. Traukos galia, riedėjimo pasipriešinimas, dirvos suspaudimas, energijos nuostoliai bei ratų buksavimas yra pagrindiniai parametrai, kurie lemia rato ir dirvos tarpusavio sąveiką.

Traktorių ratai, veikiami apkrovų, smarkiai suspaudžia dirvą bei dėl buksavimo ir praslydimo, palieka joje galias vėžes. Kuo žemė drėgnesnė, tuo traktoriaus ratų vėžės būna gilesnės ir žemė jose būna labiau suspausta. Kadangi dirva suslegiama giliai, todėl jos struktūra neatsistato ariant, t.y. dirvos struktūra pažeidžiama ilgam laikui ir reikalingas visas kompleksas priemonių jai atstatyti. To pasekoje sutrinka oro ir drėgmės mainai dirvoje, mažėja derlingumas, didėja energijos sąnaudos, reikalingos dirvos apdirbimui ir pan. Ši problema sprendžiama labai įvairiai: stengiamasi galimai mažinti technikos masę, naudoti kombinuotas važiuokles, platesnes, mažo slėgio bei su geresniu protektoriumi padangas, sudvigubintus ratus, slėgio reguliavimo padangose sistemas, diegti naujas technologijas, įgalinančias vykdyti technologinius procesus kuo mažiau kartų važiuojant dirva bei sumažinančias ratų praslydimą.

**Darbo objektas.** Tyrimo objektas – slėgis traktoriaus padangose.

**Darbo tikslas:** ištirti slėgio padangose įtaką traktoriaus eksploataciniams rodikliams.

Siekiant tikslo reikėjo išspręsti šiuos **uždavinius**:

- Išanalizuoti literatūros šaltinius apie padangų temperatūrą, padangų tipus ir jų eksploatacines savybes, padangų deformaciją, bei padangą veikiančias jėgas, traukos jėgas.
- Nustatyti padangų dinaminių deformacijų priklausomybes keičiant slėgį priekinėse ir

galinėse padangose nuo 2,55 MPa iki 0,75 MPa, 0,45 MPa diskretiškumu esant balansinei vertei ir be jos.

- Nustatyti padangų deformacijų įtaka kinematiniam nesutapimui keičiant slėgį priekinėse ir galinėse padangose nuo 2,55 MPa iki 0,75 MPa, 0,45 MPa diskretiškumu esant balansinei vertei ir be jos.

- Nustatyti degalų sąnaudų priklausomybę keičiant slėgį priekinėse ir galinėse padangose nuo 2,55 MPa iki 0,75 MPa, 0,45 MPa diskretiškumu esant balansinei vertei ir be jos.

- Nustatyti variklio apkrovos priklausomybę keičiant slėgį priekinėse ir galinėse padangose nuo 2,55 MPa iki 0,75 MPa, 0,45 MPa diskretiškumu esant balansinei vertei ir be jos.

- Apibendrinus gautus rezultatus, pateikti išvadas ir pasiūlymus.

## 1. LITERATŪROS ANALIZĖ

Padangos – tai pagrindinis elementas, nulemiantis transporto priemonės stabilumą kelyje, geras valdymo savybės ir tiesiog ratų sukibimą su kelio danga [40]. Pagrindinės padangų charakteristikos:

- jų leistinas greitis;
- slėgis į dirvos paviršių;
- sukibimo ypatumai;
- protektoriaus rašto savaiminis apsivalymas;
- atsparumas mechaniniams pažeidimams bei ilgaamžiškumas;
- keliamoji galia;
- pravažumas įvairiais paviršiais.

Pagrindiniai ūkininkų naudojami žemės ūkio dirbimo, derliaus nuėmimo įrankiai – traktoriai. Daugiausiai ir dažniausiai naudojami traktoriai su keturių varančiųjų ratų pavara (4x). Dėl galimybės dirbti su traktoriais šlapioje bei minkštoje dirvoje, traktorius su keturiais varomaisiais ratais (4x4) yra daug pranašesnis negu su dvejais varančiaisiais. Taip pat, traktorius su keturiais varančiaisiais (4x4) padidina pravažumą su slidžiais ir nelygiais paviršiais.

### 1.1. Traktoriaus padangų tipai ir jų eksploatacinės savybės

Žemės ūkio technika su vikšrine važiuokle (1.1 pav.) tampa vis paklausesni ūkiuose, nes su jais galima dirbti drėgnesniuose laukuose, jie mažiau buksuoja (15-20 proc.), mažiau suslegia dirvą palyginus su ratiniais traktoriais. Traktoriaus su sudvejintais ratais spaudžiamas paviršiaus plotas iki 2,5 karto mažesnis negu vikšrinio, todėl tai ne tik mažesnis dirvos suspaudimas, bet ir geresnis variklio galios panaudojimas. Kad ir kaip technologijos tobulėja, tačiau didžioji dalis ūkininkų ir toliau naudoja žemės ūkio techniką su pneumatinėmis padangomis.



**1.1 pav.** Traktorius su vikšrine važiuokle

Šiuo metu daugiausiai naudojamos dviejų tipų pneumatinės padangos – diagonalinės ir



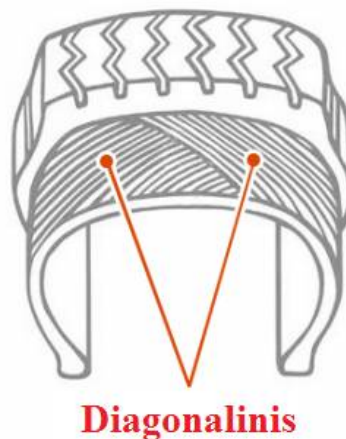
radialinės. Vartotojai daugiausiai naudoja radialines padangas (1.2 pav.), nes jos pasižymi geresnėmis eksploatacinėmis savybėmis, tokiomis kaip aukštas krovos indeksas, atsparumas dėvėjimuisi, stabilumas ir manevringumas, gera trauka ir protektoriaus išsivalymas minkštoje dirvoje.



**1.2 pav.** Radialinė traktoriaus padanga

Radialinė padanga (1.3 pav.) nuo diagonalinės skiriasi kordo kryptimi, karkaso konstrukcija ir techniniais elementais. Diagonalinių padangų privalumai:

- užtikrina geresnį sukibimą;
- gali atlaikyti didesnę svorį;
- padeda sutaupyti apie 5–8 proc. degalų;
- mažiau priešinasi siūbavimui;
- tampresnės;
- lėčiau dėvisi.



**1.3 pav.** Diagonalinė padanga

Didesnę sukimosi inerciją turi radialinės padangos, kadangi jos yra sunkesnės.

Veikiant spaudimui, labai dažnai atsiranda pasipriešinimas ridėjimui dėl kameros ir padangos

lankstymosi. Kai padanga deformuojasi, įstrižų kordo sluoksnių, naudojamų diagonalinėse padangose, susikirtimo kampas keičiasi didindamas trintį tarp sluoksnių. Sustiprėjusios trinties pasiseka išvengti radialinėje padangoje, dėl to pagerėja ne tik padangos patvarumas, bet ir sumažėja nepageidaujamas šilumos atsiradimas jos viduje [42].

Pneumovikšras (angliškai „*PnauTrack*“) – padanga su kombinuota vikšrine važiuokle. Tokio tipo padangą gamintojas „Mitas“ pristatė 2014 m. parodoje Hanoveryje (1.4 pav.). Padangos kuriamos taip, kad riedant apatinė dalis remtųsi plokštuma į paviršių. Tai būtų pigesnė alternatyva vikšrinių važiuoklių sistemoms. Dirbant su tokiais padangomis kontaktinio paviršiaus plotas padidėja net 53%. „*Mitas PneuTrack*“ padanga esant 0,6 bar slėgiui gali dirbti dirvoje ir važiuoti kieta danga 50 km/val. greičiu, užtikrinat traktoriaus stabilumą posūkiuose [37]. Šiuo metu gaminamos tik nedidelio skersmens tokios padangos, jų naudojimas traktoriuose galėtų padėti išspręsti daugelį problemų, kylančių tarp padangos ir dirvožemio paviršių sąveikos.



**1.4 pav.** Kombinuotos padangos „*PnauTrack*“ modelis [37]

Šaltiniuose pastebima, kad didėjant žemės ūkio technikos galingumui didėja jų masė. Dėl nepakankamos masės, traktoriaus ratai praslys ir nebus išnaudota visa jo variklio galia, todėl tai nulemia žemės ūkio mašinų masės didėjimą, patvaresnes konstrukcijas ir galios išnaudojimo galimybes.

Traktoriui dirbant drėgnoje ar minkštoje dirvoje, atraminės savybės labai priklauso nuo padangų. Visos traktoriaus traukos ir galios savybės priklauso nuo per padangas perduodamos traktoriaus galios. Todėl gaminat žemės ūkio transportą yra parenkamos tinkamo dydžio padangos.

Keičiant slėgį padangose, galima keisti jų sukibimo su dirva savybes, todėl norint padidinti kontaktinį plotą su dirva, padangose mažinamas slėgis. Didesnis slėgis padangose naudojamas dirbant transporto darbuose, kelyje ant kietos dangos, ar dirbant kietoje dirvoje, o mažesnis – dirbant minkštoje dirvoje.

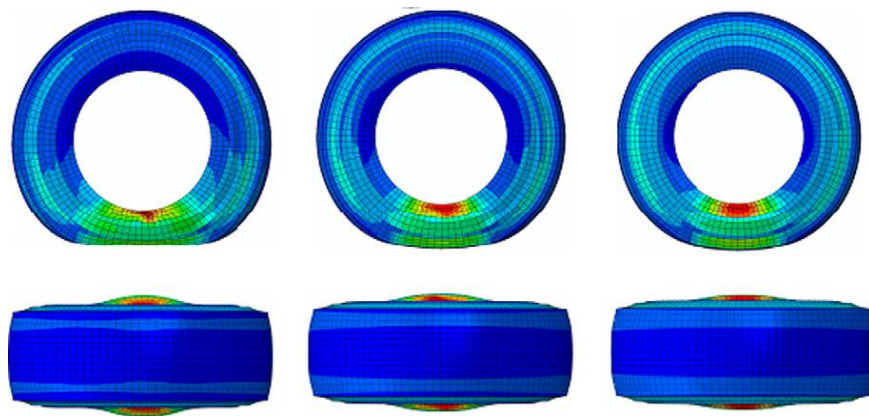
## **1.2. Slėgio įtaka traktoriaus padangų deformacijai**

Traktorių ir žemės ūkio mašinų pneumatinės padangos turi atlikti keletą funkcijų:

- perduoti vertikalias apkrovas ir jas paskirstyti atraminiam paviršiui;
- užtikrinti sukibimą su važiuojamuoju paviršiumi;
- užtikrinti saugumą ir manevringumą judant traktoriui transportiniu režimu;
- sumažinti paviršiaus nelygumų poveikį mašinoms (suteikti amortizaciją).

Važiuojamojo paviršiaus ir padangos sąveikos analizavimas yra kompleksinis, kadangi darbo metu padangą veikia įvairios kintančios apkrovos, todėl darbo našumas ir naudingumas, padangų ir dirvos sąveika buvo pripažinta kaip vienu iš sudėtingiausių aspektų kuriant ir modeliuojant žemės ūkio mašinas [34].

Dėl labai plačios padangų tipų įvairovės (formų, dydžių ir raštų) buvo reikalingas paprastas ir nebrangus padangų modeliavimo ir deformacijų įvertinimo būdas, dėl šios priežasties dabar padangos modeliuojamos kompiuterinėmis programomis. Visa tai leidžia greičiau ir paprasčiau įvertinti padangų apkrovas įvairiomis darbo sąlygomis. Kompiuterinio modeliavimo sistemos plačiai naudojamos ir moksliniuose darbuose ar tyrimuose [2, 4, 14].

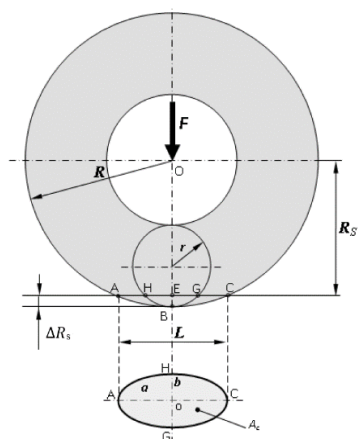


**1.5 pav.** Padangų deformacijos esant skirtingam slėgiui [25]

Remdamasis baigtinių elementų modeliavimu, K. Xia [25] sukonstravo sąveikos modelį ir pateikė padangos skersmens, dirvos suslėgimo, paviršiaus lietimosi ploto, traukos, ir kitų indikatorių rodiklių priklausomybes nuo oro slėgio kitimo esančio padangoje.

Savo darbe K. Xia pateikė modelį, kuriame pavaizduotos padangų deformacijos esant skirtingam oro slėgiui ir esant vienodai 40 kN vertikaliai apkrovai. Padanga yra beveik neįspaudžiam, kadangi pagaminta iš labai elastingos gumos, pritaikytos pastovioms deformacijoms veikiant vertikaliai apkrovai. 1.5 pav. bandymo metu buvo keičiamas slėgis padangoje: 1 – bandymu 3 bar, 2 – bandymu 5 bar ir 3 – bandymu 7 bar, padangos vertikali apkrova buvo 40 kN. Didžiausia padangos deformacija buvo esant 3 bar oro slėgiui padangoje.

Padanga deformuojasi veikiamą vertikalią apkrovą  $F$ . 1.6 paveiksle pateikiami deformacijos koeficiento skaičiavimams naudojami rodikliai.



**1.6 pav.** Pagrindiniai deformacijos rodikliai esant vertikaliai apkrovai:  $F$  – vertikali rato apkrova,  $N$ ;  $R$  – rato spindulys be apkrovos,  $m$ ;  $r$  – padangos profilio pjūvio spindulys,  $m$ ;  $R_s$  – statinis padangos spindulys,  $m$ ;  $\Delta R_s$  – padangos statinė deformacija,  $m$ ;  $L$ ,  $a$ ,  $b$  – atraminio paviršiaus matmenys,  $m$  [34]

Iš 1.6 pav. matyti kaip veikiant vertikaliai apkrovai deformuojasi padanga, o padangos deformacijos išreiškiamos koeficientu  $\Delta R_s$ , kuris apskaičiuojamas pagal tokią formulę,  $m$  [34]:

$$\Delta R_s = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot p_t \cdot \sqrt{R \cdot r}} \quad (1.1)$$

čia  $F$  – vertikali rato apkrova,  $N$ ;  
 $p_t$  – oro slėgis padangoje,  $MPa$ ;  
 $R$  – rato spindulys be apkrovos,  $m$ ;  
 $r$  – padangos profilio pjūvio spindulys,  $m$ .

Statinis padangos spindulys  $R_s$  apskaičiuojamas pagal formulę,  $m$ :

$$R_s = R - \Delta R_s \quad (1.2)$$

Dinaminis padangos spindulys yra nuo 3 iki 6% didesnis už statinį spindulį, todėl jį būtina apskaičiuoti ir įvertinti. Dinaminis padangos spindulys apskaičiuojamas pagal formulę,  $m$  [36]:

$$R_d = \left(1 + \frac{\Delta R}{d}\right) \cdot R_s \quad (1.3)$$

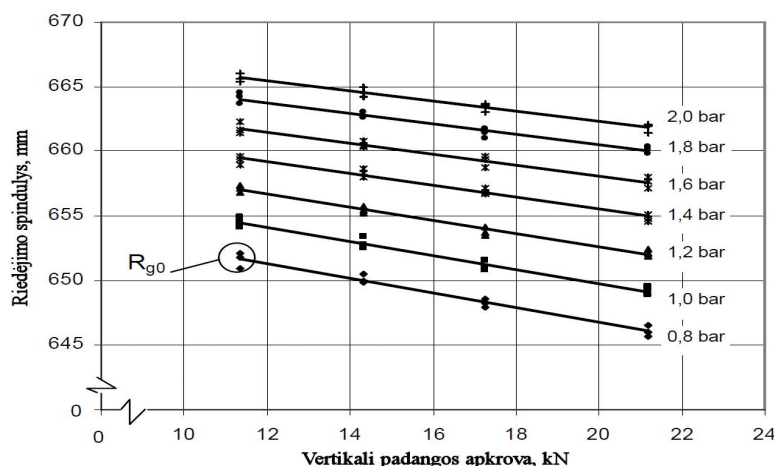
čia  $\Delta R$  – deformacijos dydis  
 $d$  – rato diametras,  $m$

Padangos atraminio paviršiaus ilgis  $L$ , apskaičiuojamas pagal formulę,  $m$  [34]:

(1.4)

$$L = 2 \cdot \sqrt{R^2 - R_f^2}$$

1.6 pav. pateiktas dinaminio padangos spindulio kitimas, kuris atskiranda bandymų metu keičiant slėgį po 0,2 bar intervale nuo 2,0 bar iki 0,8 bar, taip pat, buvo keičiama padangos vertikali apkrova ir skaičiuojamas dinaminis padangos spindulys. 1.7 pav. matome jog rato spindulys mažėja esant vertikalios apkrovos didėjimui.



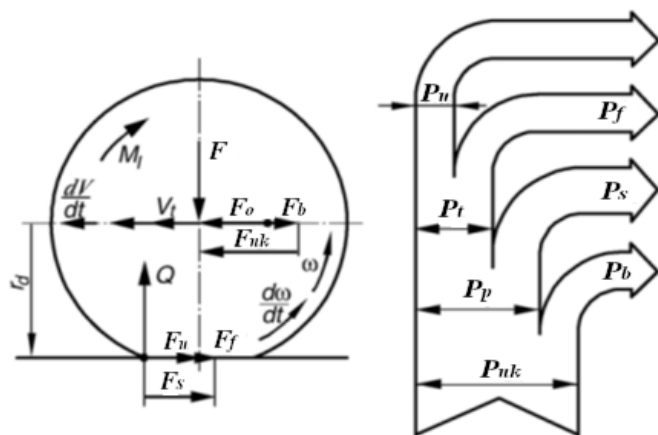
**1.7 pav.** Dinaminio padangos spindulio priklausomybė nuo apkrovos, padanga 480/70R28, gamintojas: TAURUS, važiavimo greitis 1,73 m/s [36]

### 1.3. Slėgio įtaka traktoriaus padangą veikiančioms jėgoms riedėjimo metu

Pagrindinis traktoriaus jėgos perdavimas į padarbus vyksta per padangas, todėl dinaminiai ir ekonominiai rodikliai priklausomi nuo dirvos ir ratų sąveikos. Norint išgauti maksimalų efektyvumą, labai svarbu, kad darbo sąlygomis dirvos ir padangų sąveika būtų kuo optimalesnė. Norint, kad tai įvyktų reikia užtikrinti tinkamą padangos sukibimą su dirva - ratai negali daug buksuoti. Buksavimas neturi viršyti nustatytų normų, o leistinas ratų buksavimas yra iki 15 %, optimalus buksavimas dirvoje - 8-12 %, tokiu būdu yra optimaliai išnaudojama visa traktoriaus galia [4].

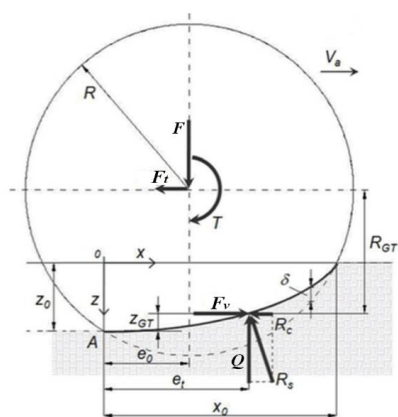
Transporto priemonei važiuojant dirva, jos ratus veikia skirtingos jėgos. Traktoriui judant greičiau ar stabdant, jėgos keičiasi. Jos skiriasi tarp galinių ir priekinių ratų, nes traktoriui važiuojant dirva, jo galiniai ratai juda priekinių ratų jau palikta vėžia, kadangi dirvos paviršius ten jau būna suspaustas, todėl galiniams ratams tenka mažesnis riedėjimo pasipriešinimas. Ratus veikia ir galios cirkuliacijos. Norint išnaudoti visą traktoriaus galią, reikia, kad jame būtų įrengta visa įmanoma kontrolės įranga: 4x4 pavaros įjungimas ir išjungimas, tikro greičio radaras, priekinio ir galinio diferencialo blokavimai, ratų buksavimo indikatorius.

Galios pasiskirstymas ratuose buvo išanalizuotas remiantis galių balansu, priklausančiu nuo jėgų ir momentų, veikiančių judantį ratą [6]. Šias ratą veikiančias jėgas savo darbe aprašė ir išnagrinėjo J. Żebrowski [6]. Traukos efektyvumą galima nustatyti tik tuo atveju, kai galia yra perduodama per ratus, arba kai dirva perduoda galią per ratus transmisijai, nes visais kitais atvejais galia išsisklaido į įvairias dedamąsias (1.8 pav.) ir ją sunku išmatuoti [6].



**1.8 pav.** Dirvos perduodamos galios pasiskirstymas slenkamajam ir sukamajam judesiui, kai ji išsiskirsto dėl riedėjimo pasipriešinimo ir rato slydimo:  $P_n$  - rato varančioji galia, kW;  $P_t$  - rato traukos galia, kW;  $P_p$  - galia inercijos jėgoms nugalėti, kW;  $P_{nk}$  - rato bendroji galia, kW;  $P_f$  - galia ratų riedėjimo pasipriešinimui įveikti, kW;  $P_s$  - galia prarandama dėl ratų buksavimo, kW;  $P_b$  - galios nuostoliai iš neapibrėžto judėjimo transformacija į slenkamą judesį kW [6]

Dirvos ir padangos sąveiką ratui riedant analizuojama A. Battiato ir E. Diserens darbuose. 1.9 pav. matome, jog ratui judant dirvos paviršiumi, tarp dirvos ir rato paviršiaus sąveikauja daug jėgų, lemiančių rato riedėjimą ir dirvos deformacijas:



**1.9 pav.** Dirvos ir padangos tarpusavio sąveika, ratui riedant:  $F$  – rato vertikalios apkovos jėga, N;  $F_t$  – net trauka, N;  $T$  – rato sukimo momentas Nm,  $F_v$  – rato varančioji jėga, N;  $R_c$  – horizontali dirvos reakcijos dedamoji, N;  $R_s$  – dirvos reakcijos jėga į ratą, N;  $V_a$  – tikrasis rato greitis (m/s),  $X_0$  – padangos ir dirvos kontaktinio paviršiaus ilgis, m [35]

Parenkant traktoriaus tinkamus optimalius techninius ir veikimo parametrus, darbinį režimą

bei kitus parametrus, kurie užtikrintų ekonomiškiausią ir našiausią darbą, ratų su paviršiumi tarpusavio sąveikų analizė labai naudinga. Pagal šiuos parametrus gali būti konfigūruojami automatiniai blokavimo režimai.

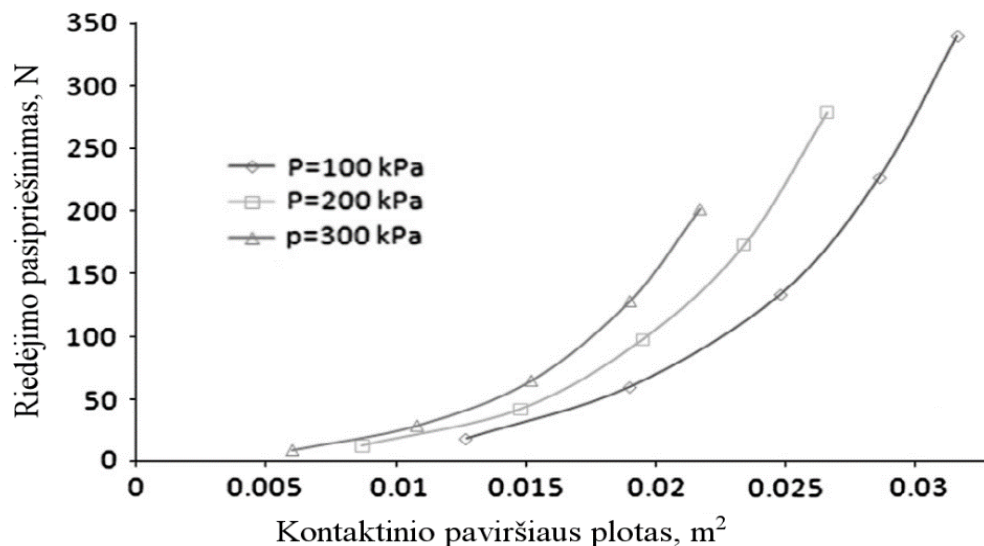
Ateityje numatoma pritaikant naujas technologijas traktoriuose, jas pritaikyti skirtingoms dirvožemio sąlygoms įdiegiant traktoriuose kelis darbinius režimus. Pavyzdžiui, skirtingi transmisijos režimai ir diferencialų blokavimo parametrai dirbant minkštoje, vidutinio keitimo ar kietoje dirvoje [17, 25]. Tai padidinų darbo ekonomiją ir efektyvumą.

#### **1.4. Traktoriaus balastinių masių ir oro slėgio padangose įtaka darbo rodikliams**

Vienas iš svarbiausių traktoriaus rodiklių – darbo naudingumas. Traktorių su pneumatinėmis padangomis išvystoma traukos jėga didėja, didėjant buksavimui. Yra du pagrindiniai būdai, kaip galima sumažinti traktoriaus buksavimą. Pirmoji galimybė yra padidinti traktoriaus svorį pridedant balastinių masių. Antroji galimybė - padidinti padangų kontaktinio paviršiaus plotą su dirvos paviršiumi. Padidinus kontaktinio paviršiaus plotą traktoriaus padangos palieka mažesnę neigiamą efektą dirvožemiui [11,12], todėl yra mažiau suslegiama dirva po traktoriaus padangomis [9,15,22,23]. Dėl padidinto padangų kontaktinio paviršiaus ploto su dirva, padangos mažiau grimzta, kadangi traktoriaus svoris pasiskirsto į didesnę atraminę paviršių. Taip pat mažėja ir riedėjimo pasipriešinimas minkštoje dirvoje [12]. Kuo daugiau padanga deformuojama, tuo didesniu plotu padangos remiasi į dirvą. Kontaktinis plotas gali būti padidinamas sumažinus slėgį padangose [11,24,25].

Padidėjus padangos vertikaliam apkrovai, didėja padangos suspaudimas ir deformacijos, o tai lemia kontaktinio paviršiaus ploto padidėjimą padangai stovint vietoje ar riedant. Šie veiksniai nulemia ir riedėjimo pasipriešinimo jėgos padidėjimą. H. Taghavifar ir A. Mardani savo darbe pastebėjo, jog esant pastoviam oro slėgiui padangoje ir pastoviai vertikaliam apkrovai, didėjantis rato riedėjimo greitis neturi įtakos padangos riedėjimo pasipriešinimui, traktoriui važiuojant nedideliu greičiu [11]. Šie bandymai buvo atlikti uždaroje patalpoje ir minkštoje dirvoje. Dirbant lauke ir esant pastoviems apkrovos bei slėgio parametrams padangoje, riedėjimo pasipriešinimo jėgą nulems ir skirtingi dirvos parametrai. Pasipriešinimo riedėjimui priklausomybės nuo kontaktinio paviršiaus ploto pateikiamos 1.10 pav.





**1.10 pav.** Kontaktinio paviršiaus įtaka riedėjimo pasipriešinimui, bandymai atlikti esant 1,2,3,4,5 kN vertikaliam ratų apkrovai [11]

Norint sumažinti buksavimą, mokslininkai įrodė, kad tikslinga yra mažinti slėgį padangose. Dauguma ūkininkų savo traktorius naudoja su pneumatinių padangomis, kuriomis galima atlikti darbus net sumažinus slėgį iki 0,8 bar ar dar mažiau. Padangose mažėjant slėgiui, jos daugiau deformuojasi, tuomet visas traktoriaus svoris yra išskirstomas į didesnę plotą ir taip mažiau suspaudžiama dirva. Ratai mažiau grimzta į dirvą, vėžos nėra labai giles, o riedėjimo pasipriešinimas sumažėja. Padangos pripūtimo slėgis yra laikomas svarbiu faktoriumi, kuris lemia tokius traktoriaus indikatorinius parametrus, kaip trauka, galia, sukibimas [3,12,14]. Nepaisant to, traktoriui dirbant sumažintu oro slėgiu, visuomet yra tikimybė, kad deformuotos padangos praras savo nustatytas proporcijas tarpusavyje. Kuomet nustatytos proporcijos tarp padangų neišlaikomos, atsiranda kinematinis nesutapimas [2,6,26,27] ir priekinių ratų paskuba pradeda kisti [4,28,29]. Atlikti bandymai parodo, kad padangoje padidinus oro slėgį yra sumažinamos padangų deformacijos ir padidinamas padangos standumas.

Ant traktoriaus pridėdant balastinių masių, ratų buksavimas gali būti mažinamas. Priklausant nuo vietos, kur balastinės masės montuojamos ir kaip jos paskirstomos, traukiamoji galia gali būti padidinama iki 15% [7,16]. Dėl padidėjusios traktoriaus masės taip pat padidėja ir riedėjimo pasipriešinimas, todėl į tai reikia atsižvelgti atliekant skaičiavimus ir bandymus [1,2,11]. Šis metodas taip pat turi dar vieną neigiamą aspektą – išlieka pavojus suspausti žemę daugiau negu ji yra įdirbama, taip pažeidžiant jos struktūrą ir sumažinant dirvos produktyvumą [11,16,22].

### 1.5. Slėgio padangose įtaka traktoriaus traukos savybėms

Traukos jėga - vienas iš svarbiausių žemės ūkio technikos darbo rodiklių, kuris parodo, kuri

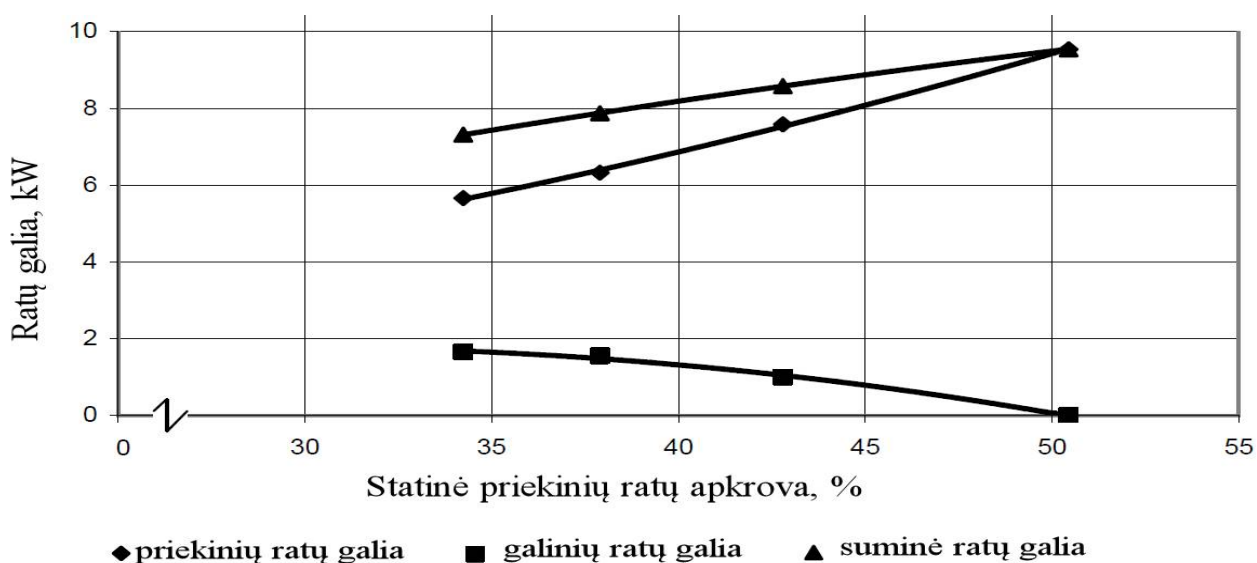


traktoriaus galios dalis yra panaudojama taupiausi darbo metu. Norėdami pasiekti didžiausią ekonominę naudą jėgos darbuose, operatoriai turėtų pasirinkti traktorių, turintį didelę traukos jėgą [4,8,9]. Traukos galia priklauso nuo traukos jėgos ir darbinio greičio. Žemės ūkio darbuose dažniausia dirbama nuo 3 iki 15 km/val. greičių diapazone [9,21].

Varančiųjų traktorių ratų sukibimas su dirva priklauso nuo savybių:

- dirvos tvirtumo;
- traktoriaus svorio;
- padangų kontaktinio paviršiaus ploto su dirva.

Dirvos tvirtumas lemia traktoriaus sukuriamą vėžę jam pravažiaus, ratų buksavimą ir riedėjimo pasipriešinimo jėgą [3,9]. Varančiųjų ratų buksavimas ir riedėjimo pasipriešinimas yra įvardijami kaip pagrindinės priežastys, lemiančios galios nuostolius. Kai dirva kieta (sausą), tuomet geresnis sukibimas, didesnė traukos jėga, mažesnis riedėjimo pasipriešinimas ir buksavimas [10,11]. Kai dirva yra minkšta (šlapia), varantieji ratai praslysta sukeldami didelį riedėjimo pasipriešinimą, ir tai įtakoja galios nuostolius bei traktoriaus traukos jėgos sumažėjimą. [9.11-13].



**1.11 pav.** Galios pasiskirstymas traktoriuje, keičiant priekinių ratų apkrovą važiuojant dirva [36]

Didinant priekinių ratų apkrovą, didėja suminė traktoriaus ratų galia, tai matome 1.11 paveiksle. Atliekant bandymą, balastinių masių apkrova buvo perkeliama nuo priekinių ant galinių ratų, o bendroji masė nesikeitė.

Techinėje literatūroje pateikti tyrimų rezultatai rodo, jog nuo 20 iki 50% traktoriaus galios gali būti prarandama tarp padangų ir dirvos paviršiaus sąveikos [9,11–14]. Ši energija nėra tik paprastai iššvaistoma – dalis jos darbo naudojama žemės tankinimui, suslėgimui, o tai dažniausiai

nėra naudinga žemės ūkyje, nes tai įtakoja derliaus kiekį ir kokybę [9,15]. Šios minkštoje dirvoje atsirandančios problemos gali būti išspręstos ir traktoriaus traukos jėga padidinama, didinant traktoriaus masę bei didinant padangų kontakto plotą į dirvos paviršių. Tam puikiai tinka traktoriai su 4x4 pavara, nes jų visas svoris išnaudojamas spaudžiant varančiuosius ratus prie dirvos paviršiaus, be to varančiųjų ratų kontaktinio paviršiaus plotas padidėja, nes varančiųjų ratų skaičius padidėja iki 4 [2,7,11,16]. 4x4 pavara traktoriuose yra svarbi, kadangi svarbu išlaikyti apkrovų pasiskirstymą tarp priekinių ir galinių ratų, kuris atitiktų nustatytas normas.

Kadangi traktoriaus traukos jėga turi didžiausią įtaką degalų sąnaudoms ir darbo laikui, reikalingam žemei įdirbti, tai šių rodiklių optimizavimas yra reikšmingiausias aspektas žemės dirbimo darbų valdyme. Traktoriaus parametrai dažniausiai išreiškiami traukos jėga, kuri galima nuo traktoriaus prikabinimo kablio, arba atitinkamai išreiškiama sukibimo koeficientu  $\mu_{tr}$  [35]:

$$\mu_{tr} = \frac{F_t}{W_t}, \quad (1.5)$$

čia  $F_t$  – traukos jėga ant kablio, N  
 $W_t$  – svorio jėga, N

Kitas svarbus parametras, įtakojantis traktoriaus ekonominius ir našumo rodiklius yra traukos efektyvumas. Varomojo rato traukos naudingumas išreiškiamas koeficientu, kuris parodo perduodamą galią ratams  $\eta_{tr}$  [35]:

$$\eta_{tr} = \frac{F_t \cdot v_a}{T \cdot \omega}, \quad (1.6)$$

čia  $F_t$  – pradinė traukos jėga, N;  
 $v_a$  – tikrasis važiavimo greitis, m/s;  
 $T$  – rato sukimo momentas, Nm;  
 $\omega$  – rato kampinis greitis, ms.

### 1.6. Priekinių ratų paskuba traktoriuose su 4x4 transmisija

Šiuolaikiniai traktoriai su 4x4 pavara dažnai turi standžią pavara tarp priekinių ir galinių ratų. Priešingai negu kelių transporto mašinos, žemės ūkio mašinų pavaros dažniausiai neturi jokio mechanizmo, kompensuojančio ratų diametro pokytį, kuris priklauso nuo apkrovos, padangos elastingumo, oro slėgio, padangos tipo ar susidėvėjimo [4,6,29]. Traktoriuose turi būti parinkti padangų diametrai taip, kad galinis ir priekinis tiltas generuotų vienodus judėjimo greičius dirvožemio paviršiaus atžvilgiu. Galiniai ratai yra didesni už priekinius, todėl priekiniai turi sukis greičiau, nes linijinis greitis turi sutapti su galinių ratų sukimusi arba būti artimi vieni kitiems.

Priekiniai ratai dažniausiai sureguliuojami taip, kad suktųsi greičiau už tinkamiausią visų ratų sukimosi greitį, tai priklauso nuo transmisijos perdavimo koeficiento galiniam ir priekiniam tiltui. Priekinių ratų paskuba vykdoma, kadangi siekiant išgauti tarp galinių ir priekinių ratų tinkamiausią sukimosi greitį dirvos atžvilgiu. Žemės ūkio mašinų transmisijos vienas iš varančiųjų tiltų turi paskubos koeficientą  $S_p$ . Daugumos žemės ūkio mašinų priekiniai ratai yra vedantieji, tai yra sukasi greičiau. Paskubos koeficientas nustatomas [4]:

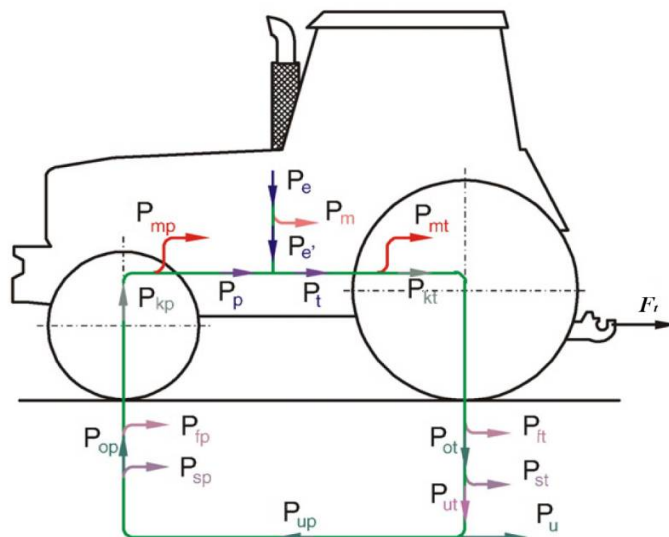
$$S_p = \frac{v_t^p - v_t^g}{v_t^r}, \quad (1.7)$$

čia  $v_t^p$  – priekinių ratų teorinis greitis, m/s  
 $v_t^g$  – galinių ratų teorinis greitis, m/s

Priekinių ratų paskuba žemės ūkio traktoriuose būdinga apie 2-3%. Tai reiškia, kad priekiniai ratai sukasi 2-3% greičiau negu galiniai [4,6]. Šis santykis tarp priekinio ir galinio tiltų nėra standartinis visuose 4x4 pavarų turinčiuose traktoriuose, jis kinta nuo naudojamų padangų dydžio bei tarp skirtingų traktorių modelių. Dažniausiai traktoriuose priekinių ratų paskuba būna nuo 1,5 iki 4 %, nes tyrimais nustatyta, jog nuo 1 iki 5 % priekinių ratų paskuba tinkama, kuomet yra dirbama dirvoje [29]. Teigiama priekinių ratų paskuba niekada neturėtų būti mažesnė negu 1% ir ne didesnė negu 5%, nes viršijus šias ribas padangų deformacijos gerokai padidėja ir padangos greičiau dyla [6].

Kai 4x4 pavarą turintis traktorius dirba su netinkama priekinių ratų paskuba (per didelė paskuba), tuomet darbo metu jis dažnai šokinės ir vibruos dėl pernelyg didelio greičių skirtumo ir dėl to, jog ratai paviršiumi praslys ne vienu metu. Tai dažniausiai nutinka dirbant ant kieto paviršiaus [6,26]. Reikia atlikti tikslius matavimus, norint nustatyti ar paskuba nėra pernelyg didelė. Priekiniai ratai nebeatliks jiems priklausančio darbo jeigu jų paskuba bus per maža. Tai lengviausia nustatyti (minkšta dirva) traukos darbo metu, perjungiant traktorių į dviejų varančiųjų ratų režimą. Perjungus į 2x4 darbo režimą ir ratų praslydimas nepadėjo pastebimai, išvada tokia, kad priekinių ratų paskuba per maža. Galios cirkuliacija atsiranda tada kai galiniai ratai priekinius ratus stengiasi stumti.

Tai gali sukelti transmisijos gedimus, greitesnį padangų nusidėvėjimą, šiurkštų važiavimą, padidėjusį apsisukimo spindulį ir didesnes degalų sąnaudas [5,6,26]. Taip yra sumažinamas traktoriaus naudingumas, didėja padangų dėvėjimasis ir transmisijos komponentų nusidėvėjimas.



**1.12 pav.** Galios pasiskirstymas tarp traktoriaus transmisijos ir dirvos paviršiaus:  $P_{kt}$  ir  $P_{kp}$  – priekinių ir galinių ratų galia, kW;  $P_p$  – ratų varomoji galia, kW;  $P_{ft}$  ir  $P_{fp}$  – riedėjimo pasipriešinimo galia (priekinių ir galinių ratų), kW;  $P_{st}$  ir  $P_{sp}$  – buksavimo galia (priekinių ir galinių ratų), kN;  $P_u$  – traukos galia, kW;  $P_{mt}$  ir  $P_{mp}$  – priekinių ir galinių ratų galios nuostoliai, kW;  $P_m$  – galios nuostolių dedamoji, kW;  $P_{up}$  – galinių ratų galia žemės paviršiumi perduodamas priekiniams ratams, kW;  $P_p$  – priekinių ratų galia per transmisiją perduodama galiniams, kW;  $P_t$  – galinių ratų galia per transmisiją perduodama galiniams, kW;  $P_e$  – variklio perduodama galia transmisijai, kW;  $P_u$  – traukos jėga, F [6]

1.12 pav matome, kaip galia perduodama galiniams ratams,  $P_{kt}$  yra dalinai naudojama šių ratų riedėjimo pasipriešinimui nugalėti  $P_{ft}$  ir jų buksavimui  $P_{st}$ . Dalis likusios galios  $P_{ut}$  yra naudojama kaip  $P_u$  traukos galia, o likusioji dalis per dirvos paviršių perduodama priekiniams ratams  $P_{up}$ . Po to dalis  $P_{up}$  galios prarandama priekinių ratų buksavimui  $P_{sp}$  ir riedėjimo pasipriešinimui  $P_{fp}$ , o likusioji galios dalis kaip  $P_{kp}$  yra perduodama priekinių ratų varančiajai sistemai. Ši sistema dėl galios nuostolių  $P_{mp}$  perduoda galią  $P_p$  galinių ratų varančiajam velenui  $P_t$ , kur ji yra sumuojama su variklio perduodama galia  $P_e$  transmisijai, sukurdamą įeinamą galią galiniam tiltui. Dėl šios galios perdavimo galiniams ratams atsiranda galios nuostoliai varančiajai sistemai  $P_{mt}$  ir galiausiai galia  $P_{kt}$  perduodama galiniams ratams. Kaip rezultatas sukurama nepageidautina galios cirkuliacija ir sistemos nuostoliai.

Žalą sukelia cirkuliuojanti galia ne tik tarp ašių, bet ir tarp priekinių ratų bei galinių ratų paviršių. Todėl traktoriui reikia daugiau jėgos, kad kompensuotų sukeliamus cirkuliacijos nuostolius. Pernelyg didelė priekinių ratų paskuba gali sukelti priekinių ratų šokinėjimą, priekiniai ratai greičiau susidėvės bei žemės paviršius bus sutrintas po priekiniais ratais, nes jie per paviršių bus stumiami. Tai dažniausia pastebima, kai dirbama kietuose paviršiuose [3,6].

Dauguma traktorių yra su skirtingo dydžio padangomis ant priekinės ir galinės ašies. Dauguma šių traktorių yra gaminami taip, jog stovint priekinis tiltas apkraunamas nuo 50 iki 65%

traktoriaus masės. Atlikti tyrimai ir bandymai rekomenduoja, jog šis vertikalios ratų apkrovos santykis būtų išlaikytas ir darbo metu [2,7,16,17]. Dirbdama žemės ūkio technika naudoja įvairius padarbus, todėl natūralu, kad ir apkrova tenkanti ratams nuolat kinta. Dėl šios priežasties naudojant balastines mases rekomenduojama, jog ratų vertikali apkrova tarp priekinio ir galinio tilto nesiskirtų daugiau kaip 10% [3,16].

### **1.7. Literatūros šaltinių apibendrinimas**

Kad didžiausia problema yra tarp dirvos paviršiaus ir traktoriaus padangų sąveikos pripažįsta ir dauguma autorių, todėl kad didelė žemės ūkio traktorių jėgos dalis yra naudojama judėjimo pasipriešinimui, slydimui įveikti, traktoriaus ratų buksavimui, o ne žemės ūkio traktorių traukiamajai galiai sukurti. Todėl sumažėja darbo našumas ir didėja išlaidos. Pasaulio mokslininkai plačiai diskutuoja šia tema. Sprendžiant šias problemas žemės ūkio traktorių serijinėje gamyboje numatoma įdiegti tokias technologijas, kurios leis greitai keisti traktoriaus parametrus priklausomai nuo darbo pobūdžio ar lauko sąlygų.

Norint išgauti, kad traktoriaus galia būtų panaudota efektingai (sumažinti buksavimą, poveikį dirvožemiui, degalų sąnaudas ir kita) kaip rodo analizė, traktoriaus padangų deformacijos yra neišvengiamos. Vienas iš sprendimų - keisti oro slėgį padangose ir balastinį svorį prie skirtingų atliekamų darbo režimų. Didinamas paviršiaus plotas su dirva, tada kai keičiamas slėgis padangose.

Atsiradus kinematiniai nesutapimui dėl skirtingos apkrovos ir kintančių lauko sąlygų, linijiniai teoriniai traktoriaus greičiai būna skirtingi. Žemės ūkio techniką eksploatuojant su skirtingais slėgiais tarp galinių ir priekinių ratų, gali atsirasti kinematinis nesutapimas. To pasekoje, atsiranda galios cirkuliacija, kuri priverčia padangas praslysti arba buksuoti. Traktoriui buksuojant papildomai apkraunas variklis ir transmisija, kuri nėra pageidaujama. Galios cirkuliacija – parazitinė galia.

Atlikus literatūros analizę matome, kad siekiant išgauti geresnį traktoriaus efektyvumą (mažas buksavimas, mažas degalų sąnaudos, mažesni poveikiai dirbai ir kita) yra neišvengiamos padangų deformacijos, todėl keičiasi traktorių 4x4 varančiųjų ratų kinematinis nesutapimas.

## 2. SLĖGIO PADANGOSE ĮTAKOS TRAKTORIAUS EKSPLOATACINIŲ RODIKLIŲ TYRIMO METODAI IR PRIEMONĖS

### 2.1. Slėgio padangose įtakos traktoriaus eksploatacinių rodiklių tyrimo metodologija

Tyrimo pagalba bus bandoma išsiaiškinti, kaip ratinio traktoriaus padangų deformacija priklauso nuo oro slėgio ir vertikalios apkovos, kokia daroma įtaka degalų sąnaudoms bei variklio apkovai.

**Tyrimo metodika:** eksperimentas.

**Eksperimentas** – tai empiriniai tyrimai, padedantys planingai valdant (keičiant, koreguojant) proceso ar reiškinio sąlygas, patikinti priežastinių reiškinių ryšių hipotezes. Pagindinis eksperimentinio tyrimo bruožas yra tas, kad tyrėjas apgalvotai kontroliuoja ir manipuliuoja sąlygomis, kurios lemia dominančius įvykius. Paprasčiau tariant, eksperimentas nustato daromus pokyčius vienam kintamajam, dar kitaip vadinamam nepriklausomu kintamuoju, ir įvertina to pokyčio rezultatą kitame kintamajame, vadinamame priklausomu kintamuoju, ir įvertina to pokyčio rezultatą kitame kintamajame, vadinamame priklausomu kintamuoju.

**Tyrimo tikslas:** nustatyti 4x4 Valtra T-214 Versu traktoriaus varančiųjų ratų kinematinio nesutapimo priklausomybes nuo oro slėgio padangose ir vertikaliose padangų apkrovose, taip pat įvertinti padangų deformacijų įtaką traktoriaus degalų sąnaudoms ir variklio apkrovai.

**Tyrimo objektas.** Tyrimui atlikti buvo panaudotas naujas, ratinis traktorius Valtra T-214 Versu (2.1 pav.). Atliktame tyrime įvairūs padangų deformacijų dydžiai buvo gaunami keičiant oro slėgį padangose ir traktoriaus balastavimą. Bandymo metu naudoto traktoriaus charakteristikos pateikiamos 2.1 lentelėje.



2.1 pav. Ratinis traktorius Valtra T-214 Versu

### 2.1 lentelė. Ratinio traktoriaus Valtra T-214 Versu charakteristikos

Variklis	AGCO Power 7.4
Variklio galia	158 kW prie 1900 aps/min
Maksimalus sukimo momentas	870 Nm prie 1700 aps/min
Transmisijos tipas	automatinė, penkių laipsnių dinaminis reduktorius, dvi pavaros, trys diapazonai
Pavarų skaičius pirmyn / atgal	30 / 30
Traktoriaus masė be balastinio svorio	7100 kg
Ašių apkrova be balastinio svorio	55% - galinė ašis 45% - priekinė ašis
Traktoriaus masė su 630 kg balastiniu svoriu	7730 kg
Ašių apkrova su 630 kg balastiniu svoriu pakabinta ant galinio hidraulinio keltuvo	58% - galinė ašis 42% - priekinė ašis
Radialinės priekinės padangos	MICHELIN MULTIBIB 600/65R28
Radialinės galinės padangos	MICHELIN MULTIBIB 710/70R38
Traktoriaus bazė (atstumas tarp traktoriaus ašių)	275 cm

#### Tyrimo metu panaudotos priemonės:

1. 630 kg balastinis svoris – giluminis purentuvas (2.2. pav.). Norint pakeisti traktoriaus varančiųjų ratų vertikalias apkrovas, ant traktoriaus galinio hidraulinio keltuvo buvo kabinamas giluminis purentuvas.



2.2. pav. Giluminis purentuvas

2. Duomenų registravimui buvo naudojamas nešiojamas kompiuteris su Microsoft Windows programine įranga, Microsoft Office Excel ir „AGCO electronic diagnostic tool“ programos (2.3 pav).





**2.3 pav.** Duomenų registravimo programinė įranga „AGCO electronic diagnostic tool“

4. „AGCO 2x4 CABUSB” diagnostikos sąsaja.

5. Maitinimo šaltinis Nr. 5 (2.3 pav).

6. Tyrimo metu naudotas lazerinis atstumo matuoklis „Bosch PLR 50”, kurio paklaida  $\pm 2$  mm.

7. Manometras „MZM“ nr. 1710 paklaida  $\pm 0,05$  bar.

8. Slėgis padangose keitimui buvo naudota įranga: kompresorius ir oro pripučimo įranga.

### **Tyrimo atlikimo metodika**

Visi bandymai buvo atliekami kietos dangos horizontaliai tiesiame kelyje, kurio atkarpos ilgis 120 m. Bandymai buvo atliekami traktoriui važiuojant tą patį atstumą su išjungtu priekiniu tiltu (2x4 pavara) bei su įjungtu tiltu (4x4 pavara), tačiau visų bandymų metu traktoriaus tiltų diferencialai buvo užblokuoti, o variklio sūkių palaikymo sistemos pagalba, buvo palaikomi 1700 asp/min pastovūs variklio sūkliai, važiavimo greitis – 7,0 km/val.

Iš viso buvo atlikta 80 bandymų, iš jų 40 – traktoriui važiuojant be balastinio svorio ir 40 – su užkabintu 630 kg sveriančiu giluminiu purentuvu traktoriaus gale. Visų tyrimų metu buvo keičiami slėgiai priekinėse ir galinėse traktoriaus padangose – mažinant nuo 2,55 iki 0,75 barų, kiekvieno bandymo metu keičiant slėgį kas 0,45 baro.

Tyrimų metu, programinės įrangos „AGCO electronic diagnostic tool“ pagalba buvo matuojami šie parametrai:

1. variklio apkrova, %;
2. degalų sąnaudos, l/h.

Naudota programinė įranga duomenis fiksavo 4 kartų per 1 sekundę dažnumu. Kiekvieno atlikto bandymo gauti rezultatai buvo saugomi atskiruose „Microsoft Office Excel“ dokumentuose. Registruojant tyrimo metu gautus duomenis, tikslinga buvo panaikinti pradžios ir pabaigos reikšmės. Visa tai buvo daroma, kad būtų galima užtikrinti gautų duomenų tikslumą ir, tuo pačiu, išvengti



degalų sąnaudų ir apkrovos padidėjimo, kuomet traktorius įsibėgėja.

Bandymų metu, buvo matuojamas nuvažiuotas traktoriaus ratų kelias dešimties rato apsisukimų momentu. Taip buvo apskaičiuotas priekinių ir galinių varančiųjų ratų busavimas %.

Galinių ir priekinių traktoriaus ratų buksavimo ar slydimo koeficientas  $\delta$  apskaičiuojamas pagal formulę, %:

$$\delta = \frac{v_t - v}{v_t} = \frac{S_{i\dot{s}.} - S_{ij.}}{S_{i\dot{s}.}} , \quad (2.1)$$

čia  $v_t$  rato teorinis greitis, m/s

$v$  rato faktinis greitis, m/s

$S_{i\dot{s}.}$  kelias per 10 rato apsisukimų, esant išjungtam priekiniam varančiajam tiltui, m

$S_{ij.}$  kelias per 10 rato apsisukimų, esant įjungtam priekiniam varančiajam tiltui, m.

Traktoriaus priekinių ir galinių ratų padangų deformacijos koeficientas apskaičiuojamas sekančiai:

$$\Delta r_d = \frac{S_{i\dot{s}.} - 10 \pi d_0}{20 \pi H} , \quad (2.2)$$

čia  $d_0$  – atitinkamai priekinių ir galinių ratų padangos vidinis skersmuo

$H$  – atitinkamai priekinių ir galinių ratų padangos aukštis

$\pi$  – matematinė konstanta ( $\pi \approx 3.14$ ).

Iš gautų buksavimo/slydimo duomenų apskaičiuotas kinematinio nesutapimo koeficientas  $k_n$  pagal formulę:

$$k_n = \frac{1 - \delta_{gal.}}{1 - \delta_{priek.}} , \quad (2.3)$$

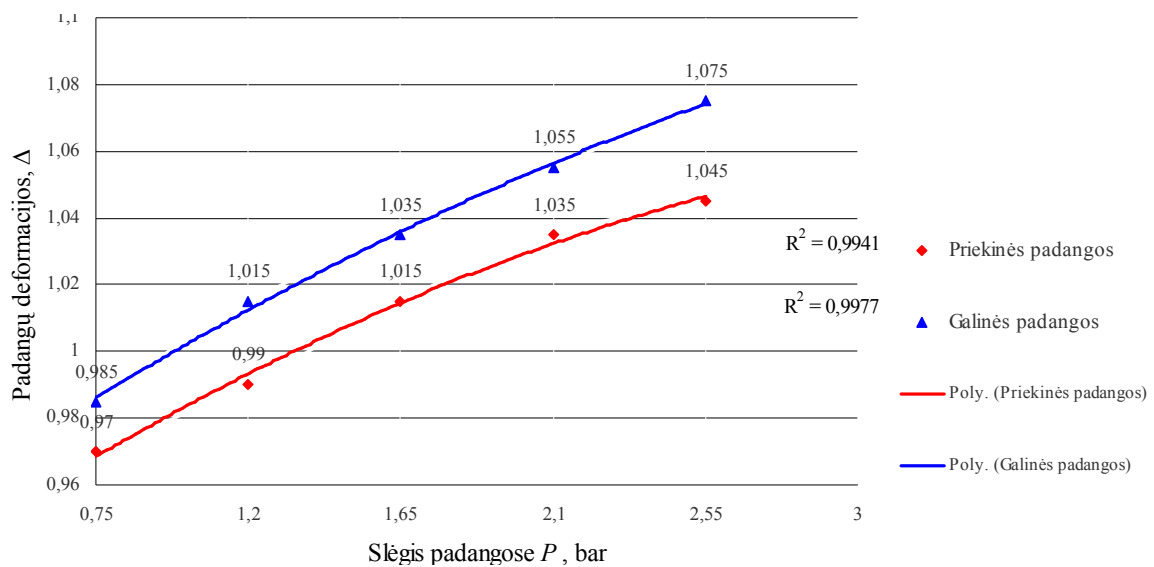
čia  $\delta_{gal.}$  – galinių ratų buksavimo / slydimo koeficientas

$\delta_{priek.}$  – priekinių ratų buksavimo / slydimo koeficientas

### 3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

#### 3.1. Priekinių ir galinių traktoriaus padangų deformacijos

Šio tyrimo metu įvairūs deformacijų dydžiai buvo gaunami keičiant oro slėgį traktoriaus priekinėse ir galinėse padangose. Tyrimui atlikti buvo naudojamas Valta traktorius su visiškai naujomis padangomis. 3.1 pav. atvaizduota neapkrauto traktoriaus ir važiuojančio 1,52 m/s greičiu traukos jėga, taip pat, priekinių ir galinių ratų deformacijų priklausomybės, kurios priklauso nuo slėgio padangose. Padangų deformacijų dydis - koeficientas  $\Delta r$ , tačiau nedeformuotų padangų šis koeficientas yra lygus arba artimas vienetui.

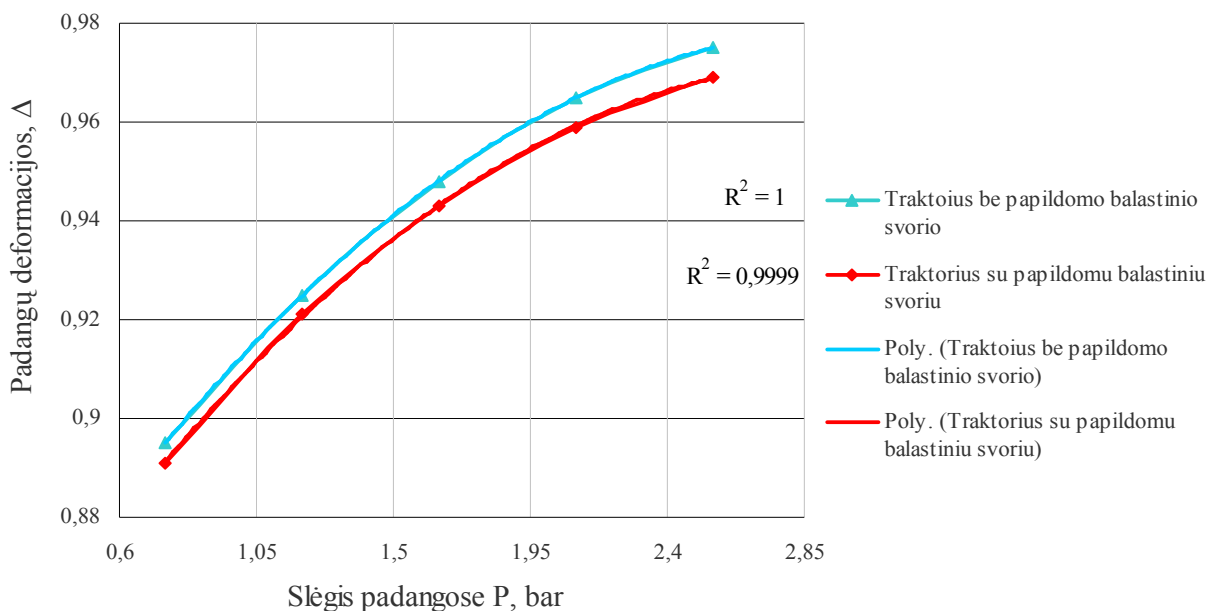


**3.1 pav.** Traktoriaus, judančio 1,52 m/s greičiu, priekinių bei galinių padangų deformacijų koeficiento priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių padangose

3.1 paveiksle pavaizduota kaip deformuojasi galinių ratų padangos esant vienodiems oro slėgiams priekinėse ir galinėse traktoriaus padangose. Toks padangų deformacijų nevienodumas gali būti siejamas su padangų dydžio ir jų vertikalių apkrovų santykių nukrypimais. Taip pat, iš 3.1 paveikslo matoma, jog padangų deformacijai didelę įtaką daro slėgis jose. Padangose sumažinus oro slėgį nuo 2,55 bar iki 0,75 bar, jų deformacijų koeficientų reikšmės sumažėjo 0,08 - 0,09 dydžiu, o priekinių padangų  $\square$  0,09 dydžiu, t.y. nuo 1,045 iki 0,974. Galinių padangų deformacija sumažėjo nuo 1,075 iki 0,985. Pastebima, kad reguliuojant oro slėgius priekinėse ir galinėse padangose galima gauti deformacijas su vienodais jų koeficientais.

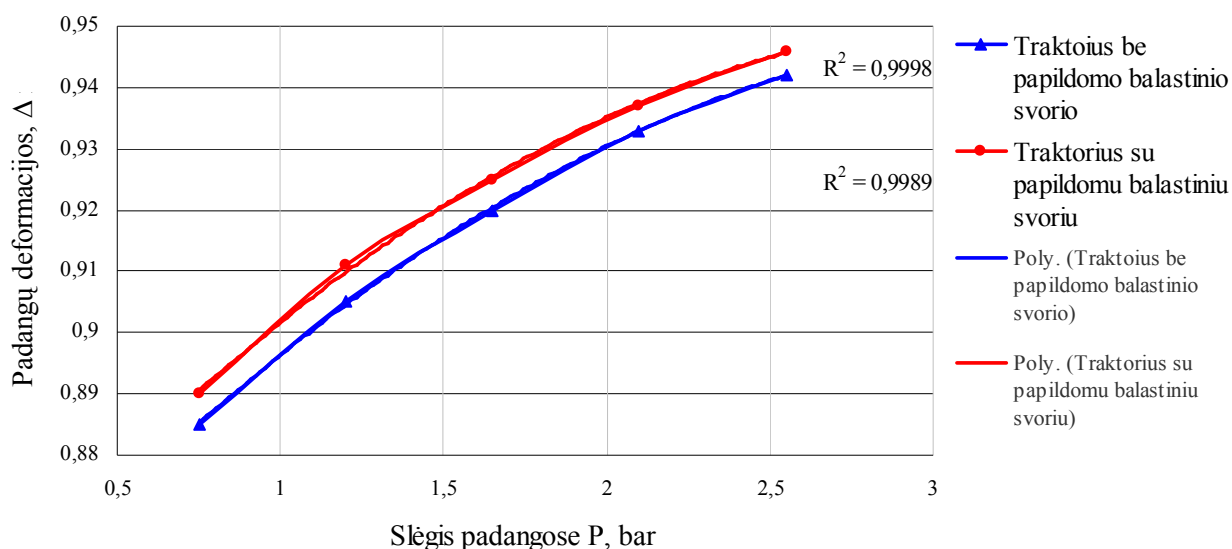
Žemiau pateiktuose paveiksluose (3.2, 3.3) pavaizduotos traktoriaus galinių ir priekinių padangų deformacijų priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių jose, riedant 1,52 m/s greičiu be balastinių svorių, taip pat, ir su 630 kg sveriančiu giluminiu purentuvu ant galinio hidraulinio

keltuvo. Iš šių paveikslų matyti, kaip oro slėgis ir padangų vertikalios apkrovos lemia traktoriaus padangų deformaciją. Galinių ratų padangų deformacijų koeficientas padidėjo nuo 0,005 iki 0,008, o priekinių padangų sumažėjo nuo 0,004 iki 0,005 dydžio ribose, kuomet ant traktoriaus galinio hidraulinio keltuvo buvo pritvirtintas 630 kg balastinis svoris. 4x4 traktoriaus priekinių ratų paskubos dydžiui įtakos turėjo priekinių ir galinių ratų padangų deformacijos, kurios atsirado dėl balastinio svorio.



**3.2. pav.** Galinių traktoriaus ratų padangų deformacijų koeficiento priklausomybės nuo skirtingų slėgių

Iš 3.3. paveikslu matome, kad priekinių traktoriaus padangų deformacija sumažėjo 0,004-0,005 dydžio ribose, kai prie traktoriaus buvo pritvirtintas giluminis purentuvas.

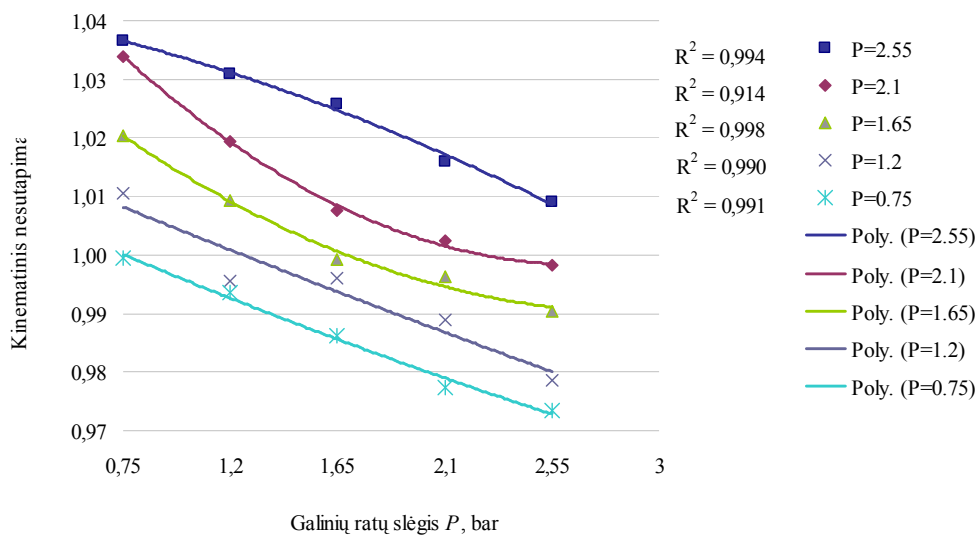


**3.3 pav.** Traktoriaus priekinių padangų deformacijų koeficiento priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių jose

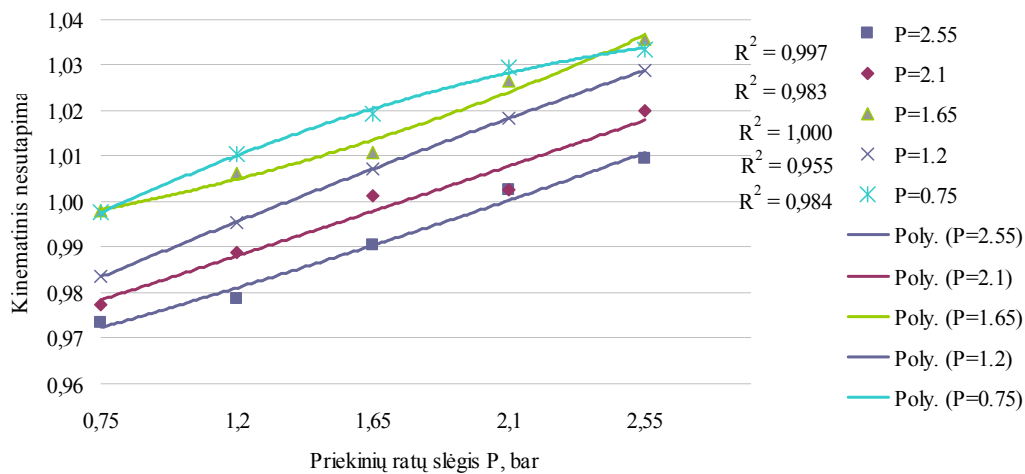
### 3.2. Taktoriaus eksploataciniai rodikliai be giluminio purentuvo, su įjungta 4x4 pavara

#### 3.2.1. Kinematinis nesutapimas tarp priekinių ir galinių ratų

Atlikus traktoriaus eksploatacinių rodiklių bandymus ir išanalizavus gautus duomenis, nustatyta kinematinio nesutapimo priklausomybė, kuri priklauso nuo oro slėgio priekinėse ir galinėse traktoriaus padangose ir atvaizduota 3.4 ir 3.5 paveiksluose. Iš paveikslų matoma, kad mažiausias kinematinis nesutapimas tarp priekinių ir galinių ratų yra esant vienodo dydžio slėgiams padangose. Nesutapimo koeficientas kinta neženkiai, kadangi slėgiai padangose yra artimi vieni kitiems, todėl priekinės ir galinės padangos deformuojasi proporcingai. Padangų sukimosi greičiai kito neženkiai, kadangi priekinių ir galinių ratų spindulių santykis tyrimo metu nebuvo pakitęs.



3.4 pav. Kinematinio nesutapimo priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių galinėse traktoriaus padangose



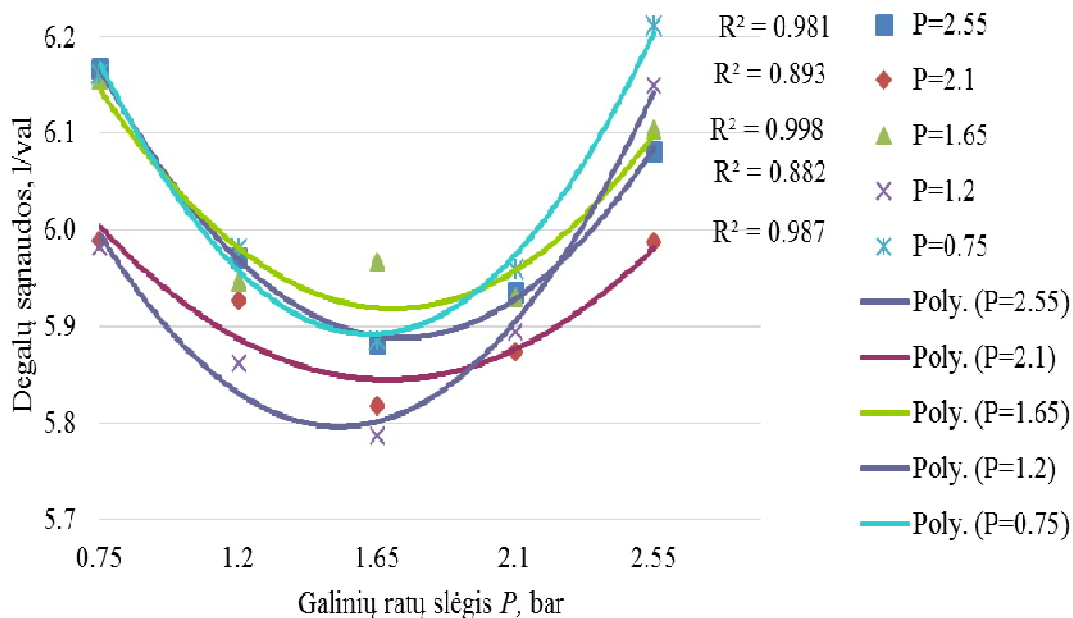
3.5 pav. Kinematinio nesutapimo priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių priekinėse traktoriaus padangose

Didžiausi kinematiniai nesutapimai pastebėti, kuomet galinėse padangose oro slėgis buvo 2,55 bar, o priekinėse - 0,75 bar, tuomet kinematinis koeficientas buvo 0,973. Kai galinėse padangose slėgis buvo 0,75 bar, o priekinėse - 2,55 bar, koeficientas siekė 0,998. Kiekvieno atlikto bandymo metu, esant vienodiems oro slėgiams traktoriaus padangose, mažiausias kinematinio nesutapimo koeficientas buvo artimas 1,0. Iš to seka, kad kinematinio nesutapimo nebuvo, kai priekinėse ir galinėse traktoriaus padangose slėgiai buvo vienodi.

Iš gautų tyrimo rezultatų matome, jog galinėse padangose esant mažesniai oro slėgiui nei priekinėse, priekiniai traktoriaus ratai buksavo, o galiniai - slydo. Tokia situacija yra labai palanki dirbant traktoriui laukuose su apkrauta didele traukos jėga. Esant tokiai situacijai buksuoja traktoriaus priekiniai ir galiniai ratai, tik priekinių ratų buksavimas bus atitinkamai didesnis už galinių ratų buksavimą.

### 3.2.2. Traktoriaus degalų sąnaudos

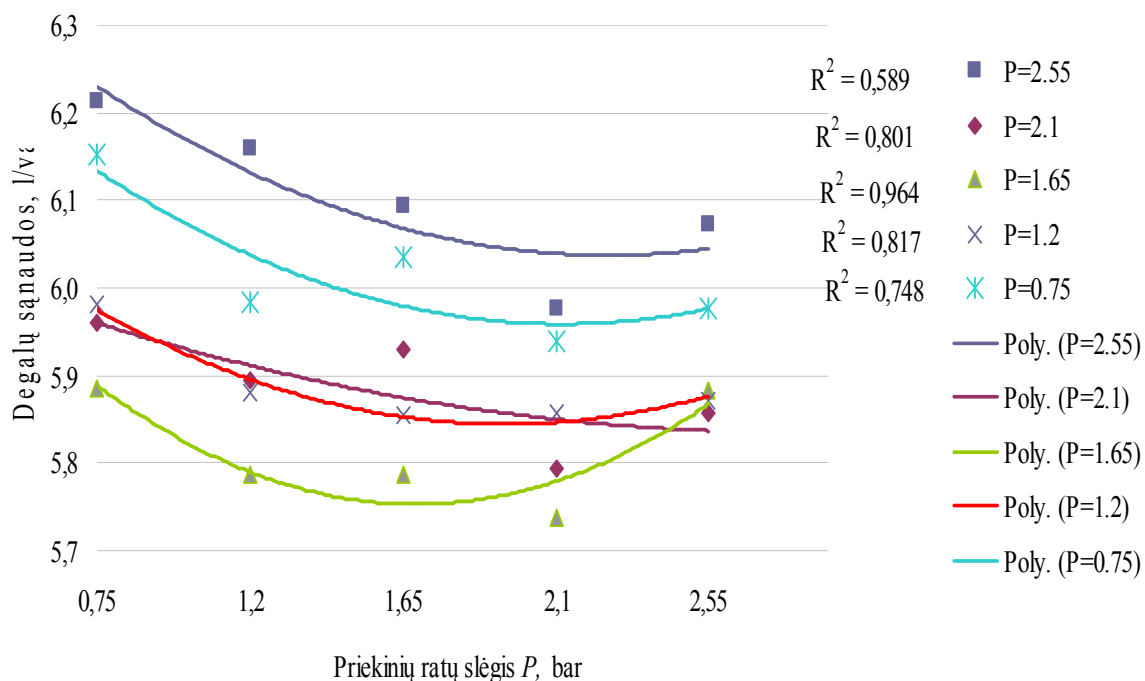
3.6 paveiksle pateikiama degalų sąnaudų priklausomybė nuo skirtingų oro slėgių galinių ratų padangose. Iš pateikto paveikslo matoma, jog mažinant oro slėgį nuo 2,55 bar iki 1,65 bar galinių ratų padangose, degalų sąnaudos sumažėjo, tačiau ir toliau mažinant slėgį nuo 1,65 bar iki 0,75 bar degalų sąnaudos didėjo.



**3.6 pav.** Degalų sąnaudų priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių traktoriaus galinėse padangose

Visų atliktų 40 bandymų metu, kai galinių padangų slėgis buvo apie 1,65 bar, degalų sąnaudos buvo mažiausios. Tokių degalų sąnaudų kitimą galime sieti su riedėjimo pasipriešinimo didėjimu ir

važiavimo greičio mažėjimu, to priežastis yra padangų deformacija. Dėl susidariusios deformacijos mažėjant greičiui, mažėja traktoriaus varančioji galia ir degalų sąnaudos. Traktoriaus padangose mažinant slėgį nuo 1,65 bar iki 0,75 bar degalų sąnaudų didėjimas galėjo atsirasti dėl intensyvesnio riedėjimo jėgos pasipriešinimo.



**3.7 pav.** Degalų sąnaudų priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių traktoriaus priekinėse padangose

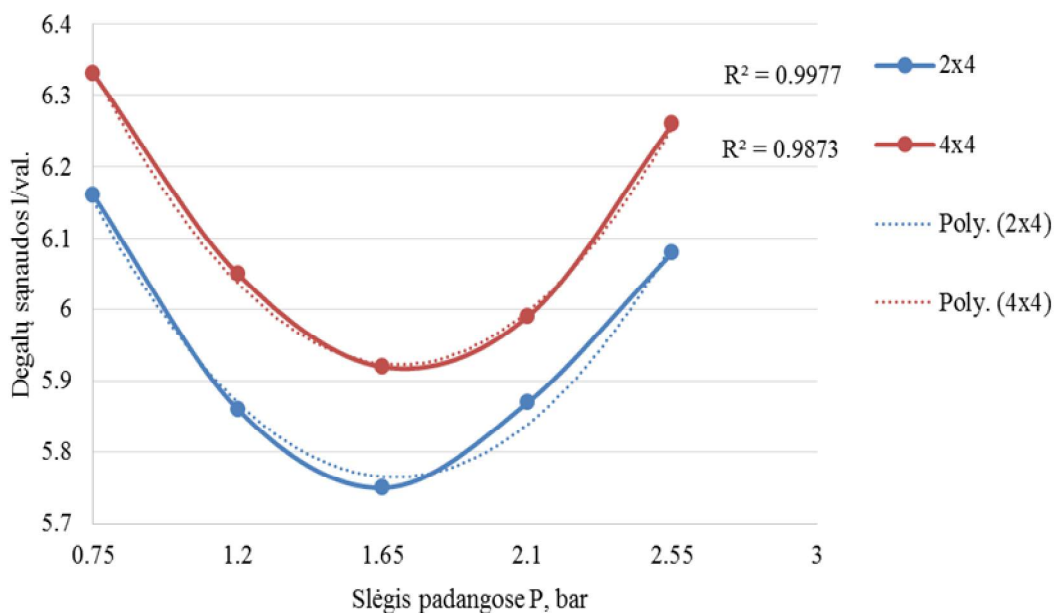
3.7 pav. pastebima, jog mažiausi traktoriaus kuro sunaudojimai buvo tuomet, kai slėgis priekiniuose ratuose siekė 2,1 bar ir 1,65 bar.

Lyginant 3.6 paveiksle išsidėsčiusius taškus su 3.7 paveikslo taškais, pastebima, kad antrajame paveiksle taškai išsidėstė tolygiau negu pirmajame. Tokius rezultatus galėjo nulemti tai, jog priekiniai traktoriaus ratai visuomet buna mažesni nei galiniai, kadangi priekinių ratų paskirtis – vairuoti.

Mažiausios (5,74 l/val.) degalų sąnaudos nustatytos esant 2,1 bar slėgiui priekiniuose ratuose ir 1,65 bar - galiniuose. O didžiausios (6,21 l/val.) degalų sąnaudos pastebėtos tuomet, kai slėgis priekinėse ratų padangose buvo 0,75 bar ir 2,55 bar – galinėse.

3.8 paveiksle pateiktos traktoriaus degalų suvartojimo priklausomybės nuo oro slėgių padangose, esant vienodiems slėgiams priekinėse ir galinėse padangose be giluminio purentuvo.

Dažnai yra naudojama tokia taisyklė: degalų sąnaudos yra tuo mažesnės, kuo slėgis priekinėse ir galinėse padangose vienodesnis, t.y. kinematinis ratų nesutapimas yra mažiausias.

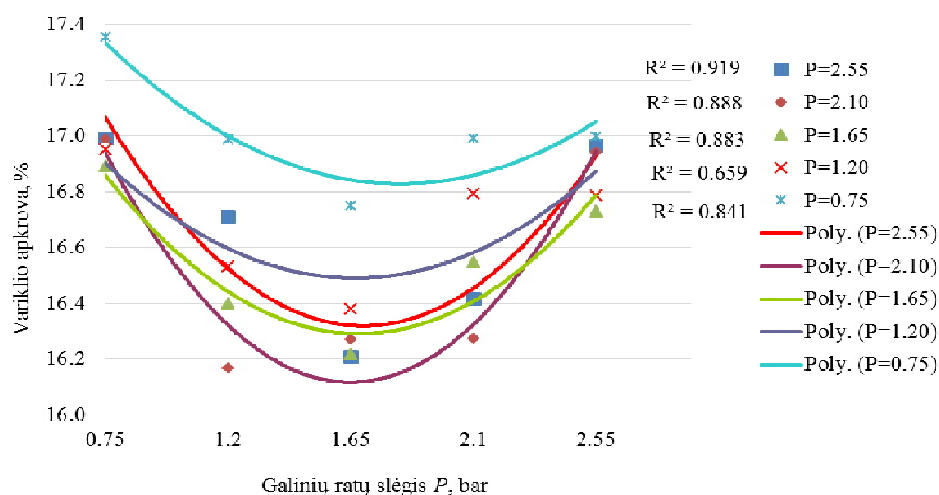


**3.8 pav.** Degalų suvartojimo priklausomybės nuo oro slėgių padangose, esant vienodiems slėgiams traktoriaus priekinėse ir galinėse padangose

Iš 3.8 paveikslo matyti, jog mažinant oro slėgį tiek priekinėse, tiek galinėse padangose nuo 2,55 bar iki 1,65 bar, kuro suvartojimas sumažėjo, bet ir toliau mažinant slėgį padangose – kuro suvartojimas didėjo. Mažiausios degalų sąnaudos buvo tuomet, kai traktorius judėjo su 2x4 įjungta pavara ir slėgis traktoriaus padangose siekė 1,65 bar, jos siekė 5,77 l/val. Didžiausios degalų sąnaudos buvo traktoriui važiuojant su įjungta 4x4 pavara ir sudarė 6,32 l/val. Toks degalų suvartojimas siejamas su sunkiasvorės priemonės riedėjimo pasipriešinimo didėjimu bei jos važiavimo greičio sumažėjimu, kuris atsirado dėl padangų deformacijos. Pastebima, kad traktoriui judant su įjungta 4x4 pavara, vidutinės degalų sąnaudos buvo didesnės apie 0,14 l/val negu judant 2x4 įjungta pavara.

### 3.2.3. Varikliui tenkanti apkrova

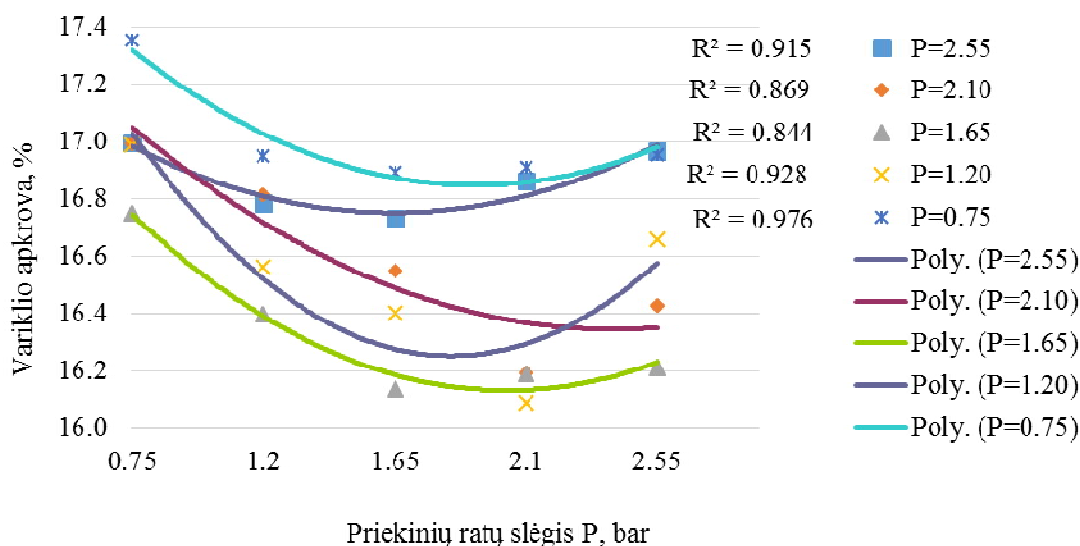
3.9 paveiksle pateikiama traktoriui tenkančios variklio apkrovos priklausomybės nuo skirtingų slėgių galinėse traktoriaus padangose. Mažiausia varikliui tenkanti apkrova būna tuomet, kai slėgis galinių ratų padangose svyruoja nuo 1,2 bar iki 2,1 bar, tačiau išskirti mažiausios traktoriaus varikliui tenkančios apkrovos nėra tikslinga, kadangi kreivės, tiek esant mažam, tiek esant didesniam oro slėgiui padangose, susikerta viena su kita. Tik ryškiausiai išsiskiria didžiausia variklio apkrova, tuomet kai oro slėgis galiniuose traktoriaus ratuose buvo mažiausiais - 0,75 bar. Tuo metu didžiausia apkrova siekė 17,38 %, taip pat, kinematinio nesutapimo vidurkis buvo didžiausias.



**3.9. pav.** Traktoriaus variklio apkrovos priklausomybės nuo skirtingų slėgių traktoriaus galinėse padangose

Antrojo atlikto bandymo metu, kai priekinių ratų slėgis buvo 2,1 bar, gautas kinematinis nesutapimas visais atvejais buvo didesnis už trečiojo bandymo metu, kai priekinių ratų slėgis - 1,65 bar, gautus rezultatus. Antrojo bandymo metu, traktoriaus varikliui tenkanti apkrova buvo mažesnė apie 0,2 %. Toks gautas rezultatas parodo, jog variklio apkrovos didumą nulemia ne tik kinematinis nesutapimas, tačiau ir padangų deformacijos, todėl mažėjant slėgiams padangose - didėja variklio apkrova. Galinėse traktoriaus padangose slėgiui mažėjant, taip pat mažėja kinematinis nesutapimas, tačiau varikliui tenkanti apkrova didėja (3.9 pav.).

3.10 paveiksle vaizduojama traktoriaus variklio apkrovos priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių priekinėse traktoriaus padangose.



**3.10 pav.** Traktoriaus variklio apkrovos priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių priekinėse padangose



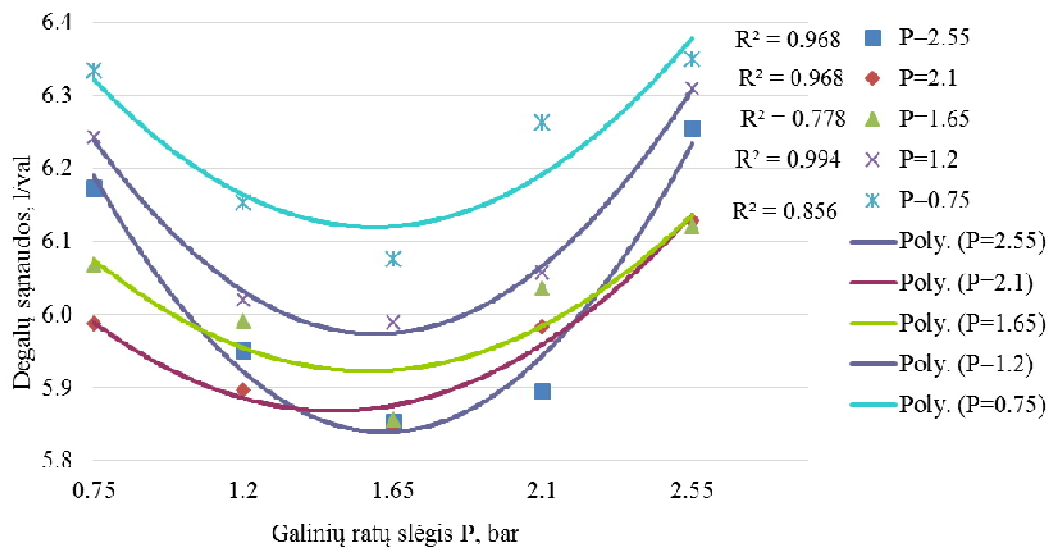
Matoma, kad mažiausia varikliui tenkanti apkrova buvo tuomet, kai priekinių padangų pastovi konstanta P buvo 1,65. Vidutinė mažiausia varikliui tenkanti apkrova siekė 16,34 %, o didžiausia – 17,01 %, kuomet konstanta buvo 0,75.

Padangų deformacijų įtaka variklio apkrovai geriausiai pastebima, kai priekinių traktoriaus ratų slėgis 0,75 bar, o mažiausiai – esant 2,55 bar padangų slėgiui.

### 3.3. Traktoriaus eksploataciniai rodikliai be papildomo balastinio svorio, su įjungta 2x4 pavara

#### 3.3.1. Degalų sąnaudos

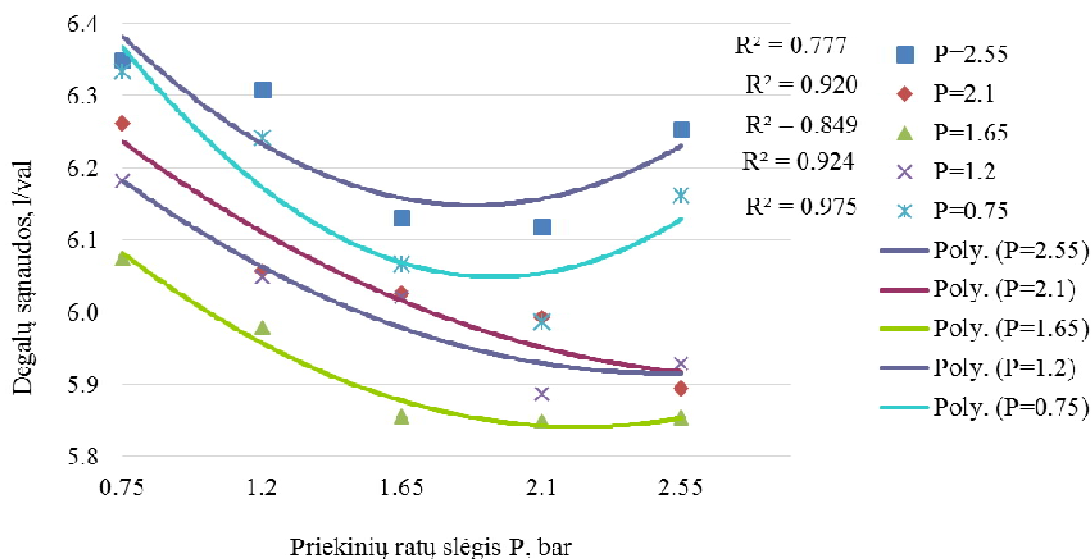
Iš 3.11 paveikslo matome, kad traktoriui važiuojant su išjungtu priekiniu tiltu, t.y. 2x4, degalų suvartojimas buvo mažiausias kai galinių padangų slėgis buvo 1,2 bar ir degalų sąnaudos tuo metu siekė 5,86 l/val. Sumažėjus oro slėgiui padangose, padidėjo padangų deformacijos, taip pat padidėjo riedėjimo pasipriešinimo jėga, tačiau degalų sąnaudos sumažėjo. Didžiausias degalų suvartojimas atsirado tuomet kai traktoriaus galinių padangų slėgis buvo 2,55 bar ir siekė 6,35 l/val.



**3.11 pav.** Degalų sąnaudų priklausomybės nuo oro slėgio galinėse traktoriaus padangose

Tiriant degalų sąnaudų priklausomybę nuo slėgio kitimo galinių traktoriaus ratų padangose (3.11 pav.), didžiausia priklausomybė pastebima bandymo metu, kai priekiniuose ratuose slėgis buvo 0,75 bar. Šio bandymo metu visais atvejais degalų sunaudojimas buvo didžiausias. Penktojo bandymo metu, kai priekinių ratų padangų slėgis buvo 0,75 bar, vidutinės degalų sąnaudos buvo 6,23 l/val.. Lyginant šį bandymą su ekonomiškiausiu antruoju bandymu, kai priekinių ratų padangų slėgis buvo 2,1 bar, vidutinės degalų sąnaudos siekė apie 6,05 l/val, t.y. degalų sąnaudos buvo didesnės 0,18 l/val.

Iš 3.12 paveikslo matoma, jog traktoriui važiuojant su išjungtu priekiniu tiltu, degalų sąnaudos buvo mažiausios, tada kai priekinių ratų padangų slėgis siekė 2,1 bar, Didžiausios degalų sąnaudos nustatytos, kai priekinių ratų padangų slėgis buvo 0,75 bar.



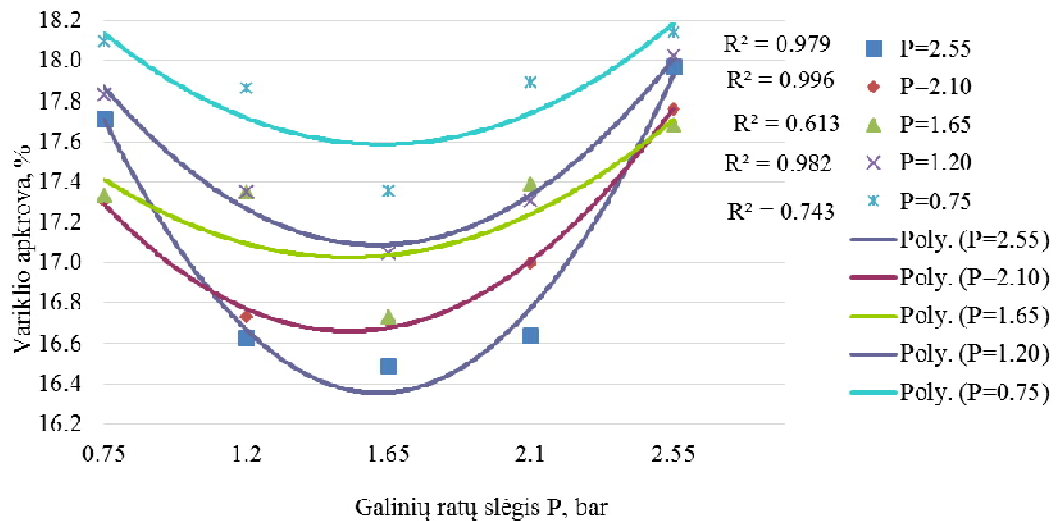
**3.12 pav.** Degalų suvartojimo priklausomybės nuo oro slėgio priekinėse traktoriaus padangose

3.12 paveiksle bandymų rezultatų kreivės išsidėsto tolygiau, lyginant su 3.11 paveikslu. Visais bandymų atvejais, kai slėgis piekinėse padangose mažėjo, o galinių padangų - kito nuo 2,1 bar iki 1,2 bar, degalų sąnaudos didėjo. Bandymų metu, kai galinių padangų pastovus slėgis siekė 2,55 bar ir 0,75 bar, o priekinėse padangose mažėjo iki 2,1 bar, degalų suvartojimas sumažėjo, tačiau ir toliau keičiant slėgį (jį mažinant) – degalų sąnaudos neženkliai didėjo. Tokį degalų suvartojimo didėjimą, kuomet galinių traktoriaus padangų slėgis buvo 2,55 bar, nulėmė kinematinio nesutapimo didėjimas. O esant galinių traktoriaus padangų pastoviam slėgiui 0,75 bar, degalų sąnaudų didėjimą nulėmė didėjanti technikos riedėjimo pasipriešinimo jėga.

### 3.3.2. Traktoriaus variklio apkrova

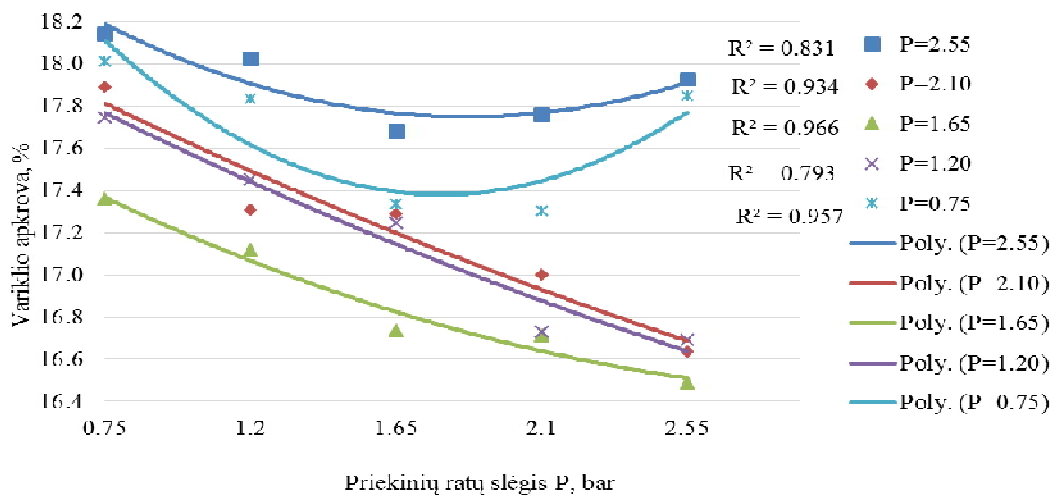
Pastebima, kad 3.12 pav. ir 3.13 pav. bandymų rezultatų kreivės išsidėsčiusios labai panašiai, t.y. taupiausi ir nuostolingiausi režimai yra esant tokiems patiems padangų slėgiams. Iš to galime daryti išvadą, kad degalų suvartojimas priklauso nuo variklio apkrovos.

Ryškiausiai 3.13 paveiksle pastebimi paskutiniojo bandymo rezultatai, kai pastovus priekinių traktoriaus ratų slėgis siekė 0,75 bar. Atlikto bandymo metu, variklio apkrova buvo didžiausia ir ji sudarė 17,87 %.



**3.13 pav.** Variklio apkrovos priklausomybės nuo oro slėgio traktoriaus galinėse padangose

Iš 3.13 pav. matome, kad mažiausias variklio apkrovos režimas buvo, tuomet kai priekinėse padangose oro slėgis siekė 2,55 bar, o galinėse - nuo 2,1 iki 1,2 bar. Šio bandymo metu vidutinė variklio apkrova buvo 17,09%, t.y. 0,78% mažiau negu ankstesnio bandymo metu.



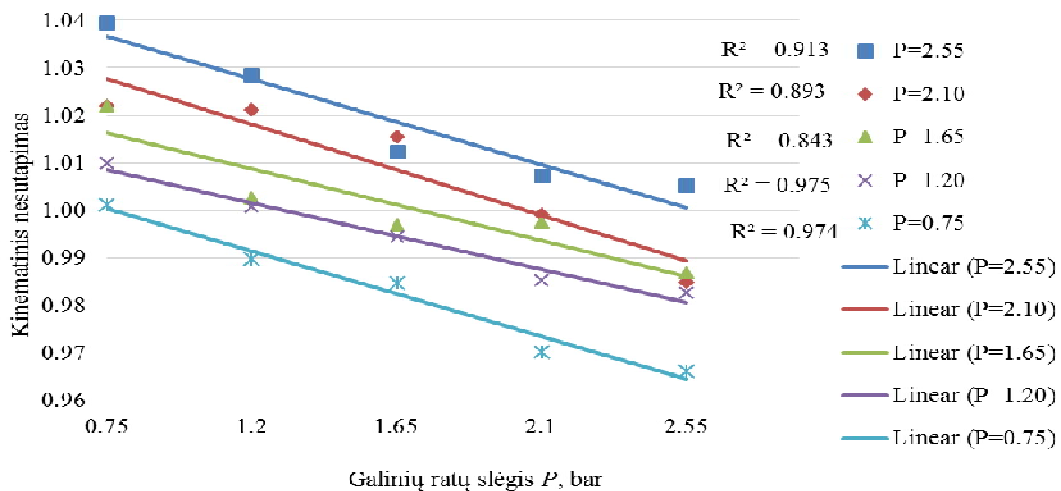
**3.14 pav.** Variklio apkrovos priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių traktoriaus priekinėse padangose

3.14 paveiksle matoma, jog didžiausia vidutinė variklio apkrova siekė 17,91%, kai pastovus oro slėgis galiniuose ratuose buvo 2,55 bar. Variklio apkrovos priklausomybės nuo skirtingų slėgių priekinėse traktoriaus padangose, akivaizdžiai pastebimos tuomet, kai pastovus oro slėgis galinių ratų padangose siekė 1,65 bar ir mažiausia vidutiniška apkrova siekė 16,88%. Lyginant didžiausias ir mažiausias vidutines variklio apkrovas, skirtumas tarp šių apkrovų sudarė 1,03%.

### 3.4. Traktoriaus eksploataciniai rodikliai esant užkabintam 630 kg papildomam balastiniam svoriui ant galinio hidraulinio keltuvo ir su įjungta 4x4 pavara

#### 3.4.1. Kinematinis nesutapimas

Atlikus 40 bandymų su užkabintu 630 kg balastiniu svoriu ant galinio traktoriaus hidraulinio keltuvo ir išanalizavus gautus rezultatus, nustatyta kinematinio nesutapimo priklausomybė, kuri priklauso nuo oro slėgių priekinėse ir galinėse traktoriaus padangose. Papildomas balastinis svoris labai didelės įtakos rezultatams neturėjo. Iš 3.15 ir 3.16 paveikslų matoma, kad esant vienodiems slėgiams padangose, kinematinis nesutapimas yra mažiausias. Mažiausias kinematinis nesutapimas pastebėtas judant traktoriui be balastinio svorio. Tačiau, kinematinis nesutapimas kinta kas 0,001, net tuomet kai slėgiai padangose yra artimi vienas kitam. Bandymų metu pastebėta, kad traktoriaus ratų deformacijos neženklios, todėl ratų spinduliai išlieka beveik nepakitę, o ratų sukimosi greičiai - nekinta.

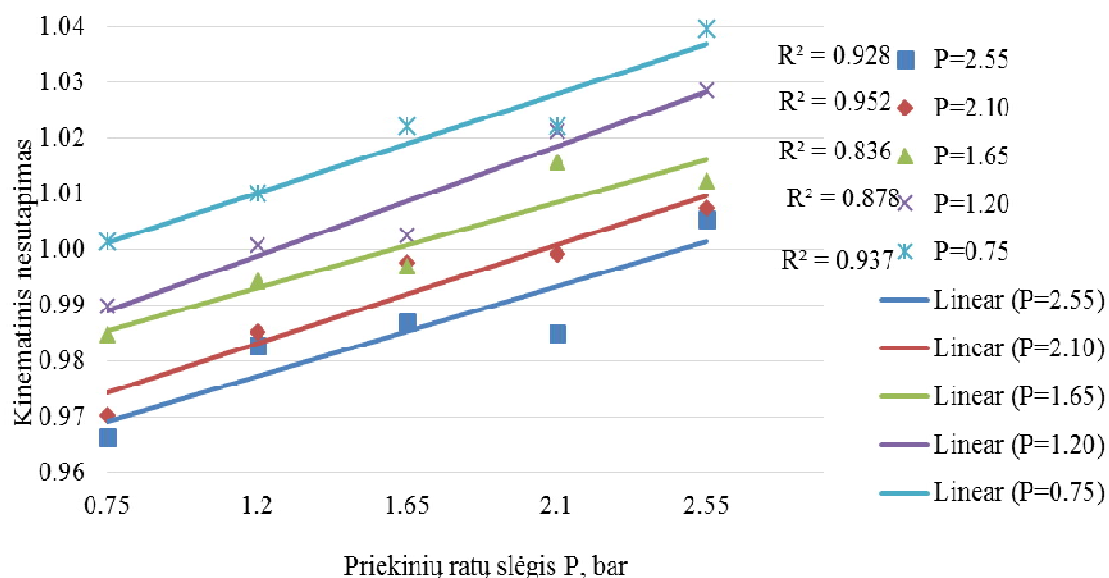


**3.15 pav.** Kinematinio nesutapimo priklausomybės nuo oro slėgio traktoriaus galinėse padangose

3.15 paveiksle matyti, kad mažiausias kinematinio nesutapimo koeficientas bandymo metu buvo 0,966 tuomet kai galinėse traktoriaus padangose slėgis buvo 2,55 bar, o priekinėse – 0,75 bar. Didžiausias kinematinio nesutapimo koeficientas 1,042 buvo gautas, kuomet slėgis galinėse padangose siekė 0,75 bar, priekinėse – 2,55 bar.

Lyginant bandymus, pastebima, jog traktoriui važiuojant su balastine apkrova, kinematiniai nesutapimai buvo 0,004 punkto didesni, nei važiuojant tą patį atstumą be apkrovos. Didžiausi kinematinio nesutapimo koeficientai buvo 0,963 ir 1,042, iš to seka, kad 0,079 punkto koeficientas didesnis už bandymą atliktą be balastinio svorio. Nesutapimai padidėjo, kadangi pasikeitė ratų vertikalios apkrovos, galinis tiltas buvo apkrautas daugiau, tačiau apkrova priekiniam tiltui sumažėjo. Taip pat, atsiradus didesnei galinių ratų deformacijai, sumažėjo rato riedėjimo spindulys

ir teorinis sukimosi greitis.



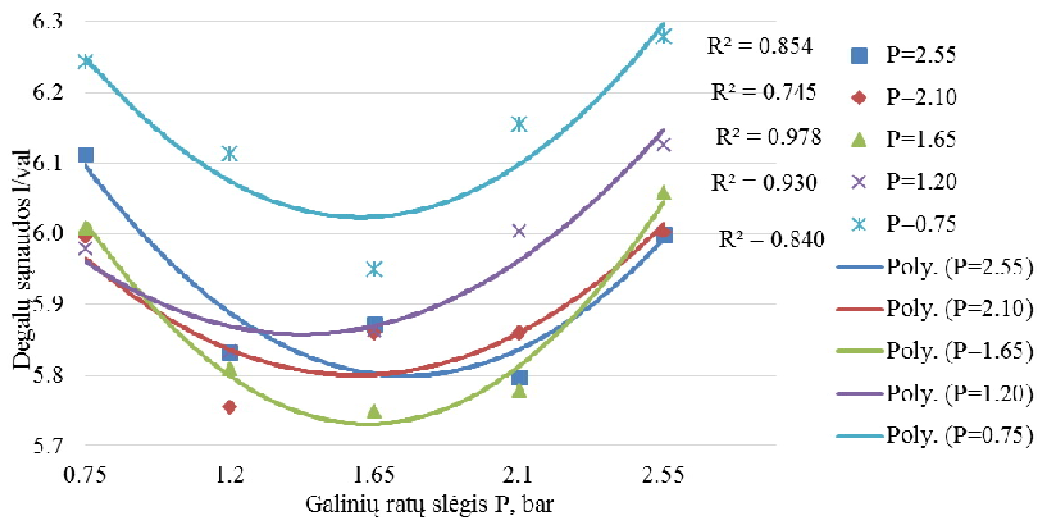
**3.16 pav.** Kinematinio nesutapimo priklausomybės nuo oro slėgio traktoriaus priekinėse padangose

Atlikus bandymus, pastebėta, kad su papildomu balastiniu svoriu – giluminiu purentuvu, mažiausias kinematinio nesutapimo koeficientas buvo artimas 1,0, tai yra kai priekinėse ir galinėse padangose slėgis buvo vienodas, kinematinio nesutapimo nebuvo. Toks pats koeficientas buvo gautas ir atliekant bandymus be balastinio 630 kg svorio.

Eksperimento metu pastebėta, jog galinėse traktoriaus padangose esant mažesniai slėgiui negu priekinėse, priekiniai ratai buksavo, o galiniai slydo. Šio eksperimento rezultatai nepakito, lyginant ankstesnį bandymą be papildomo svorio, kai ant galinio hidraulinio keltuvo buvo uždėtas balastinis svoris. Esant tokiai situacijai, kai traktorius apkrautas didele traukos jėga, dirbant laukuose, jo priekiniai ir galiniai ratai buksuoja. Priekinių ratų buksavimas yra proporcingai didesnis už galinių ratų buksavimą.

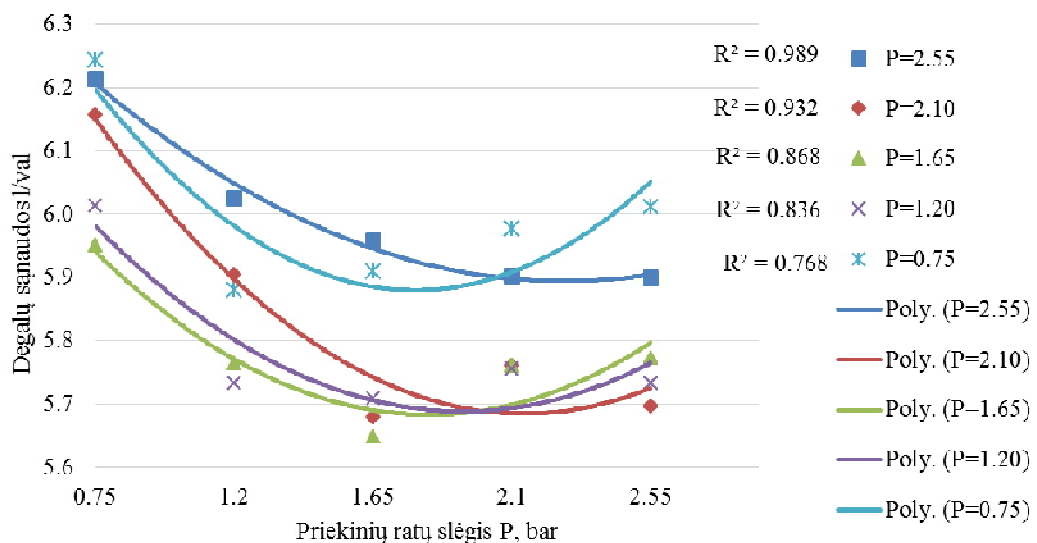
### 3.4.2. Degalų sąnaudos

Traktoriui važiuojant su papildomu svoriu, visi tyrimo metu gauti rezultatai išsidėstė panašiai kaip ir anksčiau atliktuose bandymuose, kai traktorius važiavo be balastinio svorio. 3.17 paveiksle pastebima, jog degalų sąnaudos buvo mažiausios esant 1,65 bar slėgiui priekinėse traktoriaus padangose, o galinių padangų slėgiui svyruojant nuo 2,1 bar iki 1,2 bar. Tuo atveju, kreivė buvo žemiausiame taške ir išsidėstė žemiau kitų kreivių, gautų bandymo metu. Vidutinės degalų suvartojimo sąnaudos pačiu ekonomiškiausiu šio tyrimo momentu buvo 5,79 l/val.



**3.17 pav.** Degalų sąnaudų priklausomybės nuo oro slėgio traktoriaus galinėse padangose

Iš 3.17 paveikslo matome, kad didžiausios vidutinės traktoriaus kuro sąnaudos buvo tuomet kai priekinėse padangose pastovus slėgis buvo 0,75 bar ir jos siekė 6,00 l/val. Lyginant su kitais bandymais, šio bandymo kuro suvartojimas buvo 0,21 l/val. didesnis nei ankstesniais bandymais. Tai parodo, kad esant didelėms padangų deformacijoms, degalų suvartojimas padidėja.



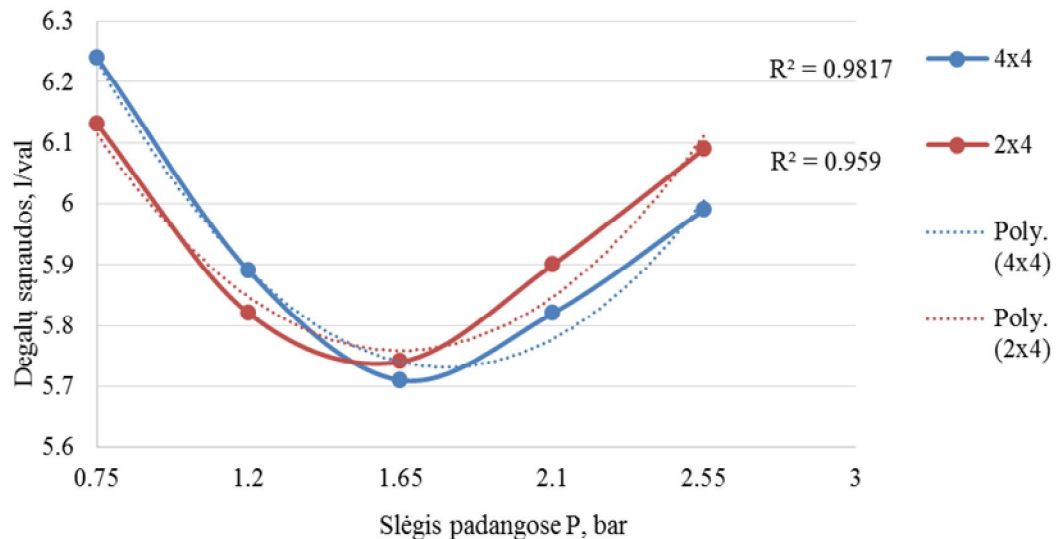
**3.18 pav.** Degalų sąnaudų priklausomybės nuo oro slėgio traktoriaus priekinėse padangose

Mažiausios degalų sąnaudos, abiem atvejais buvo esant 1,65 bar slėgiui priekinėse ir galinėse padangose, o didžiausios – 0,75 bar. Nors priekinėse ir galinėse padangose slėgiai buvo vienodi ir kinematinio nesutapimo nebuvo, tačiau degalų sąnaudos buvo didžiausios ir svyravo nuo 6,1 l/val iki 6,2 l/val. Visa tai nulėmė susidaręs didelis riedėjimo pasipriešinimas, kurį sukėlė padangų deformacijos.

3.18 pav. atvaizduoto bandymo rezultatų kreivė, kai pastovus slėgis galinėse padangose buvo

2,55 bar, ne daug skyrėsi nuo kreivės, kurios pastovus galinių ratų slėgis buvo 0,75 bar. Nežiūrint to, vidutinės degalų sąnaudos tolygiai didėjo, didėjant priekinių traktoriaus padangų deformacijoms.

3.19 pav. pateikiama traktoriaus, su 630 kg balastiniu svoriu, ant galinio hidraulinio keltuvo, degalų sąnaudų priklausomybės nuo oro slėgio padangose esant vienodiems slėgiams priekinėse ir galinėse padangose.



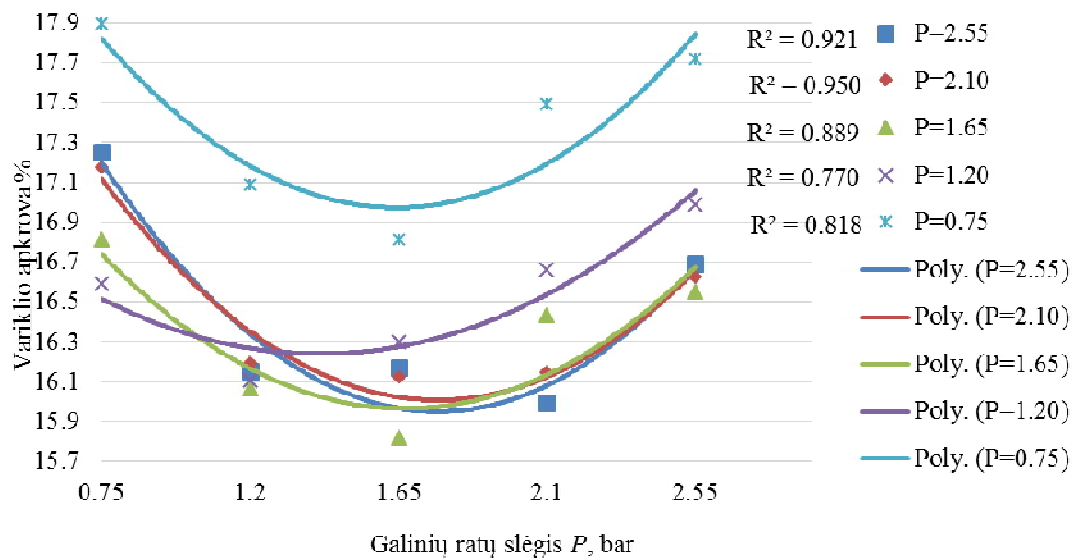
**3.19 pav.** Degalų sąnaudų priklausomybės nuo oro slėgio padangose, esant vienodiems slėgiams priekinėse ir galinėse padangose

Iš aukščiau pateikto paveikslo, matyti, kad mažinant oro slėgį priekinėse ir galinėse padangose iki 1,65 bar, degalų suvartojimas mažėjo. Toliau mažinant slėgį padangose, kuro sąnaudos didėjo. Pagal gautus duomenis, nustatyta, jog mažiausios degalų sąnaudos buvo tuomet kai slėgis padangose buvo apie 1,65 bar.

Taip pat, pastebima, kad traktoriui važiuojant su įjungtu priekiniu tiltu degalų sąnaudos buvo didesnės 0,01 l/val. Degalų sąnaudų pokytis, lyginant 4x4 su 2x4 režimus, yra mažesnis traktoriui važiuojant su balastiniu svoriu, nei be jo. To priežastimi, galime įvardinti traktoriaus vertikalų apkrovų pasiskirstymą. Traktorių papildomai balastavus, priekinio tilto apkrova sumažėja.

### 3.4.3. Variklio apkrova

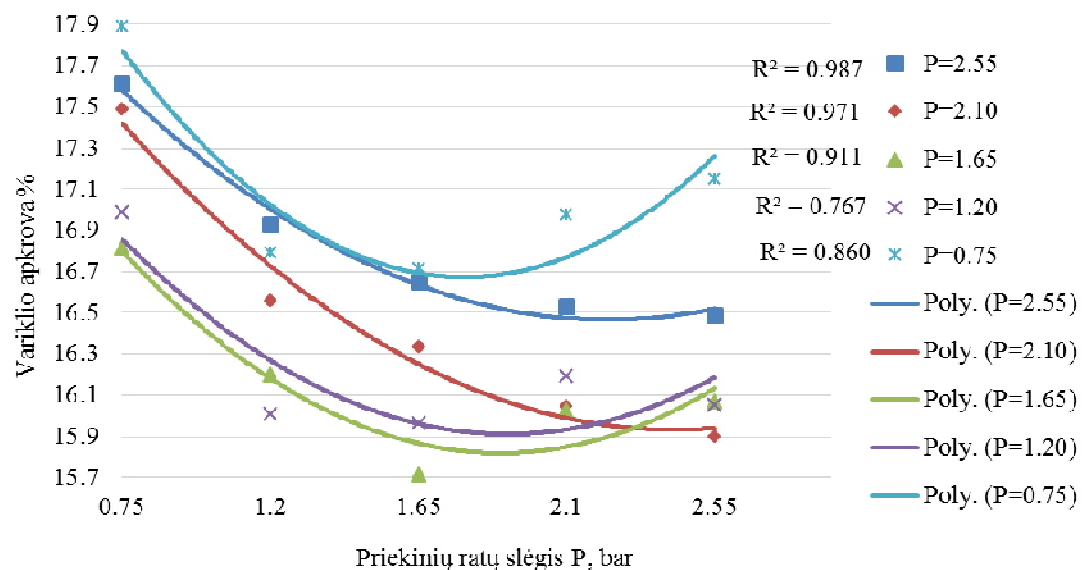
Degalų sąnaudos yra tiesiogiai priklausomos nuo traktoriaus variklio apkrovos. Nei vieno atlikto bandymo, iš atliktų 5, gautų rezultatų negalime išskirti ryškiausio ekonomiškiausio režimo, kurio gauta kreivė būtų mažiausia. Nors esant 1,65 bar slėgiui priekinėse padangose, variklio apkrova buvo mažiausia – 15,818%.



**3.20 pav.** Variklio apkrovos priklausomybės nuo oro slėgio galinėse traktoriaus padangose

Iš 3.21 pav. galime išskirti mažiausios traktoriaus variklio apkrovos režimą. Šis režimas buvo esant 1,65 bar slėgiui galinėse padangose, o vidutinė variklio apkrova tuo metu buvo 16,30 %. Taip pat, galime išskirti didžiausios variklio apkrovos režimą, kuris susidarė prie 0,75 bar slėgio galinių ratų padangose ir variklio apkrova bandymų metu buvo 17,892 %.

Ekonomiškiausią režimą galima išskirti esant 1,65 bar slėgiui priekinėse traktoriaus padangose ir slėgiams vyraujant tarp 1,65 ir 1,2 bar galiniuose ratuose.



**3.21 pav.** Variklio apkrovos priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių priekinėse traktoriaus padangose

Esant vienodiems slėgiams (1,65 bar) priekinėse ir galinėse traktoriaus padangose mažiausia



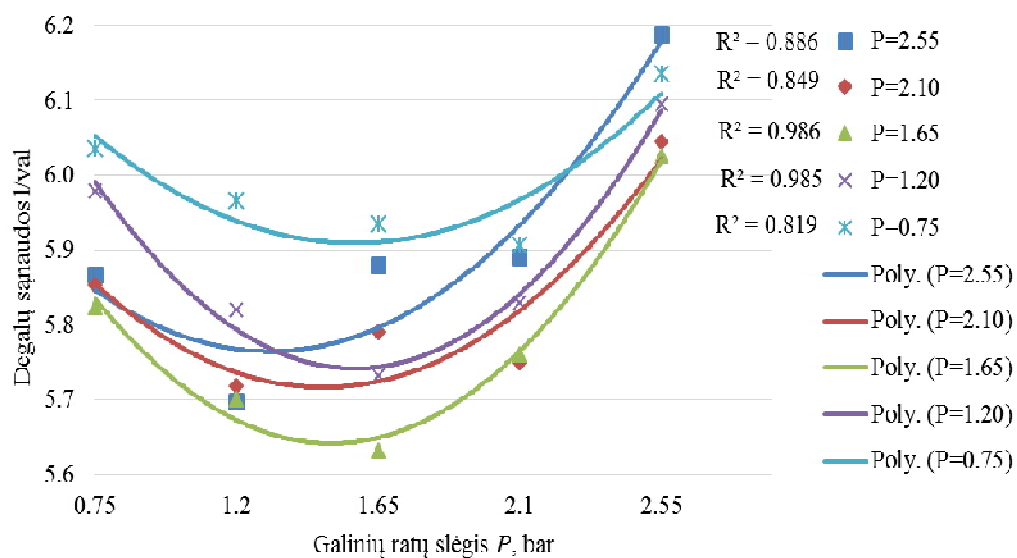
variklio apkrova buvo 15,82 %. Tai parodo, kad taupiausi režimai yra tuomet, kai slėgiai padangose vienodi ir jie nebūna per daug dideli arba labai maži.

Lyginant gautus balastuoto traktoriaus variklio apkrovos duomenis su nebalastuoto traktoriaus duomenimis, pastebima, kad variklio apkrova yra 0,30 % mažesnė. Visa tai galime susieti su padidėjusiu varančiųjų ratų paviršiumi. To pasekoje, padidėjo sukibimas su paviršiumi, sumažėjo ratų buksavimas ir visa tai nulėmė variklio apkrovos sumažėjimą.

### 3.5. Traktoriaus eksploataciniai rodikliai su užkabintu 630 kg sveriančiu giluminiu purentuvu ant galinio hidraulinio keltuvo ir su įjungta 2x4 pavara

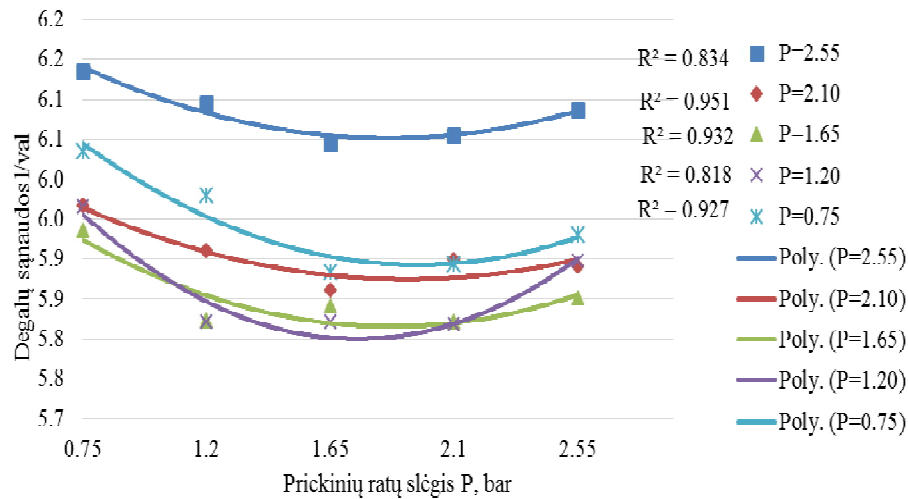
#### 3.5.1. Traktoriaus degalų suvartojimas

Analizuojant 3.22 paveikslą, pastebima, kad mažiausias degalų suvartojimas buvo kai slėgis priekinėse ir galinėse padangose buvo 1,65 bar. Tuo metu vidutinės degalų suvartojimo sąnaudos buvo 5,79 l/val, o didžiausios degalų sąnaudos – 6,00 l/val buvo užfiksuotos esant 0,75 bar oro slėgiams galinėse ir priekinėse padangose. Skirtumas tarp taupiausio ir ne taupiausio bandymo buvo 0,27 l/val.



**3.22 pav.** Degalų suvartojimo priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių galinėse traktoriaus padangose

Tiriant degalų suvartojimo priklausomybę nuo skirtingų oro slėgių galinėse traktoriaus padangose (3.22 pav.), kaip ir anksčiau pateiktuose bandymų aprašymuose, pastebima tendencija, kad mažiausios degalų sąnaudos labiausiai pastebimos esant 1,65 bar galinių padangų slėgiui.

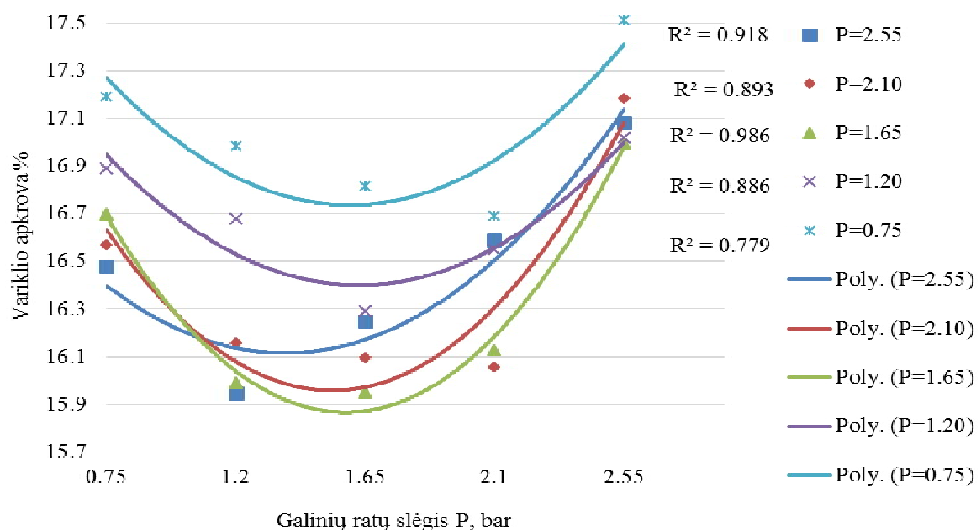


**3.23 pav.** Degalų suvartojimo priklausomybės nuo skirtingų oro slėgių priekinėse padangose

3.23 paveiksle negalima išskirti aiškiai matomų ekonomiškiausių degalų suvartojimo režimų. Suskaičiavus visus atliktų bandymų vidurkius gauname, kad ekonomiškiausi režimai buvo esant 1,65 bar ir 1,2 bar slėgiui galinių traktoriaus ratų padangose, o vidutinės degalų sąnaudos sudarė 5,97 l/val. Norint pasiekti taupiausią režimą, slėgis priekinių ratų padangose turi būti nuo 1,2 iki 2,1 bar. Didžiausias vidutinis degalų suvartojimas buvo esant 2,55 bar slėgiui galinėse padangose ir siekė 6,20 l/val.

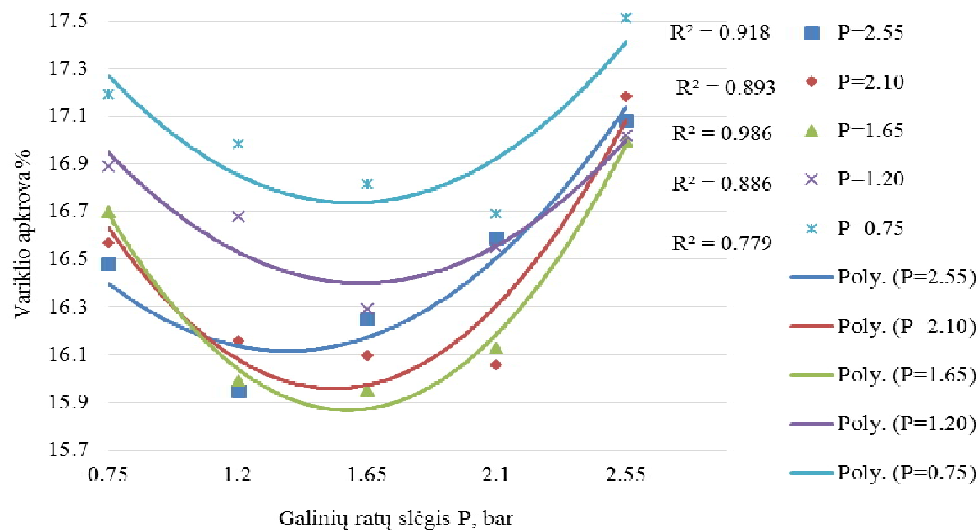
### 3.5.2. Traktoriui tenkanti variklio apkrova

Iš anksčiau atliktų bandymų (3.20 pav. ir 3.21 pav.) pastebima, kad traktoriaus variklio apkrovų kreivės panašios į degalų suvartojimo kreives.

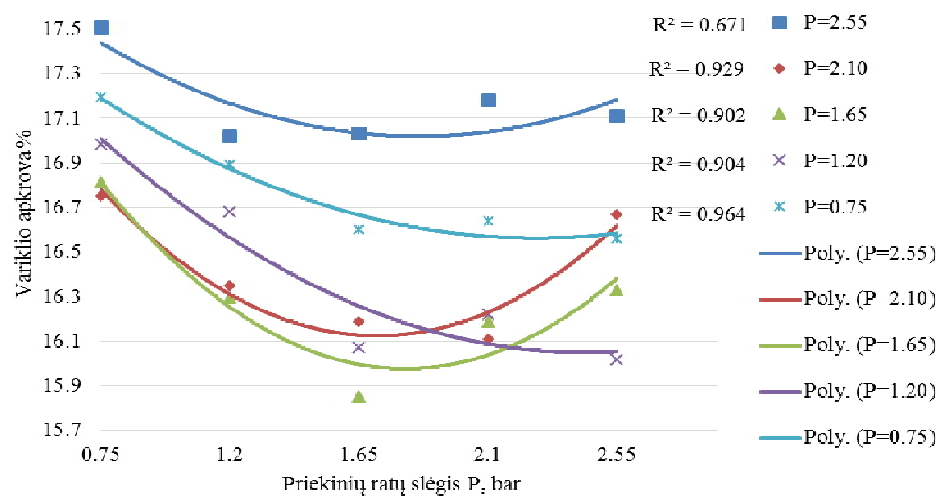


**3.24 pav.** Variklio apkrovos priklausomybės nuo oro slėgio galinėse traktoriaus padangose

3.24 pav. matome, kad mažiausios traktoriaus variklio apkrovos buvo tuomet kai slėgis priekinėse ir galinėse padangose siekė 1,65 bar, o didžiausios – 0,75 bar priekinėse padangose ir 2,55 bar galinėse padangose. Mažiausia vidutinė variklio apkrova bandymo metu siekė 16,353 %, didžiausia – 17,039 %. Skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios apkrovos 0,68 %.



3.25 paveiksle atvaizduota variklio apkrovos priklausomybė nuo oro slėgio priekinėse traktoriaus padangose. Iš pateikto grafiko matoma, kad didžiausia variklio apkrova buvo esant 2,55 bar slėgiui galinėse ir 0,75 bar slėgiui priekinėse padangose.



**3.25 pav.** Variklio apkrovos priklausomybės nuo oro slėgio priekinėse traktoriaus padangose

Kaip ir 3.24 paveiksle, taip ir 3.25 paveiksle, mažiausia traktoriaus variklio apkrova buvo 16,82 %, esant vienodiems 1,65 bar slėgiams priekinėse ir galinėse ratų padangose. 17,19 % didžiausia apkrova nustatyta esant priekinių padangų slėgiui 0,75 bar, o galinių – 2,55 bar. Skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios apkrovos sudaro 0,37 %.

## IŠVADOS

1. Atlikus literatūros analizę, nustatyta, jog siekiant geresnio traktoriaus darbo efektyvumo (mažesnio kuro sunaudojimo, poveikio dirvai ir kita) neišvengiami padangų deformacijų pokyčiai, dėl kurių atsiranda kinematinis nesutapimas.

2. Iš atliktų tyrimų matyti, kad padangų deformacijai ženkliai įtaką turi oro slėgis jose. Mažinant oro slėgį padangose nuo 2,55 bar iki 0,75 bar, traktoriaus padangų deformacijų koeficientų reikšmės mažėjo. Priekinių padangų reikšmė mažėjo nuo 1,075 iki 0,985, o galinių – nuo 1,045 iki 0,97.

3. Ant traktoriaus užkabinus 630 kg sveriantį giluminį purentuvą, galinių ratų deformacijų koeficientas buvo 1,042, o priekinių – 1,039.

4. Tyrimo metu nustatyta, kad esant vienodo dydžio oro slėgiams traktoriaus priekinėse ir galinėse padangose, kinematinio nusutapimo koeficientas buvo artimas 1,0. Šis koeficientas rodo, jog kinematinio nesutapimo nebuvo.

5. Traktoriui judant su įjungtu priekiniu tiltu (4x4), skirtingi oro slėgiai priekinėse padangose sudaro kinematinį nesutapimą, todėl padidėja degalų suvartojimas ir variklio apkrova.

6. Traktoriu judant be papildomo balastinio svorio, esant oro slėgiui priekinėse (2,55 bar) ir galinėse (0,75 bar) padangose: kinematinio nesutapimo koeficientas – 0,998, o esant oro slėgiams priekinėse (0,75 bar) ir galinėse (2,55 bar) padangose, kinematinio nesutapimo koeficientas – 0,973.

7. Traktoriui važiuojant su įjungtu priekiniu tiltu be papildomo balastinio svorio, esant oro slėgiams priekinėse padangose 2,55 bar ir galinėse – 0,75 bar, valandinės degalų sąnaudos buvo 6,212 l/val., o važiuojant su išjungtu priekiniu tiltu, valandinės degalų sąnaudos siekė 6,16 l/val.

8. Traktoriui važiuojant su įjungtu priekiniu tiltu ir su papildomu balastiniu svoriu, esant oro slėgiams priekinėse 2,55 bar ir galinėse 0,75 bar, valandinės degalų sąnaudos – 6,22 l/val., o judant su išjungtu priekiniu tiltu, valandinis degalų suvartojimas buvo 6,20 l/val.

## INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. M.S. Patterson, J.P. Gray, G.Bortolin, V.V. Vantsevich, Fusion of driving and braking tire operational modes and analysis of traction dynamics and energy efficiency of a 4x4 loader, *Journal of Terramechanics*. 50 (2013) 133–152.
2. S. Stoilov, G.D. Kostadinov, Effect of weight distribution on the slip efficiency of a four-wheel-drive skidder, *Biosystems engineering*. 104 (2009) 486–492.
3. J.Y. Wong, *Terramechanics and off-road vehicle engineering*, (2nd ed.), Elsevier, 2010.
4. M.I. Lyasko, How to calculate the effect of soil conditions on tractive performance, *Journal of Terramechanics*. 47 (2010) 423–445.
5. G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni, Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks, *Biosystems engineering*. 111 (2012) 57–63.
6. V.V. Vantsevich, Multi-wheel drive vehicle energy/fuel efficiency and traction performance: Objective function analysis, *Journal of Terramechanics*. 44 (2007) 239–253.
7. J. Żebrowski, Traction efficiency of a wheeled tractor in construction operations, *Automation in Construction*. 19(2) (2010) 100–108.
8. A. Janulevičius, K. Giedra, Tractor ballasting in field work, *Mechanika*. 5(73) (2008) 27–34.
9. C.M. Kichler, J.P. Fulton, R.L. Raper, T.P. McDonald, W.C. Zech, Effects of transmission gear selection on tractor performance and fuel costs during deep tillage operations, *Soil & Tillage Research*. 113 (2011) 105–111.
10. A.K. Elwaleed, A. Yahya, M. Zohadie, D. Ahmad, A.F. Kheiralla, Effect of inflation pressure on motion resistance ratio of a high-lug agricultural tyre, *Journal of Terramechanics*. 43(2) (2006) 69–84.
11. H. Taghavifar, A. Mardani, Investigating the velocity, inflation pressure and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire, *Journal of Terramechanics*. 50 (2013) 99–106.
12. S.A. El-Kholy, S.A. Galal, A study on the effects of non-uniform tyre inflation pressure distribution on rigid pavement responses, *International Journal of Pavement Engineering*. 13(3) (2012) 244–258.
13. M. Lamande', P. Schjønning, Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part II: Effect of tyre size, inflation pressure and wheel load, *Soil & Tillage Research*. 114 (2011) 71–77.
14. T. Šmerda, J. Čupera, Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance – Energetic indicators of a tractor set, *Journal of Terramechanics*. 47 (2010) 395–400.

15. K.Y. Chan, A. Oates A.D. Swan, R.C. Hayes, B.S. Dear, M.B. Peoples, Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil, *Soil & Tillage Research*. 89 (2006) 13–21.
16. P.K. Pranav, K.P. Pandey, Computer simulation of ballast management for agricultural tractors, *Journal of Terramechanics*. 45 (2008) 193–200.
17. L. Mathe, P. Kiss, L. Laib, G. Pillinger, Computation of run-off-road vehicle speed from terrain tracks in forensic investigations, *Journal of Terramechanics*. 50 (2013) 17–27.
18. A. Janulevičius, A. Juostas, G. Pupinis, Tractor's engine performance and emission characteristics in the process of ploughing, *Energy Conversion and Management*. 75 (2013) 498–508.
19. A. Macor, A. Rossetti, Fuel consumption in urban buses by using power split transmissions, *Energy Conversion and Management*. 71 (2013) 159–171.
20. A. Rahman, A. Yahya, Performance investigation of an advanced tracked prime mover on the low bearing soil, *Journal of Terramechanics*. 50 (2013) 233–244.
21. R.K.Sahu, H. Raheman, Draught prediction of agricultural implements using reference tillage tools in sandy clay loam soil, *Biosystems engineering*. 94 (2006) 275–284.
22. J. Arvidsson, T. Keller, Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure, *Soil & Tillage Research*. 96 (2007) 284–291.
23. S.K. Patel, I. Mani, Effect of multiple passes of tractor with varying normal load on subsoil compaction, *Journal of Terramechanics*. 48 (2011) 277–284.
24. J. Sapragonas, A. Dargužis, Model of radial deformations of protector of vehicle tire, *Mechanika*. 17(1) (2011) 21–29.
25. K. Xia, Finite element modeling of tire/terrain interaction: Application to predicting soil compaction and tire mobility, *Journal of Terramechanics*. 48 (2011) 113–123.
26. A Janulevičius, G. Pupinis, V. Damanauskas, Effect of tires' pressure on the kinematic mismatch of a four-wheel-drive tractor, *Mechanika*. 19(1) (2013) 73–80.
27. M. Szente, Slip calculation and analysis for four-wheel drive tractors, *Járművek és Mobilgépek*, II.évf. 5 (2009) 404–424.
28. V.V Vantsevich, Power losses and energy efficiency of multi-wheel driver vehicles: A method for evaluation, *Journal of Terramechanics*. 45 (2008) 89–101.
29. A. Janulevičius, G. Pupinis, Power circulation in driveline system when the wheels of tractor and trailer are driven, *Transport*. 28(3) (2013) 313–321.
30. K. Xia, Y. Yang, Three-dimensional finite element modeling of tire/ground interaction, *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech*. 36 (2012) 498–516.
31. V.V. Vantsevich, J.P. Gray, Fuel economy and mobility of multi-wheel drive vehicles

modeling and optimization technology, Proceedings of the Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium. (2009) 1–8.

32. A. Battiato, E. Diserens, Influence of tyre inflation pressure and wheel load on the traction performance of a 65 kW MFWD tractor on a cohesive soil. *Journal of Agricultural Science*. 5(8) (2013). 197–215.

33. F.M. Zoz, R.D. Grisso, Traction and tractor performance. ASAE distinguished lecture series (Tractor design No. 27) (2003) ASAE publication No. 913C0403. St. Joseph, Mich.: ASAE.

34. Sorin-Stefan Biris, Nicoleta Ungureanu, Edmond Maican, Erol Murad, Valentin Vladut, FEM model to study the influence of tire pressure on agricultural tractor wheel deformations. *Engineering for rural development Jelgava*, 26.-27.05 (2011) 223-228.

35. A. Battiato, E. Diserens, Influence of Tyre Inflation Pressure and Wheel Load on the Traction Performance of a 65 kW MFWD Tractor on a Cohesive Soil, *Journal of Agricultural Science*; Vol. 5, No. 8; 2013

36. Dr. Márk Szente PhD, Slip Calculation and Analysis for Four-wheel Drive Tractors, *Járművek és Mobilgépek*, II.évf. (2009) No.V .pp.404 – 424.

37. Agritechnika: Mitas PneuTrac combines track and tyre. [Žiūrėta 2016 02 10]. Prieiga per: <<http://www.fwi.co.uk/articles/12/11/2013/141942/agritechnika-mitas-pneutrac-combines-track-and-tyre.htm>>.

38. Padanga ir karštis. [Žiūrėta 2016 02 23]. Prieiga per: <<http://www.padanga.lt/Patarimai/Padanga-ir-karstis>>.

39. Gerigk P., Bruhn D., Danner D., Endruschat L., Göbert J., Gross H., Komoll D. *Automobilai*. – Westermann, Braunschweig 1997.

40. Tire pressure Sensor Configurations. [Žiūrėta 2016 04 11]. Prieiga per: <<http://www.tekscan.com/industrial/tirescan-system.html>>.

41. Padangos žiemai: nuo restauruotų iki dygliuotų. [Žiūrėta 2016 02 23]. Prieiga per: <<http://ratai.diena.lt/lt/straipsniai/padangos-ziemai-nuo-restauruotu-iki-dygliuotu-kas-geriau-241816>>.

42. Jun H., Kishimoto T., Way T. R., Tauigui T. Threedirectionl kontakt stress distributions for a pneumatic tractor tire in soft soil. *Transaction of the ASAE*, Vol 41, No 59 1998, p, 1237 – 1242.

43. Padangų savybės automobiliui stovint. [Žiūrėta 2016 02 19]. Prieiga per: <<http://www.padanguspecialistas.lt/Apie-padangas/Padangos-pasipriesinimas-riedejimui>>.

44. Jankauskas V., Padgurskas J., Rukuiža R. *Mašinų gamybos ir remonto technologijos*. – Akademija, 2006

## **PRIEDAI**