

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

SIGITAS MIKOLAITIS

**TRAKTORIAUS „ZETOR FORTERRA 125“ TRAUKIAMOSIOS
JĖGOS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

dr. Nerijus Partaukas

PANEVĖŽYS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS

**TRAKTORIAUS „ZETOR FORTERRA 125“TRAUKIAMOSIOS
JĖGOS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Transporto priemonių inžinerija, 621E20001

Vadovas

(parašas) dr. Nerijus Partaukas

(data)

Recenzentas

(parašas)

(data)

Projektą atliko

(parašas) Sigitas Mikolaitis

(data)

PANEVĖŽYS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Sigitas Mikolaitis

(Studento vardas, pavardė)

Transporto priemonių inžinerijos magistras 621E20001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Traktoriaus „Zetor forterra 125“ traukiamosios jėgos tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Sigito Mikolaičio**, baigiamasis projektas tema „Traktoriaus „Zetor forterra 125“ traukiamosios jėgos tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

20..... ..

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota
studentui:

Sigitui Mikolaičiui

Grupė *PMT-4*

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba:

Traktoriaus „Zetor forterra 125“ traukiamosios jėgos tyrimas

Anglų kalba:

Research on Tractive Effort of Tractor „Zetor Forterra 125“

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

2. Darbo tikslas:

Ištirti traktoriaus „Zetor forterra 125“ traukiamosios jėgos priklausomybę nuo įvairių veiksmų.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Suprojektuoti, pagaminti ir sukalibruotas ne mažiau kaip 90 kN apkrovą atlaikantį dinamometrą, tinkantį traktoriaus traukiamosios jėgos matavimui. Nustatyti traukiamosios jėgos priklausomybę nuo: oro slėgio padangose, varančiųjų tiltų skaičiaus bei grunto tipo.

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

Santrauka

Įvadas

Traktorių charakteristikos ir traukiamoji jėga

Ekspimentinių tyrimų metodika

Tyrimo rezultatai

Išvados

Šaltinių sąrašas

5. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis.

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas

_____ (data)

Užduotį
gavau:

Sigitas MIKOLAITIS

_____ (studento vardas, pavardė, parašas)

_____ (data)

Vadovas:

Lekt. Nerijus PARTAUKAS

_____ (pareigos, vardas, pavardė, parašas)

_____ (data)

Turinys

Įvadas.....	8
1. Traktorių charakteristikos ir traukiamoji jėga	9
1.1. Traktorių klasifikacija.....	9
1.2. Traktoriaus sandara.....	10
1.3. Traukiamosios jėgos apibrėžimas ir skaičiavimas.....	11
1.4 Traukiamosios jėgos eksperimentiniai tyrimai ir metodikos.....	13
1.5. Traktoriaus traukiamąją jėgą ribojantys veiksniai.....	15
1.6. Informacijos šaltinių analizės apibendrinimas	25
2. Eksperimentinių tyrimų metodika	27
2.1. Dinamometro projektavimas	27
2.2. Dinamometro maksimalios apkrovos skaičiavimas.	28
2.3. Dinamometro gamyba	34
2.4. Dinamometro kalibravimas	35
2.5. Bandymo parametrai.....	37
2.6. Tyrimo objektas ir priemonės.....	38
3. Tyrimo rezultatai	41
3.1 Grunto tipas: pieva.	41
3.2. Grunto tipas: žvyras.....	43
3.3. Grunto tipas: asfaltas	45
3.4. Vienas varantysis tiltas.	47
3.5. Du varantieji tiltai.....	48
Išvados	50
Šaltinių sąrašas	51

Mikolaitis Sigitas. Traktoriaus „Zetor forterra 125“ traukiamosios jėgos tyrimas Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. Nerijus Partaukas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Transporto priemonių inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: traktorius, traukiamoji jėga, padangų slėgis, varantysis tiltas.

Panevėžys, 2016. 52 p.

SANTRAUKA

Darbo tikslas – Ištirti traktoriaus „Zetor forterra 125“ traukiamosios jėgos priklausomybę nuo įvairių veiksnių.

Tyrimo eiga – Suprojektuotas ir pagamintas dinamometras traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui nustatyti. Pagal sudarytą metodiką ištirta traktoriaus „Zetor forterra 125“ traukiamosios jėgos priklausomybė nuo šių veiksnių: skirtingo grunto tipo (pieva, žvyras, asfaltas), skirtingo padangų slėgio (minimalus, vidutinis, maksimalus), galinio ir abiejų tiltų įtakos.

Tyrimo rezultatai – atlikus tyrimą nustatyta, kad galinio tilto traukiamoji jėga ant asfalto yra 18 kN, ant žvyro 18 kN, ant pevos 29 kN. Taip pat nustatyta, kad priekinis varantysis tiltas traktoriaus traukiamąją jėgą padidina ant pievos 35,6 %, ant žvyro 51,4 %, ant asfalto 49,4 %. Didžiausios traktoriaus traukiamosios jėgos vertės buvo nustatytos, kuomet sukimo momentas perduodamas abiemis varantiesiems tiltams. Taip pat nustatyta, kad prie padangų slėgio (1,3, 1,9 atm) ant minkšto grunto (pievos, žvyro), traukiamoji jėga buvo didesnė negu ant kieto grunto (asfalto).

Mikolaitis Sigitas, Research on Tractive effort of Tractor „Zetor forterra 125“. *Master's thesis* in vehicle engineering / supervisor assoc. PhD. Nerijus Partaukas. Panevėžys Faculty of Technologies and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: technology and science.

Key words: tractor, tractive effort, tire pressure, driving axle.

Panevėžys, 2016. 52 p.

SUMMARY

The object of the work – research on tractive effort of tractor „zetor forterra 125“ .

The course of the research – dynamometer was designed and constructed for tractive effort measuring. Tractive effort of the tractor „zetor forterra 125“ researched using by methodology. The study was evaluated different types of surface (meadow, gravel, asphalt), and different pressure of the tires (low, medium, high). Also determined the rear and two axels of tractive effort values.

The results – the investigation found that the rear wheels tractive effort values was the grass by 29 kN, on the gravel 18 kN, on the asphalt 18kN. As well as found that front wheel drive tractor tractive effort increases on the grass by 35,6%, on the gravel 51,4%, on the asphalt 49,4 %. The largest tractive effort values of tractor were determined when the torque transmitted to both drive axels. Also found, when tire pressure was (1,3, 1,9 atm) on the soft ground tractive effort was higher than hard surface (asphalt).

Įvadas

Pagrindinė žemės ūkio transporto priemonė yra traktorius. Traktorius skirtas traukti žemės ūkio padargus. Šie padargai būna įvairių tipų: plūgai, dirvos skutikai, sėjamosios, šienapjovės, šieno presai, rinktuvai ir kiti. Taip pat įvairiems transportavimo darbams atlikti: grūdinės kultūros, trąšos, statybinės medžiagos ir kt.

Pagrindinė traktoriaus paskirtis yra sukurti traukiamąją jėgą, kuri užtikrintų padargo darbinį režimą. Traukiamoji jėga tai jėga, kuri atsiranda tarp grunto ar kelio ir traktoriaus rato [1]. Šią jėgą iš vienos pusės apriboja variklio sukimo momentas, tačiau kita dalis priklauso nuo: grunto struktūros, padangų slėgio, sukibimo ploto su grunto paviršiumi, varančiųjų ratų apkrovos paskirstymo, traktoriaus masės [2, 4]. Visi šie veiksniai daro įtaką traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui. Jeigu atliekant žemės ūkio operacijas reikalinga traukiamoji jėga maža, tuomet traktorius perkraunamas, mažėja traktoriaus našumas, didėja degalų sąnaudos, dirvožemio suslėgimas ir kt. Priešingu atveju, kuomet traukiamoji jėga išsvystoma per didelė, tuomet traktorius dirba neefektyviai [2].

Gamintojo pateikiami traktoriaus parametrai apibūdina variklio charakteristikas, tačiau nenurodo traktoriaus traukiamosios jėgos savybių. Darbe nagrinėjama tema aktuali tuo, kad eksploatuojant traktorių svarbu žinoti kokiomis traukos savybėmis jis pasižymi. Siekiant padidinti traktoriaus traukiamosios jėgos dydį, gamintojai papildomai montuoja balastinius svorius, automatines padangų slėgio reguliavimo sistemas, papildomus sudvejetainius ratus. Šios priemonės padidina padangų sukibimo plotą su grunto paviršiumi, sumažina traktoriaus varančiųjų ratų buksavimą. Taip pat sumažinamos traktoriaus degalų sąnaudos, dirvos derlingo sluoksnio ardymas [3].

Tyrimo tikslas

Ištirti traktoriaus „Zetor forterra 125“ traukiamosios jėgos priklausomybę nuo įvairių veiksnių.

Darbo uždaviniai:

- Suprojektuoti ir pagaminti dinamometrą traukiamajai jėgai matuoti.
- Nustatyti traukiamąją jėgą esant skirtingam oro slėgiui padangose.
- Nustatyti traukiamąją jėgą esant skirtingam grunto tipui (pieva, žvyras, asfaltas).
- Nustatyti traukiamąją jėgą esant vienam ir dviem varantiesiems tiltams.

1. Traktorių charakteristikos ir traukiamoji jėga

1.1. Traktorių klasifikacija

Traktoriai klasifikuojami atsižvelgiant į darbo pobūdį. Kadangi įvairių žemės ūkio agregatų pasipriešinimas skiriasi, todėl žemės ūkio darbams naudojami įvairių tipų traktoriai, iš kurių kiekvienas pritaikytas dirbti skirtingom sąlygom.

Žemės ūkio traktoriai klasifikuojami pagal: 1) važiuoklės tipą, 2) paskirtį [4]:


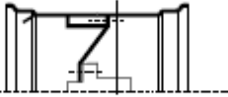

- 1) Ratiniai, vikšriniai. Papildomai ratiniai traktoriai skirstomi į: normalaus pravažumo (ratų formulė 4K2) ir geresnio pravažumo (4K4, miškų ūkio – 6K6). Pirmas skaičius nurodo ratų skaičių, o antras skaičius nurodo varančiųjų ratų skaičių [5].
- 2) Žemės ūkio (bendrosios ir specialios paskirties, universalūs), pramoninius, miškų ūkio [5].

Bendrosios paskirties traktoriai naudojami bendriems ūkio darbams atlikti. Jie tokiose lauko operacijose: arimas, sėjimas, lyginimas ir pan. [4].

Universalieji traktoriai skirti ne tik bendriems darbams, bet ir transportavimo darbams. Taip pat kaupiamųjų kultūrų (bulvių, kukurūzų, pašarinių šakniavaisių, cukrinių runkelių) tarpueiliams įdirbti. Šių traktorių vienas iš išskirtinių požymių yra keičiamas provėžos plotis (žr. 1.1 lent.) Šiuolaikinės technikos provėžos dažniausiai keičiamas, keičiant ratlankio tvirtinimo padėtį disko atžvilgiu arba apverčiant diską.

1.1 lentelė

Provėžos plotis [6]

Padangų tipas				Ratlankio padėtis
12.4-24 12.4R24	13.6R24 380/70R24	12.4-28	14.9-24 14.9R24 420/70R24	
Priekinių ratų tarpvėžės plotis, mm				
1590*	-	-	-	
1645	1730		1730	
1740	1655	1730	-	

Tokių traktorių ratai susideda iš rato disko, ratlankio ir padangos. Keičiant ratlankio tvirtinimo padėtį disko atžvilgiu ir apsukant diską galima gauti reikiamą tarpvėžės plotį.

Specialieji traktoriai skirti dirbti specifinėmis sąlygomis: pelkėtose dirvose, kalnuose ir kitų kultūrų žemės dirbimo darbams atlikti. Šios paskirties traktoriai gaminami maksimaliai panaudojant bendrosios paskirties ar universaliųjų traktorių agregatus.

1.2. Traktoriaus sandara

Pagrindiniai mechaniniai traktoriaus junginiai yra šie (žr. 1.1 pav.): variklis, transmisija, važiuoklė, valdymo mechanizmai, darbinė ir pagalbinė įranga [4].



1.1 pav. Traktoriaus sandara: 1 variklis, 2 transmisija, 3 priekinis tiltas, 4 galinis tiltas, 5 kabina (valdymo įtaisai), 6 priekiniai kreipiantieji (varantieji) ratai, 7 galiniai varantieji ratai, 8 priekinis prikabinimo įtaisas (atitinkamai yra ir gale).

Variklio paskirtis yra sudegusių degalų šiluminę energiją paversti mechanine energija, kurią alkūninis velenas perduoda transmisijai.

Transmisijos paskirtis – variklio sukimo momentą perduoti varantiesiems ratams. Taip pat transmisija keičia sukimo momento dydį ir kryptį, sukami kiti darbiniai agregatai. Kadangi traktoriaus darbo režimai keičiasi plačiose ribose priklauso nuo: grunto struktūros, agregato darbinio gylio ir pan. Todėl kinta traktoriaus traukiamoji jėga ir važiavimo greitis.

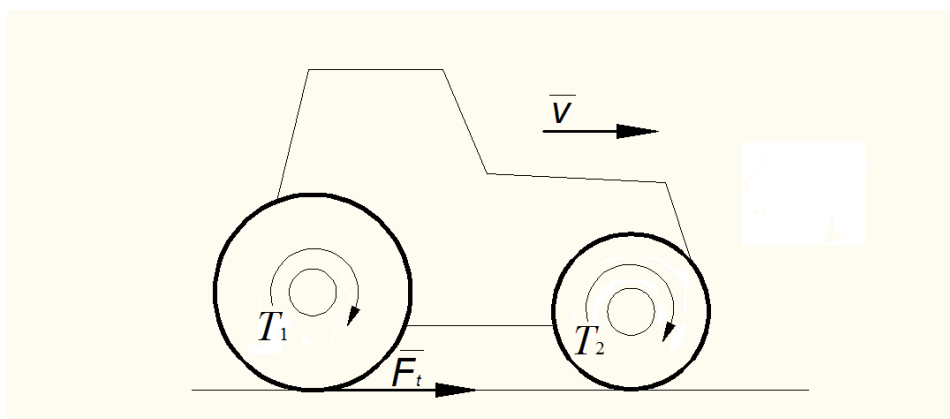
Priekinis tiltas skiriasi nuo galinio. Priekinis tiltas gali būti varantysis. Atsižvelgianti į darbo režimą ir konstrukciją jį galima įjungti rankiniu būdu iš kabinos arba esant didesniam traukiamosios jėgos poreikiui jis įsijungia automatiškai. Galinis tiltas ratiniuose traktoriuose visada būna varantysis.

Kabina – vairuotojo darbo vieta, iš kurios valdomas traktorius ir prie jo prikabinami darbiniai agregatai.

Prikabinimo įtaisai būna traktoriaus gale, taip pat kaip papildoma įranga gali būti ir priekyje. Šie įtaisai skirti montuoti darbiniam agregatams ant traktoriaus. Darbiniai agregatai dažniausiai būna: plūgai, kultivatoriai, sėjamosios ir kt. [4]

1.3. Traukiamosios jėgos apibrėžimas ir skaičiavimas

Traukiamoji jėga tai jėga, kuri sukuriama sukimo momentą perduodant ratams vidaus degimo variklio ar kito motoro. Ši jėga atsiranda kontakte tarp traktoriaus varančiųjų ratų ir grunto ar kelio paviršiaus T. y. ratui riedant keliu jis šiek tiek praslysta ir dėl trinties atsiranda traukiamoji jėga kontakte tarp kelio ir rato. Traukiamosios jėgos kryptis pavaizduota 1.2 paveikslėlyje. [1, 7].



1.2 pav. Traktoriaus judėjimo schema: F_t – traukiamoji jėga, v – judėjimo kryptis, T_1 – galinio tilto sukimo momentas, T_2 – Priekinio tilto sukimo momentas.

Traukiamosios jėgos kryptis sutampa su traktoriaus judėjimo kryptimi (žr. 1.2 pav.).

Traktoriaus traukiamosios jėgos formulė pagal eksploatacinę masę.

Traukiamosios jėgai apskaičiuoti nėra nustatytos aiškios metodikos. Kai kuriose šalyse traktoriaus traukiamoji jėga nustatoma ant drėgnos ražienos, tuo tarpu kitose valstybėse ši jėga matuojama esant kitomis sąlygomis, dažniausiai nustatoma ant sauso betono [5].

Kai traktoriaus buksuoja 15 %, o vikšrinis 5 % apytiksliai traktoriaus traukiamoji jėga apskaičiuojama remiantis traktoriaus eksploatacine mase pagal formulę [3]:

$$F_n = K \cdot m_e; \text{ (kN)} \quad (1)$$

Čia:

K – koeficientas, lygus $3,24 \cdot 10^{-3}$ kN/kg, jei $m_e < 2600$ kg. Jei $m_e > 2600$ kg 4K2 formulės traktoriams jis yra lygus $3,73 \cdot 10^{-3}$ kN/kg. Vikšriniams traktoriams $K = 4,9$ kN/kg

m_e – traktoriaus eksploatacinė masė įvertinant balastą, priimama iki 1,15 traktoriaus su pagrindiniais padargais masės, jei traktorius ratinis, ir iki 1,08 jei vikšrinis.

Traktoriaus traukiamoji jėga apskaičiuojama remiantis variklio sukimo momentu:

šaltinyje pateikta traktoriaus traukiamosios jėgos formulė 2, kuri įvertina nuostolius pavaroje, dėl riedėjimo trinties ir traukiamosios jėgos [8].

$$F_{tr} = F_t - F_{fT} \quad (2)$$

Čia:

F_{fT} – Traktoriaus pasipriešinimo riedėjimui jėga;

F_t – išvystoma traktoriaus traukiamoji jėga (žr. 1.2. pav.).

Išvystoma varančioji jėga apskaičiuojama remiantis formule:

$$F_v = \frac{M_e \cdot i_{tr} \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_v}{r_v}, \text{ kN} \quad (3)$$

Čia:

M_e – variklio nominalus (efektyvus) sukimo momentas (Nm);

i_{tr} – transmisijos perdavimo santykis;

η_{tr} – transmisijos naudingumo koeficientas;

η_v – traktoriaus važiuoklės naudingumo koeficientas;

r_v – varančiųjų ratų riedėjimo spindulys (m).

Pavaros perdavimo santykis nurodomas gamintojo arba apskaičiuojamas pagal formulę:

$$i_{tr} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad (4)$$

Čia:

ω_1 – įeinančio veleno greitis (aps/min);

ω_2 – išeinančio veleno greitis (aps/min);

T_1 – galinio tilto sukimo momentas (Nm);

T_2 – priekinio tilto sukimo momentas (Nm).

Analogiškai traukiamoji jėga apskaičiuojama remiantis mašinos variklio sukimo momentu. Traukiamoji jėga apibūdinama kaip jėga kuri generuojama esant kelio ir rato kontaktui [7].

Variklio sukimo momentas (T_e) pateiktas traktoriaus specifikacijoje arba apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_e = \frac{60000 \cdot P_e}{2 \cdot \pi \cdot N}, \text{ Nm} \quad (5)$$

Čia:

P_e – variklio galia (kW);

N – alkūninio veleno sūčiai (aps/min).

Varantiesiems ratams perduodamas sukimo momentas T_w [7]:

$$T_w = G \cdot \eta_t \cdot T_e \quad (6)$$

Čia:

G – pavaros perdavimo santykis;

η_t – transmisijos naudingumo koeficientas.

Remiantis ankstesnėmis formulėmis apskaičiuojama mašinos traukiamoji jėga F .

$$F = \frac{T_w}{r} = \frac{T_e \cdot G \cdot \eta_t}{r}, \text{ N} \quad (7)$$

Čia

r – varančiųjų ratų spindulys (m).

Analizuojant formules, galima teigti, jog traktoriaus ar kitos mašinos skaičiuotina traukiamoji jėga priklauso nuo: variklio sukimo momento, pavaros perdavimo santykio ir varančiųjų ratų skersmens. Kaip šie veiksniai veikia traktoriaus traukiamosios jėgos dydį aptarta 1.5 poskyryje.

1.4 Traukiamosios jėgos eksperimentiniai tyrimai ir metodikos

Anksčiau aptarėme traukiamosios jėgos skaičiavimą remiantis analitinėmis formulėmis. Tačiau traukiamoji jėga gali būti išmatuota eksperimentiškai. Skirtingai nuo analitinių formulų, eksperimento metu įvertinamas grunto ar kelio tipas, jo savybės. Nustatomos traukiamosios jėgos charakteristikos įvertinant skirtingus padangų slėgius, balastinį svorį. Taip pat teigiama, kad grunto tipas ir charakteristikos priklauso nuo: oro sąlygų, vietovės, grunto tipo (dirvožemis, pieva, priemolis).

Eksperimentinius tyrimus atlieka DLG (German agriculture society) bei Nebraskos universiteto (JAV) traktorių bandymų laboratorijos. Šios institucijos traukiamąją jėgą matuoja remiantis tarptautiniais standartais SAE ir k.t. [9].

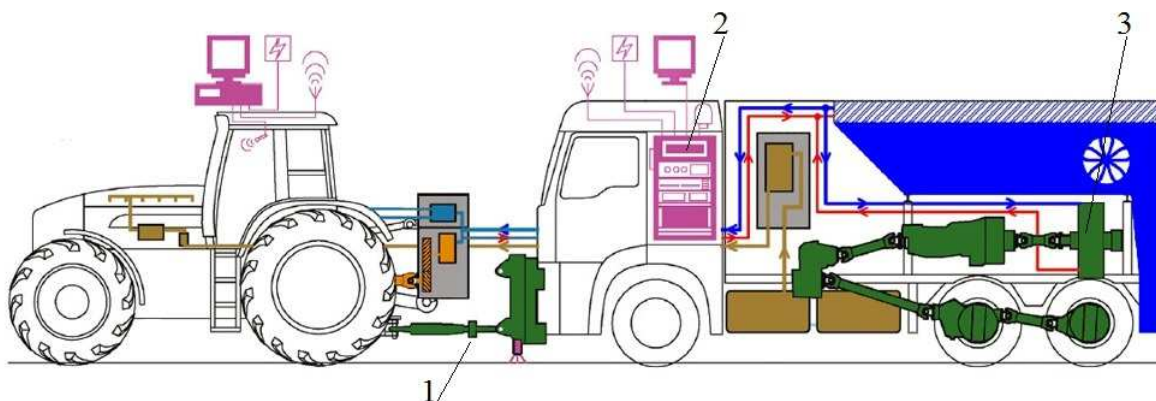
Tyrimų laboratorijos remiantis gamintojų pateiktais techniniais duomenimis 1.2 lentelė, patikrina ir nustato traktoriaus parametrus: variklio charakteristika, traukiamosios jėgos savybes ir kt.

Traktorių gamintojų techniniai duomenys [6, 32]

Modelis	Zetor forterra 125	Claas arion 460
Vardinė galia kW/Ag	86,2/117	104/140
Nominalūs sūkliai, aps/min	2 200	2 200
Cilindru skaičius	4	4
Vožtuvų skaičius	16	16
Cilindro skersmuo/eiga	105/120	-
Variklio darbo tūris, cm ³	4 156	4 500
Maksimalus sukimo momentas, Nm	493	500
Greitis km/h	40	40
Pavarų skaičius	24/18	16/16
Konstruktinė masė, kg	4 550	5 000

Gamintojų pateikiamus parametrus 1.2 lentelė nurodo traktoriaus technines charakteristikas. Tačiau traktorių gamintojai nepateikia informacijos apie traktoriaus traukiamosios jėgos savybes. Todėl prieš pasirenkant padargą tipą, svarbu žinoti kokiomis traukos savybėmis pasižymi traktorius. Tinkamai parinkus padargą ir suregulavus padangų slėgį galima padidinti traktoriaus našumą, sumažinti degalų sąnaudas, nekeičiant traktoriaus. Taip pat sumažinamas traktoriaus buksavimas ir užtikrinamas padargų darbinis greitis. Todėl aktualu kokiomis traukiamosios jėgos savybėmis pasižymi ūkyje naudojamas traktorius.

Tyrimų centruose nustatant variklio charakteristikas ir traukiamosios jėgos savybes, bandymai atliekami traukiant su traktoriumi sunkvežimį, kuriame sumontuota matavimo įranga. Sunkvežimyje sumontuoti stabdžiai, kurie sukelia pasipriešinimo jėgą. Taip išmatuojama traktoriaus traukiamoji jėga, degalų sąnaudos ir k. t. (žr.1.3 pav.).



1.3. pav. Traktoriaus parametrų matavimas su sunkvežimiu: 1 - matavimo prietaisas, 2 - duomenų fiksavimo įranga. 3 - sunkvežimio stabdžiai (eddy current brake) [25].

DLG tyrimų centras bandymus atlieka naudodamas naujausius bandymo metodus ir įrangą. Bandymai atliekami ant skirtingų paviršių: pieva, asfaltas, žvyras, kultivuotas laukas. Keičiamas padangų slėgis nuo minimalaus iki maksimalaus. Traktorius apkraunamas kintančia apkrova, siekiant atkurti realias sąlygas. Kintanti apkrova gaunama traktoriui tempiant padargą nevienodos struktūros lauke. Didžiausias dėmesys skiriamas traktoriaus degalų sąnaudoms, jų mažinimui.

Bandymų metu gauti rezultatai analizuojami ir pateikiami žemės ūkio produktų gamintojams bei žemės ūkio technikos pardavėjams ir jų atstovams [10].

1.5. Traktoriaus traukiamąją jėgą ribojantys veiksniai

Traktoriaus traukiamosios jėgos dydį lemia daug veiksnių. Norint pagerinti traukiamosios jėgos dydį reikia tinkamai sureguliuoti padangų slėgį, paskirstyti balasto apkrovą traktoriaus ašims. Tai atlikus užtikrinamas geresnis sukibimas su gruntu ir mažesnis kontaktinis slėgis į dirvą. Jei dirva spaudžiama, didėja provėža, tolygiai didėja ir traktoriaus pasipriešinimas riedėjimui. Esant didesniam pasipriešinimui didėja degalų sąnaudos, mažėja traktoriaus efektyvumas, krenta našumas.

Traktoriaus traukiamąją jėgą mažina sukibimas su grunto paviršiumi. Atliekant lauko operacijas susiduriama su įvairiais grunto paviršiaus tipais: molis, durpė, juodžemis, smėlis ir pan. Tai lemia kintamas apkrovas, kurios tiesiogiai veikia padargą ir traktorių [2, 11].

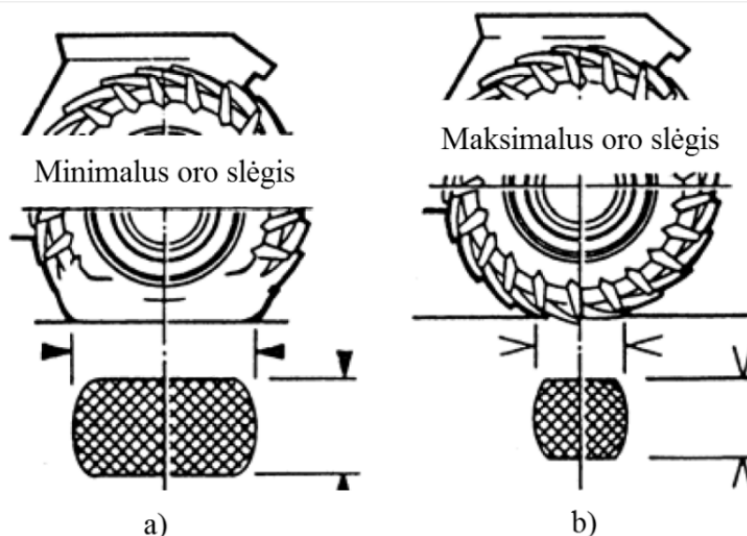
Traktoriaus traukiamoji jėga priklauso nuo: padangų slėgio, variklio sukimo momento, bendros masės, sukibimo ploto su dirva. Taip pat tai turi įtaką ir apkrovimui turi įtakos dirvos struktūra [2].

Traktoriaus varančiųjų ratų padangų slėgis

Varančiųjų ratų padangų slėgis, vienas iš daugelio veiksnių darančių įtaką traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui. Sumažinus slėgį padangose gaunamas didesnis sukibimo plotas su gruntu ar kelio paviršiumi ir taip padidinama traktoriaus traukiamoji jėga. Literatūroje pateikta, kad didinant traktoriaus padangų sukibimo plotą, dirva mažiau slegiama [2]. Tuo tikslu efektyviau išnaudojamas traktorius. Jei padangų slėgis per aukštas, didėja traktoriaus buksavimas ir taip patiriami galios nuostoliai, padidėja degalų sąnaudos. Šiuolaikiniuose traktoriuose reikalingą padangų slėgį palaiko automatinės padangų slėgio reguliavimo sistemos. Jų paskirtis automatiškai sumažinti padangų slėgį įvažiuojant į dirvą, ir padidinti važiuojant keliu, nes priešingai negu dirvoje važiuojant keliu per mažas padangų slėgis sukelia didesnį pasipriešinimą judėjimui. Taip pat per daug sumažinus slėgį padangose sumažėja jų ilgaamžiškumas. Todėl padanga labiau deformuojama,

kaista, atsiranda mikro įtrūkimų. Didesnis padangų slėgio mažinimas gali būti žalingas, ypač tuo atveju, kai traktorius eksploatuojamas su maksimalia konstrukcine mase [12].

Modernūs traktoriai suprojektuoti taip, kad perduotų kiek įmanoma daugiau galios ratams. Perduodant didelį sukimo momentą sukibimas su paviršiumi užtikrinamas didinant kontaktinį plotą (žr. 1.4 pav.). Kontaktinį plotas priklauso nuo: padangos tipo, dydžio, slėgio ir padangų skaičiaus. Dažniausiai naudojami sudvejinti ratai. Sudvejinius ratus ir suregulius slėgį padangose padidinamas kontaktinis plotas su dirva. Tokiu būdu sumažinamas slėgis į dirvos paviršių, mažėja provėžos gylis, didėja traktoriaus efektyvumas.



1.4 pav. Oro slėgis padangoje: a) didesnis kontaktinis paviršius, mažesnis slėgis gruntui; b) mažesnis kontaktinis paviršius, didesnis slėgimas [13].

1.4 paveiksle pavaizduotas minimalus ir maksimalus oro slėgis padangoje. esant minimaliam oro slėgiui padangoje kontaktinis plotas į grunto paviršių yra didesnis nei esant maksimaliam oro slėgiui padangoje [13].

Traktoriaus masė

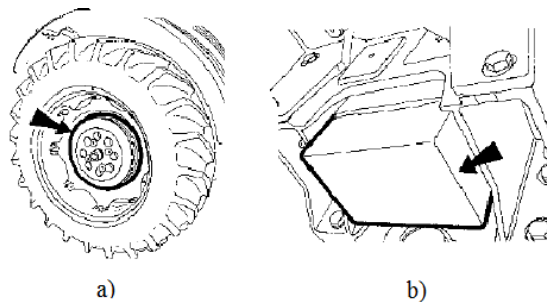
Traktoriaus masė svarbi eksploataciniu ir ekonominiu požiūriu. Papildoma masė, kurią galima uždėti ant traktoriaus, parodo jo panaudojimo galimybes. Traktoriai, kurių papildoma masė didelė, gali būti komplektuojami su sunkiais pakabinamais padargais ir mašinomis. Maža traktoriaus masė ir didelė papildoma masė rodo, kad traktoriaus degalų sąnaudos bus sąlyginai mažesnės. Šie traktoriai gali sutaupyti degalų, palyginti su didelę eksploatacinę masę turinčiaisiais [14].

Taigi lengvesnis traktorius sunaudos mažiau degalų. Esant reikalui lengvesnis traktorius gali būti papildomai apkrautas svoriais t.y. balastu. Su papildomu balastiniu svoriu traktorius eksploatuojamas atliekant sunkius traukos darbus.

Balastinis svoris

Kai traktoriaus traukiamosios jėgos poreikis didelis, naudojamas papildomas svoris. Šis svoris literatūroje dar vadinamas traktoriaus balastu. Didėjant traukiamosios jėgos poreikiui, didėja varančiųjų ratų buksavimas. Buksavimą galima mažinti, naudojant platesnius, sudvejintus ratus, padangas su stambesniu protektoriumi, mažinant oro slėgį padangose. Kitas būdas padidinti traukiamąją jėgą didinti prispaudimo jėgą varantiems ratams. Šiuolaikiniuose traktoriuose pagrindinė ratų apkrovos didinimo priemonė yra sunkus balastinis svoris. Traktoriaus naudojimo instrukcijoje aprašoma, kaip tinkamai parinkti balastinį svorį [6].

Traktorių ašių apkrovos paskirstymui gali būti naudojamos įvairios priemonės: tvirtinamas priekinis ar galinis papildomas svoris, ant traktoriaus priekinio hidraulinio keltuvo kabinamas svoris, montuojami prie traktoriaus ratų ratlankių 1.5 a), traktoriaus apačioje montuojami svoriai 1.5 b), į padangas pilamas skystas balastas. Pridėjus balasto, padidėjusias energijos sąnaudas traktoriui stumti turi kompensuoti ir sumažintas varančiųjų ratų buksavimas. Be to, traktoriai su balastais geriau valdomi, tokia technika saugiau dirbti [12, 14].



1.5 pav. Traktoriaus priekinis balastinis svoris: a) tvirtinimas ant ratlankių, b) tvirtinimas ant traktoriaus rėmo.

Teisingas traktoriaus balastinio svorio paskirstymas padidina traukiamosios jėgos ir greičio savybes bei ekonomiškumą. Jei traktoriaus apkrova per maža, traktorius važiuoja netolygiai, ratai labiau buksuoja, padidėja degalų sąnaudos, didesni ir galios nuostoliai. Be to, greičiau dyla padangos, sumažėja darbo našumas [16].

Balastinio svorio dydį lemiantys veiksniai

- Dirvos ir traukos sąlygos.
- Mašinų tipas (pakabinamos, pusiau pakabinamos ar prikabinamos).
- Darbinis greitis.
- Traukiamoji jėga.
- Padangų tipas ir dydis.
- Oro slėgis padangose.

Eksplatuojant traktorius dažniausiai balastinis svoris parenkamas atsitiktinai. Kadangi personalas neatsižvelgia į balastinio svorio dydį. T. y. tokio pat dydžio balastinis svoris naudojamas ir sunkiems (dirvos įdirbimo), ir lengviems (transporto) darbams atlikti. Tai lemia didesnes degalų sąnaudas [14].

Optimalus oro slėgio paskirstymas padangose ir balastinių svorių parinkimas

Padangų slėgio ir balastinio svorio paskirstymas priklauso nuo [2]:

- traktoriaus markės ir dydžio;
- padangų tipo, dydžio ir skaičiaus;
- dirvožemio tipo ir sąlygų;
- darbinio agregato tipo (matmenų, darbinio gylio, pločio).

Literatūroje teigiama, kad žinant padangų dydį ir darbinio agregato tipą galima kontroliuoti traktoriaus praslydimą tinkamai parinkus balastinį svorį, bet dirvožemio charakteristikos labai priklauso nuo dirbamo lauko savybių ir dėlto ratų praslydimas yra neišvengiamas. Taigi optimalus balastinio svorio paskirstymas turi būti pritaikytas prie lauko sąlygų ir atliekamų darbų (arimas, lyginimas, sėja ir pan.). Pateikiamos rekomendacijos, kuriomis vadovaujantis pasiekiamas didžiausias traktoriaus traukiamosios jėgos dydžio vertės [2].

Nustatomas lauke atliekamų darbų pobūdis. Galimi variantai lauko kultivavimas, arimas. Agregatą pritaikome prie traktoriaus, atsižvelgę į specifikacijoje pateikiamus nurodymus ir atliekamos operacijos pobūdį. Pagal turimą traktorių ir jo išvystomą galią, parenkamas jam tinkamas agregatas.

Nustatyti padangų dydį ir tipą. Tai nurodoma ant traktoriaus padangos. Žinodami padangos tipą, galima atitinkamai parinkti slėgį pagal pateikiamus nurodymus traktoriaus naudojimo instrukcijoje. Atsižvelgiant į atliekamų darbų pobūdį, bei lauko būklę.

Patikrinamas ir sureguliuojamas svorio pasiskirstymas traktoriaus ašims. Balastinis svoris traktoriaus ašims paskirstomas pridėjus arba nuėmus priekinius ar galinius balastinius svorius. T. y. apkrauname traktoriaus ašis taip, kad dirbant su agregatu jų kontaktinis slėgis į dirvą dirvožemiui būtų vienodas.

Nustatomas lestina padangos apkrova. Parenkamas papildomas svoris ant ašies pagal padangos lestinę apkrovą. Sureguliuojamas padangų slėgis. Tai atliekama pagal gamintojo pateiktas rekomendacijas. Minimalus ir maksimalus slėgis parenkamas pagal padangų tipą. Taip pat pateikiamos lentelės, kuriose nurodoma pagal apkrovas padangų slėgiai. 1.3 lentelėje matyti, rekomenduojami padangų slėgiai, pagal padangos tipą, bei apkrovą.

Gamintojo rekomenduojami padangų slėgiai [6]

Darbo pobūdis		Padangų matmenys			
		16.9-34 8PR	480/70R38	18.4R38	520/70R38
Lauko darbams	Rekomenduojamas oro slėgis padangoje, kPa	110 – 150	140 – 160	130 – 140	130 – 160
	Ašies apkrovos dydis, kg	1 830 – 2 200	2 130 – 2 430	2 595 – 2 715	2 625 – 3 000
Transportavimo darbams	Rekomenduojamas oro slėgis padangoje, kPa	170 – 200	130 – 160	130–160	170 – 200
	Ašies apkrovos dydis, kg	Maks. 2 380	2 130 – 2 430	2 595 – 2 715	Maks. 2 520

Kaip pateikta 1.3 lentelėje, atliekant lauko darbus minkštoje dirvoje, priekinės ir galinės padangos turi būti pripūstos iki minimalaus rekomenduotino slėgio. Vidutinis padangų slėgis rekomenduotinas atliekant darbus kietoje arba vidutinio kietumo dirvoje. Kaip pateikia gamintojas traktoriaus darbo instrukcijoje atliekant transportavimo darbus padangų slėgis rekomenduojamas maksimalus. Taip pat nurodoma leistina apkrova vienai ašiai, kuomet judėjimo greitis maksimalus.

Matuodami arba stebėdami traktoriaus ratų praslydimą įvertiname traukiamosios jėgos nuostolius. Ratų praslydimas matuojamas skaičiuojant rato apsisukimus. Taigi ratų praslydimas apytiksliai nustatomas išmatavus nuvažiuotą atstumą per tą patį apsisukimų skaičių.

Optimizuojame ratų praslydimą pridėdami arba nuimdami balastinį svorį. Jeigu ratų praslydimas didelis arba didesnis nei 15 % patiriame galios nuostolius. Taip pat ratų praslydimas gali būti sąlygotas kitų priežasčių: didelis dirvos drėgnumas, padargo pasipriešinimo jėgos yra per didelės, neužtikrintas sukibimas su grunto paviršiumi, netinkamas traktoriaus papildomo svorio parinkimas.

Ratų praslydimas mažinamas, parenkant padangas su stambesniu protektoriumi arba didindami padangų skaičių, naudojant sudvejintus ratus. Taip pat didindami balastinę masę. Didinant traktoriaus svorį didėja ratų spaudimas į dirvožemį, tačiau naudojant sudvejintus ratus slėgis dirvožemiui mažinamas, nes didėja kontakto plotas [2].

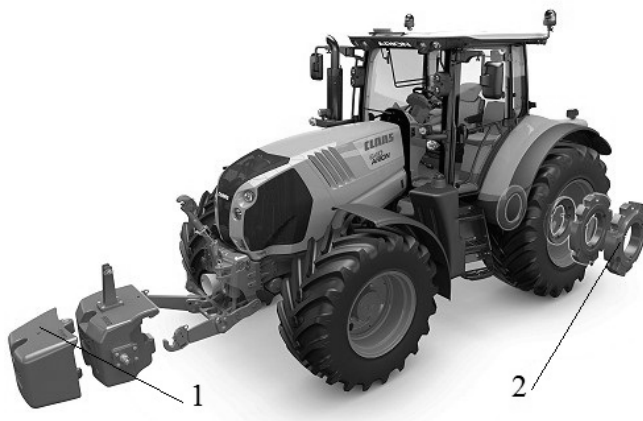
Jeigu ratų praslydimas mažas arba mažesnis nei 5 %, tuomet traktoriaus galia prarandama nugalėti atsiradusiai riedėjimo trinčiai. Tokiu atveju siekiant padidinti traktoriaus efektyvumą nuimama dalis balastinio svorio. Nuimant balastinį svorį sumažinamas traktoriaus bendras svoris tuo tarpu sumažinamas ir slėgis į dirvos paviršių.

Apžvelgus rekomendacijas galima teigti, jog didinant balastinį svorį, didinamas slėgis padangose, o naudojant sudvejintus ratus slėgis padangose mažinamas. Pritaikius anksčiau išvardintas pastabas, darbo metu pasiekiamas didesnis traktoriaus efektyvumas. Tuo tarpu pasiekiamas mažesnis dirvos suspaudimas, didesnė traukiamoji jėga, mažesnės kuro sąnaudos, dėl ratų praslydimo.

Apkrovos paskirstymas traktoriaus ašims

Tyrimais nustatyta, kad svarbi ne tik traktoriaus masė, bet ir svorio paskirstymo santykis priekiniams ir galiniams ratams, bei priekinių ir galinių ratų leistinos didžiausios apkrovos [13].

Traktoriaus masė paskirstoma abiem ašims, taip kad būtų gautas maksimalus sukibimas su dirva darbo metu. Dauguma traktorių su visais varančiaisiais ratais pagaminti taip, kad galiniams ratams statinėje būsenoje tektų nuo 55 iki 60 % visos traktoriaus masės. Traktoriui dirbant sunkius traukos darbus su pakabinamais padargais, priekinių ratų spaudimo prie dirvos jėga sumažėja, o galiniams – padidėja. Neapkrauto (be darbinių agregatų) traktoriaus masė paskirstyta taip, kad daugiau svorio tektų priekiniams ratams. Traktoriaus priekiniai ir galiniai ašiai didinama papildomai uždedant balastinius svorius (žr. 1.6 pav.) [12, 14].



1.6 pav. Balastinio svorio tvirtinimas prie traktoriaus: 1 – priekinis balastinis svoris, 2 – galinis balastinis svoris.

Traktoriaus apkrova – pagrindinis veiksnys, dėl kurio kinta traktoriaus sukurtos energijos panaudojimo efektyvumas. Traktoriaus ašims tenkanti apkrova nustatoma naudojantis specializuotomis padinėmis-ašinėmis svarstyklėmis. Žinant tiksliai ašių apkrovas galima parinkti atitinkamai reikalingus balastinius svorius atliekant žemės ūkio darbus [17].

Transporto priemonės ratų apkrova ir sunkio jėga veikia šiuos pagrindinius eksploatacinius rodiklius [17]:

- ratų ir riedėjimo paviršiaus tarpusavio sąveiką;

- traktoriaus ratų praslydimą;
- traktoriaus išvystomą traukiamąją jėgą.

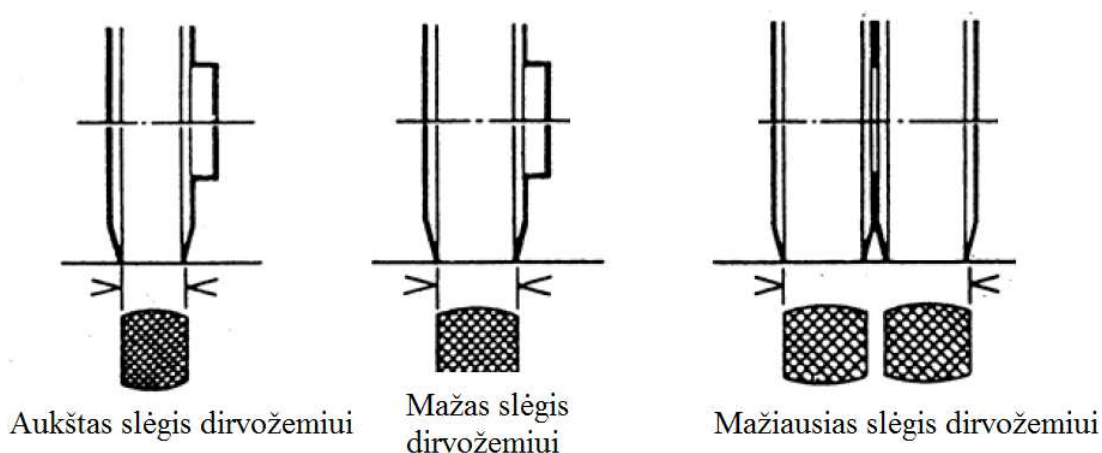
Paviršiaus tipas ir struktūra.

Paviršiaus tipas ir jo struktūra priklauso nuo: dirvos drėgnumo, temperatūros svyravimų. Atliekant lauko operacijas vyraujantys dirvožemio tipai ir savybės, o atliekant transportavimo darbus vyrauja skirtingas kelio paviršiaus tipas. Dirvožemio savybės nustatomos eksperimentiškai laboratorijose [18, 22].

Darbo sąlygų pokyčiai ir su tuo susijęs darbinių mašinų pasipriešinimo kitimas sudaro traktoriaus variklio kintamą apkrovą – kintamąjį darbinį režimą. Vadinasi, norint išvengti variklio perkrovos gamybos sąlygomis jis turi būti šiek tiek mažiau apkraunamas, t. y. paliekama galios atsarga. Galios atsarga žemės ūkio gamybos sąlygomis turi sudaryti 6 – 18 % variklio galios. Optimalus traktoriaus variklio apkrovimo laipsnis yra 0,82 – 0,94. Parenkant konkretaus darbo tikslingą variklio apkrovos laipsnį, rekomenduojama atsižvelgti į agregato darbo sąlygas. Jei dirva lygi, jos struktūra vienoda, akmenų ir kitokių kliūčių nėra, galima rinktis didžiausią apkrovos laipsnį (0,94). Jei dirva nelygi, struktūra nevienoda, gausu kliūčių, tikslinga pasirinkti mažiausią apkrovos laipsnį (0,82) [18].

Dirvos suslėgimas

Moderni žemės ūkio technika paskutiniu metu tampa galingesnė ir sunkesnė, o tai neigiamai veikia dirvą. Dirvos suslėgimas priklauso nuo: kietumo, drėgmės, organinių medžiagų kiekio, ašies apkrovos, važiavimų skaičiaus, slėgio padangose ir kontakto su dirva ploto. Skirtingo kietumo dirvoje slėgis pasiskirsto nevienodai [18].



1.7 pav. Riedėjimo pasipriešinimas su platesnėmis padangomis ir sudvejintomis [13].

Kietoje dirvoje (žr. 1.7 pav.) slėgis po ratu didesnis, tačiau dirva suslegiama mažesniame gylyje. Kuo dirva minkštesnė, tuo ji suslegiama gilesniuose sluoksniuose. Norint

išvengti dirvos suslėgimo ir pagerinti traukiamosios jėgos charakteristikas naudojami sudvejinti ratai.

Traktoriaus ratų praslydimas

Ratų praslydimas – esminis traktoriaus traukiamosios jėgos išnaudojimo ir energetikos rodiklis, kurį sunku vizualiai vertinti, todėl reikalingi matavimai. Jei varomieji ratai dirvoje praslysta mažiau kaip 5 – 8 % tuomet didėja energijos sąnaudos. Praslydimas mažas, kai varantiesiems ratams tenka per didelę svorio jėgą. Šiuo atveju energija eikvojama dirvai slėgti ir pertekliniam traktoriaus svoriui pervežti, todėl išauga degalų sąnaudos iki 15 % ir daugiau [14].

Didžiausia traukiamąją jėgą traktorius išvysto, ratui praslystant 20 – 24 %. Daugiau buksuojant, ji vėl pradeda mažėti. Taip pat literatūroje teigiama, kad didinant rato vertikalią apkrovą, maksimali traukiamoji jėga gaunama, esant mažesniai buksavimui [19].

Ekonominiu ir ekologiniu požiūriu didžiausias buksavimas priimtinas ne didesnis kaip 15 % minkštoje, purioje dirvoje, o kietoje, nepurentoje (pvz., ražienoje) – nuo 8 iki 10 %, nes esant didesniai buksavimui labai stipriai ardomas viršutinis, pats derlingiausias dirvos sluoksnis, sunaudojama žymiai daugiau degalų [2, 15, 20].

Ratų praslydimą galima mažinti naudojant platesnius, sudvigubintus ratus, padangas su stambesniu protektoriumi, mažinant oro slėgį padangose, bei didesne jėga varančiuosius ratus spaudžiant prie žemės [14, 15].

Traktoriaus ratų praslydimo nustatymas

Traktoriaus varančiųjų ratų praslydimas nustatomas, skaičiuojant varančiojo rato apsisukimus nustatytoje lauko atkarpoje. Pirma pažymima atkarpos pradžia ir pabaiga, kurioje bus atliekami bandymai. Šia atkarpa pravažiuojama neapkrovus traktoriaus ir suskaičiuojama kiek kartų apsisuko varantysis ratas atkarpoje. Taip nustatomas tuščiosios eigos apsisukimų skaičius n_{te} . Po to važiuojama ta pačia atkarpa apkrovus traktorių ir skaičiuojami apsisukimai. Randamas darbinės eigos apsisukimų skaičius n_d ir pagal formulę apskaičiuojamas traktoriaus varančiųjų ratų praslydimas δ [2, 16].

$$\delta = \frac{n_d - n_{te}}{n_d} \cdot 100 \quad (\%) \quad (8)$$

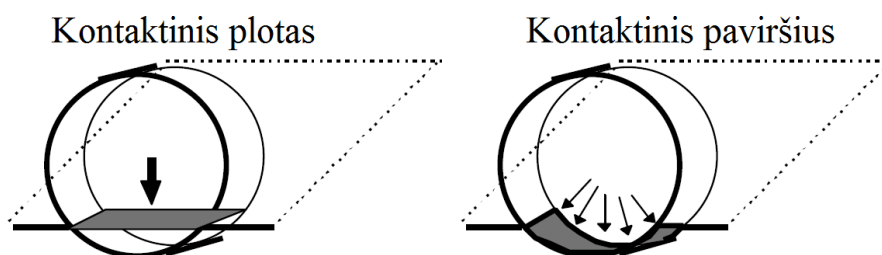
Čia:

n_{te} – tuščios eigos apsisukimų skaičius;

n_d – darbinės eigos apsisukimų skaičius.

Sukibimo plotas tarp padangų ir grunto paviršiaus

Padangos – svarbi transporto priemonės dalis, įskaitant traktorius ir kitas bekelės mašinas. Traktoriaus traukiamosios jėgos dydis priklauso nuo padangos deformacijos ir kontakčio paviršiaus. Taigi kaip matyti iš 1.8 paveikslo kontakčio paviršiaus projekcija į kelio plokštumą skiriasi.

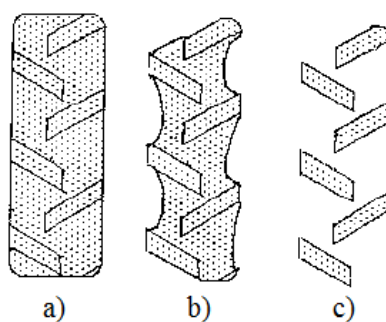


1.8 pav. Padangos ir paviršiaus sąveika [21].

Padangos ir paviršiaus sąveika gali būti analizuojama, atsižvelgiant į veikiančios apkrovos pobūdį ir dydį. Literatūroje dažniausiai naudojami terminai yra padangos kontaktinis plotas ir kontaktinis paviršius (žr. 1.8 pav.). Padangos kontaktinis plotas su paviršiumi apskaičiuojamas pagal geometrinius matmenis. Padangos kontaktinis paviršius skaičiuojamas įvertinant veikiančias apkrovas. Jis yra matuojamas varančiajai padangai, kuomet nustatoma konkretaus dydžio apkrova. Gautas padangos atspaudas (žr. 1.9 pav.) matuojamas su matavimo įranga (kietmatis, metras ir pan.).

Traktoriuose, skirtingai nuo kitų transporto priemonių padangos skiriasi geometriniais parametrais ir protektoriaus raštu [21].

Analizuojant statiškai, padangos kontaktinis paviršius vertikalioje projekcijoje skirtingas atsižvelgiant grunto savybių (žr. 1.9 pav.). Šis kontakčio paviršiaus plotas išmatuojamas važiuojant su traktoriumi per skirtingą grunto paviršių.



1.9 pav. Padangos atspaudas: a) antspaudo modelis, b) minkštas dirvožemis, c) kietas paviršius [21].

Matuojant padangos atspaudą gaunamos skirtingos projekcijos, dėl skirtingos grunto struktūros. Paveiksle 1.6 b) ir 1.6 c) matomas dalinis padangos protektoriaus atspaudas. Jis yra gaunamas esant kietesniam paviršiui. Žinant tai, jog traukiamoji jėga tiesiogiai priklauso nuo kontakto ploto su paviršiumi, tokiu atveju traukiamoji jėga mažėja. Kontakto ploto su grunto paviršiumi priklauso nuo apkrovos. Didinant apkrovą kontaktinis plotas didėja [22].

Taigi sukibimas su dirvos paviršiumi didinamas, mažinant oro slėgį padangose ir naudojant sudvejintus ratus. Traktoriaus padangos užtikrina sukibimą su grunto paviršiumi atliekant įvairias lauko operacijas [23].

Sukibimas tarp padangų ir dirvos svarbus tuo, kad didėjant sukibimo plotui mažiau slegiamas dirva. Sukibimo plotas didinamas sureguliuojant tinkamą padangų slėgį, parenkant padangas su stambesniu protektoriumi, arba uždedant sudvejintus ratus. Taip pat sukibimui su dirva padidinti naudojamos vikšrinės važiuoklės [24].

Kaip tinkamai sureguliuoti oro slėgį padangose atliekant lauko operacijas pateikia padangų gamintojai, bei nurodoma traktoriaus naudojimo instrukcijoje [6, 24].

Didinant kontakto plotą didėja traukiamosios jėgos charakteristikos mažinamas dirvos suslėgimas. Esant mažesniai dirvos slėgimui, nepažeidžiama dirvos struktūra, o tai turi įtakos derlingam dirvos sluoksniui.

Mobilių mašinų važiuoklių tobulinimo kryptys

- Sudvejinami ratai.
- Diegiamos daugiaašės mobilios mašinos.
- Tobulinamos padangos ir jų dirvakibiai.
- Diegiamos slėgio padangose reguliavimo sistemos.
- Naudojamos vikšrinės važiuoklės.

Esant vikšriniai važiuoklei dirva ne tik mažiau slegiama esant tai pačiai apkrovai, tačiau didesnė traukiamoji jėga, nes didėja kontaktinis plotas su paviršiumi.

Didėjant rato apkrovai, dirva suslegiama vis giliau. Esant didesniam padangos ir dirvos kontakto plotui slėgis į dirvą mažesnis ir dirva suslegiama mažesniame gylyje [20, 25, 26].

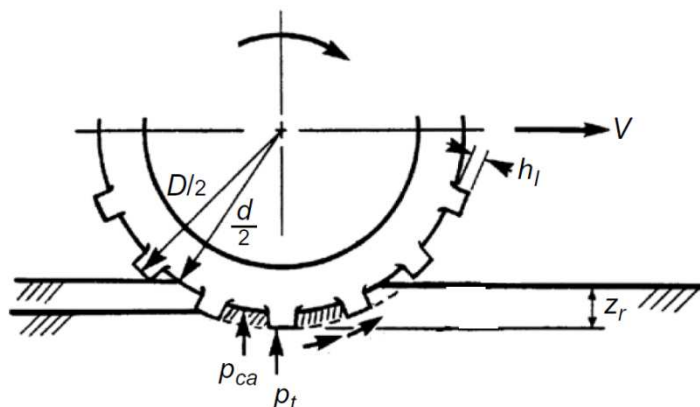
Traktoriaus padangos konstrukcija.

Traktoriaus padanga skiriasi nuo kitų žemė sūkio mašinų. Pagrindiniai padangų parametrai: dirvakibių skaičius ir aukštis, dirvakibių kontakto plotas, padangos kontakto su dirva plotas, išsvystoma traukiamąją jėgą, leistinas minimalus slėgis padangoje [18]

Pagrindinis bruožas dirvakibiai. Tyrimai rodo, jog palyginti padangas su dirvakibiais ir be jų, anksčiau minėtos pasižymi geresnėmis traukos savybėmis ant minkštos dirvos. Taip pat literatūroje aprašoma traktoriaus padangos konstrukcija ir jos ypatybės. Teigiama, kad radialinės

padangos pasižymi geresnėmis savybėmis, negu diagonalinės. Jos plastiškesnės, geriau kopijuoja dirvos paviršių, pasižymi geresnėmis dinaminėmis savybėmis [27].

Paveiksle 1.10 pavaizduota traktoriaus padangos buksavimas. Traktoriui buksuojant dirvoje, ardomas dirvos sluoksnis lygus protektoriaus aukščiui h_1 . Todėl išvystoma traukiamoji jėga didesnė, palyginti su kitais grunto tipais (asfaltu, žvyru, priesmėliu).



1.10 pav. Traktoriaus padanga, darbinis režimas: h_1 – protektoriaus aukštis, D, d – rato spinduliai, p – slėgis į gruntą, v – judėjimo kryptis [27].

Paveiksle 1.10 taip pat pavaizduota protektoriaus kontaktinis slėgis į gruntą (p_t) ir padangos slėgis (p_{ca}). Šis slėgis priklauso nuo padangos apkrovos. Kuomet kontaktinis slėgis didelis gaunama didesnė traukiamoji jėga, tačiau gruntas yra ardoma gilesniuose sluoksniuose [18, 27].

Taigi padangos kontaktinį plotą su paviršiumi galima nustatyti teoriškai eksperimentiškai. Teoriškai padangos kontaktas su paviršiumi yra artimas 0. Tokiu atveju įvertinamas rato spindulio ir paviršiaus kontaktas. Atitinkamai gautas kontaktinis slėgis yra maksimalus o plotas minimalus. Eksperimentiniai tyrimai rodo, kad padangos kontaktinis paviršiaus plotas yra didesnis. Tai sąlygoje daugybė veiksnių: skirtingas padangos slėgis, skirtingas paviršiaus kietumas, padangos geometriniai matmenys [21, 27].

1.6. Informacijos šaltinių analizės apibendrinimas

Traktoriaus traukiamoji jėga veikia traktoriaus rato kontakte su pagrindu ir priverčia traktorių judėti. Ši jėga apskaičiuojama remiantis apytikslėmis formulėmis, arba nustatoma eksperimentiškai. Analizuojant šaltinius nustatyta, kad traktoriaus traukiamoji jėga priklauso nuo: padangų slėgio, variklio sukimo momento, bendros traktoriaus masės, sukibimo ploto su gruntu, padangos konstrukcijos.

Žinant šiuos parametrus galima pritaikyti traktorių kiekvienai skirtingai lauko operacijai, ir padidinti traukiamosios jėgos dydį. Tačiau sudėtinga įvertinti dirvos, grunto charakteristikas. Grunto savybės priklauso nuo: aplinkos (temperatūra, drėgmė), vietovės reljefo

(įkalnės, nuokalnės). Keičiantis dirvožemio struktūrai gaunama kintama padargo apkrova, kuri tiesiogiai turi įtakos traktoriaus traukiamosios jėgos savybėms. Esant didesniam padargo darbinių dalių pasipriešinimui ir mažam sukibimui su grunto paviršiumi traktorius pradeda buksuoti. Šaltiniuose pateikta, kad buksavimas neturi būti mažesnis kaip 5 % ir ne didesnis nei 15 %. Jeigu buksavimas mažesnis traktorius naudojamas neefektyviai, jeigu didesnis krenta traktoriaus efektyvumas.

Tyrimuose nagrinėjamas traktoriaus ratų parslydimas. Jis mažinamas naudojant papildomus svorius (balastą). Tokiu būdu traktoriaus masė didinama. Padidinus eksploatacinę masę gaunamas didesnis spaudimas į dirvą. Tinkamai paskirsčius balastinius svorius varantiesiems tiltams, jie yra apkraunami tolygiai. Tokiu atveju efektyviau išnaudojama traktoriaus traukiamoji jėga.

Nagrinėjant traktoriaus traukiamosios jėgos charakteristikas parenkamas: skirtingas padangų slėgis, padangos konstrukcija, ašies apkrova. Tyrimus atlieka padangų gamintojai (MICHELIN, ATG, TITAN). Padangų slėgio reguliavimas ir sudvejintų ratų naudojimas pagerina traktoriaus traukiamosios jėgos savybes ir sumažinamas kontaktinis slėgis į grunto paviršių. Mažinant padangų slėgį, didinamas kontakto plotas į grunto paviršiaus plotą, todėl jis mažiau slegiamas. Naudodami sudvejintus ratus, skirtinguose ratuose padangų slėgis paskirstomas skirtingai. [24]

Traktoriaus traukiamąją jėgą ribojantys veiksniai sumažinami, tinkamai suregulius padangų slėgį, parinkus balastinį svorį, tinkamą padargą. Atlikus šiuos veiksmus galima pasiekti optimalų traktoriaus darbo režimą. Tuomet bus mažesnės degalų sąnaudos, nebus perkraunamas traktorius. Taip pat bus pasiektas geresnis traktoriaus našumas ir taupomas laikas atliekant lauko operacijas.


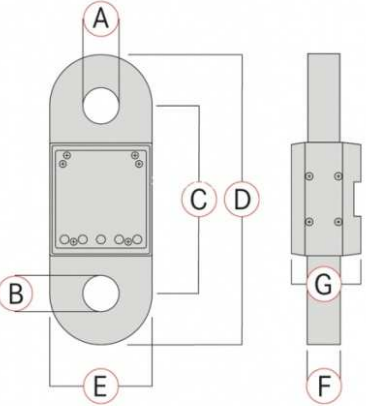
2. Eksperimentinių tyrimų metodika

2.1. Dinamometro projektavimas

Traktoriaus traukiamosios jėgos dydis nustatomas eksperimentiškai, todėl skaitinei vertei nustatyti naudotas dinamometras. Darbe nuspręsta dinamometrą gaminti, nes tokių dinamometrų kaina yra gana didelė, pavyzdžiui 100 kN dinamometras kainuoja daugiau kaip 1 000 € (žr. 2.1 lent.)

2.1 lentelė

Dinamometro techninės charakteristikos [3]

Dinamometras HFA 10T-3	Parametrai
	<p>Gamintojas: Kern</p> <p>Maksimali svėrimo riba: 100 kN</p> <p>Padalos vertė: 5000 g</p> <p>Tikslumas: 0,2 % (ties maksimalia svėrimo riba)</p> <p>Darbinė temperatūra: 5 - 35 °C</p> <p>Išorinis kalibravimas</p> <p>Taros funkcija</p> <p>Vienetų keitimo funkcija (kg/lb/N)</p> <p>Maitinimas iš akumuliatoriaus, baterijų arba elektros tinklo</p> <p>Įkraunamo akumuliatoriaus darbo laikas iki 30 val., krovimo laikas ~12 val.</p> <p>Svėrimo rezultato užlaikymo funkcija</p> <p>Ekranų simbolių aukštis: 23 mm</p>
	<p>Matmenys:</p> <p>A=B (skylių diametras): 40 mm</p> <p>D (bendras ilgis): 275 mm</p> <p>E (bendras plotis): 90 mm</p> <p>F (apkrovos daviklio storis): 40 mm</p> <p>G (bendras storis): 71 mm</p> <p>Kaina 1.237,60 €</p>

Dinamometro gamybą pradėta, nuo keitiklio projektavimo. Keitiklio profilis pasirinktas kvadrato formos, todėl, kad paprastesnė gamyba ir tenzorezistorių tvirtinimas.

Keitiklis projektuotas, pagal plieno C45 stiprumo ribą, kuri lygi 600 MPa [28], o keitiklio mažiausiame skersmenyje įtempiai negali viršyti takumo ribos t.y. 340 MPa. Priešingu atveju atsiranda plastinės deformacijos, kurios gali iškreipti matavimo rezultatus.

2.2. Dinamometro maksimalios apkrovos skaičiavimas.

Tyrimui atlikti naudotas traktorius „Zetor fortterra 125“. Tyrimui reikalingi traktoriaus parametrai yra pateikti 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė

Traktoriaus parametrai [6]

Parametras	Skaitinė vertė
Vardinė galia, kW / Ag	90/125
Masė be balastinio svorio, kg	4 708
priekinės padangos	340/85R24
galinės padangos	420/85R38
Didžiausias sukimo momentas prie 2000 aps/min, Nm	493
Balasto masė (kg)	500

Pagal 1 skyriuje pateiktas formules apskaičiuota traktoriaus traukiamąją jėgą.

$$F_v = \frac{M_e \cdot i_{tr} \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_v}{r_v}, \text{ kN} \quad (9)$$

čia:

M_e – variklio nominalus (efektyvus) sukimo momentas (Nm);

i_{tr} – transmisijos perdavimo skaičius;

η_{tr} – transmisijos naudingumo koeficientas;

η_v – traktoriaus važiuoklės naudingumo koeficientas;

r_v – varančiųjų ratų riedėjimo spindulys (m).

Supaprastinus (9) formulę, nenaudotos transmisijos naudingumo koeficiento (η_{tr}) ir traktoriaus važiuoklės naudingumo koeficiento (η_v) vertės. Apytiksliai apskaičiuota traktoriaus traukiamoji jėga remiantis jo variklio sukimo momentu.

Traktoriaus varančiųjų ratų riedėjimo spindulys įvertint padangos suspaudimą:

$$r_v = 0,98 \cdot R_g \text{ (mm)} \quad [29]$$

Traktoriaus varančiųjų ratų geometrinis spindulys R_g .

$$R_g = D = 2h_t + R, \text{ mm}, \quad (10)$$

Čia: h_t padangos aukštis, mm.

$$h_t = W_{ig} \cdot AR = 420 \cdot 0,85 = 357 \text{ mm} \quad (11)$$

Varančiosios padangos parametrai: 420/85R38.

Čia:

420 – padangos plotis (mm);

85 – padangos pločio ir aukščio santykis (%);

R – padangos konstrukcija (radialinė);

38 – ratlankio diametras (coliais).

$$D = 0,98 \cdot (2h_t + R) = 0,98 \cdot (2 \cdot 357 + 965,2) = 1645,6 \text{ mm} \approx 1,65 \text{ m} \quad (12)$$

$$F_v = \frac{M_e \cdot i_{tr}}{r_v} = \frac{493 \cdot 332}{1,65} = 99,2 \text{ kN} \quad (13)$$

Keitiklio matmenų skaičiavimas

Dinamometras turi atlaikyti apkrovą tempimui, kuri yra lygi traktoriaus traukiamajai jėgai $F_v = 99,2 \text{ kN}$ arba 10 t. Kadangi projektuojamą dinamometrą veiks kintanti tempimo apkrova, įvertintas dinaminis atsargos koeficientas.

Apskaičiuota traukiamoji jėga įvertinant kintančias dinamines apkrovas.

$$F = F_v \cdot k_{dyn} = 99,2 \cdot 10^3 \cdot 5 = 496 \text{ kN} \quad (14)$$

Čia:

$k_{dyn} = 5$ dinaminis atsargos koeficientas [31].

Iš stiprumo sąlygos surandame kraštinės ilgį. Dinamometro kaklelio profilis parinktas kvadrato formos.

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A} = \frac{F}{l^2} \quad (15)$$

Čia:

σ_{adm} leistinieji įtempiai plienui 500 MPa;

l – kvadrato kraštinės ilgis, mm;

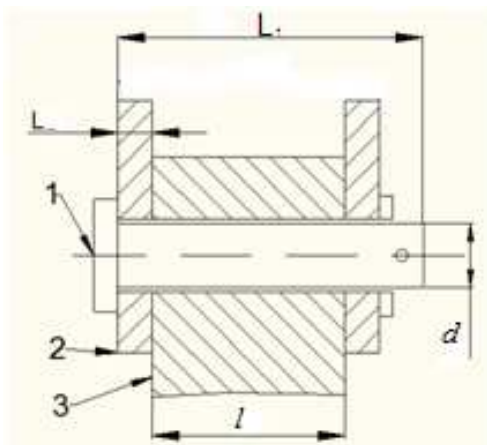
A – profilio plotas.

$$l = \sqrt{\frac{F}{\sigma_{adm}}} = \sqrt{\frac{496 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^8}} = 0,0315 \text{ m} \quad \text{priimame } 30 \text{ mm} \quad (16)$$

Kaiščio diametro skaičiavimas.

Kaištis parinktas pagal traktoriaus prikabinimo įtaisą. Jėgos keitiklio skylė daroma didesnė (35 mm) su garantuotu tarpeliu.

Apvalaus kaiščio su plokščia galvute patikrinimas [30]. Prie keitiklio (3) bus tvirtinamos kilpos (2) sujungtos kaiščiais (1). Jungties pjūvis pateiktas 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Kaiščio schema. 1–kaištis, 2–kilpa, 3keitiklis. l – keitiklio profilio storis, L – kilpos storis, L_1 – kaiščio ilgis, d – kaiščio kotelio skersmuo.

Kaiščio leistinieji kirpimo įtempimai

$$\tau_{k adm} \approx \frac{1}{2} \cdot \sigma_b \quad (17)$$

priimu $\tau_{k adm} = 300 \text{ MPa}$

Čia:

σ_b – stiprumo riba plienui C45 600 MPa [28].

Kaištinio sujungimo stiprumo sąlyga kirpimui:

Kadangi sukimo momentas yra neperduodamas, naudota formulė:

$$\tau_k = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \leq \tau_{k adm} \quad (18)$$

čia: $F = 496 \text{ kN}$ – Traktoriaus traukiamoji jėga apskaičiuota pagal apytikslę formulę (13).

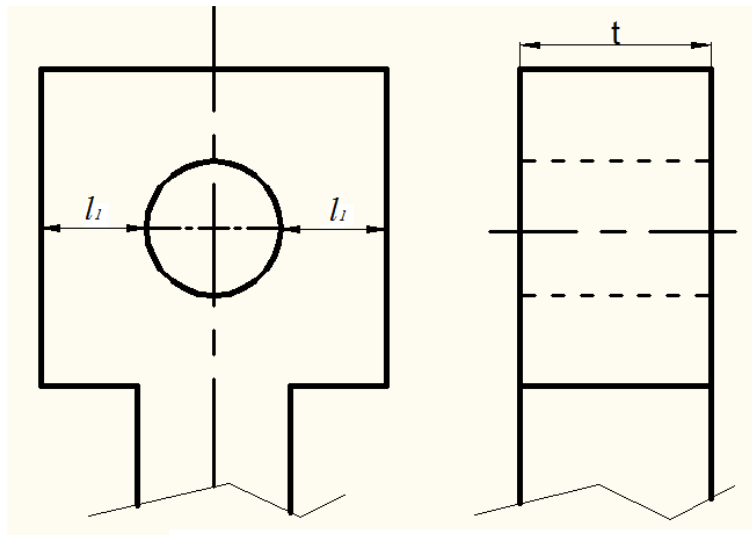
Kaiščio skersmuo d .

$$d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot F_a}{\pi \cdot \tau_{k adm}}}; \quad (19)$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot 496 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 300 \cdot 10^6}} = 3,2, \text{ mm} \quad (20)$$

$$d_{priimtas} > d \quad 34 \text{ mm} > 3,2 \text{ mm} \quad \text{sąlyga tenkinama}$$

Skaičiuotas atstumas (l_1) (žr. 2.2 pav.) nuo skylės iki krašto. Šis atstumas svarbus tuo, kad tempiant keitiklį neatsirastų plastinės deformacijos.



2.2 pav. Atstumo l_1 skaičiavimo schema.

$$A = 2 \cdot l_1 \cdot t \quad (21)$$

$$\frac{F_{\max}}{A} = \frac{F_{\max}}{2 \cdot l_1 \cdot t} \leq \sigma_y \quad (22)$$

$$\sigma_y = \frac{F_{\max}}{2 \cdot l_1 \cdot t} \quad (23)$$

Čia:

σ_y takumo riba plienui C45 340 MPa [28].

$$l_1 = \frac{F_{\max}}{2 \cdot \sigma_y \cdot t} = \frac{496 \cdot 10^3}{2 \cdot 340 \cdot 10^6 \cdot 0,03} = 0,0243m = 24,3 \text{ mm}; \quad \text{atstumas priimamas } l_1 = 24 \text{ mm}$$

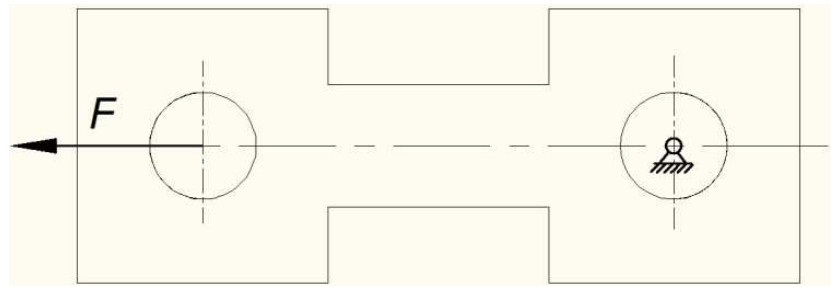
Skaičiavimo rezultatai pateikti 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė

Jėgos keitiklio prototipo matmenys

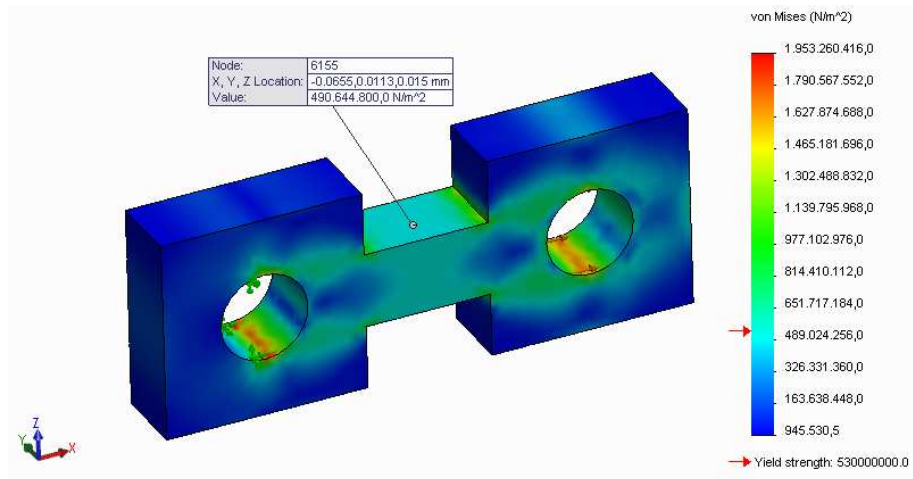
Parametras	Matmenys (mm)
Keitiklio mažiausias skersmuo (l)	30
Kaiščio skersmuo (d)	35
Atstumas nuo kiaurymės iki profilio krašto (l_1)	24
Keitiklio kaklelio ilgis	50

Keitiklis projektuotas remiantis ankstesniais skaičiavimais Suprojektavus keitiklį, atlikti patikrinamieji skaičiavimai, naudojant baigtinių elementų metodą. Pagal skaičiavimo schemą (žr. 2.3 pav.).



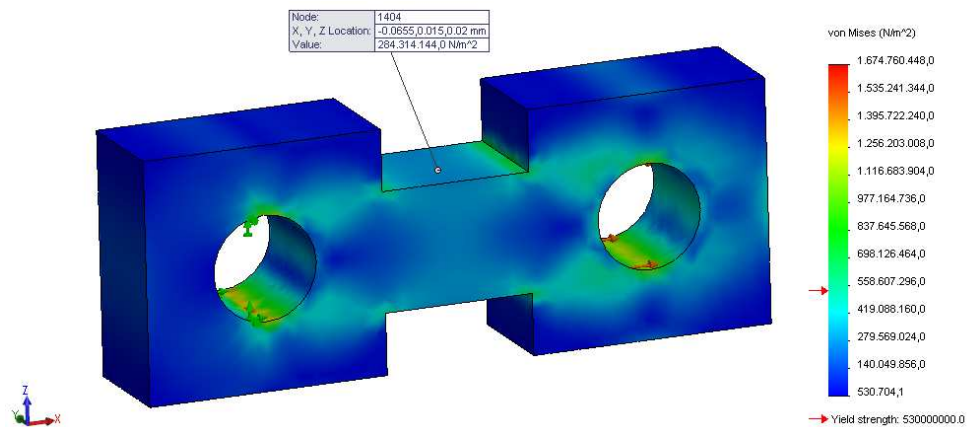
2.3 pav. Keitiklio stiprumo tikrinimo schema.

Patikrinamieji skaičiavimai atlikti su „SolidWorks Simulation“ (žr. 2.4, 2.5 pav.).



2.4 pav. Keitiklio konfiguracija nr. 1.

Patikrinus keitiklio modelį, gauname, kad mažiausiame skerspjūvyje ribiniai įtempiai viršija plieno takumo ribą $\sigma_{rib} = 490 \text{ MPa} \geq 340 \text{ MPa}$. Todėl pakeisti profilio matmenys į 40x40 mm. Patikrinamieji skaičiavimai atlikti pakartotinai.

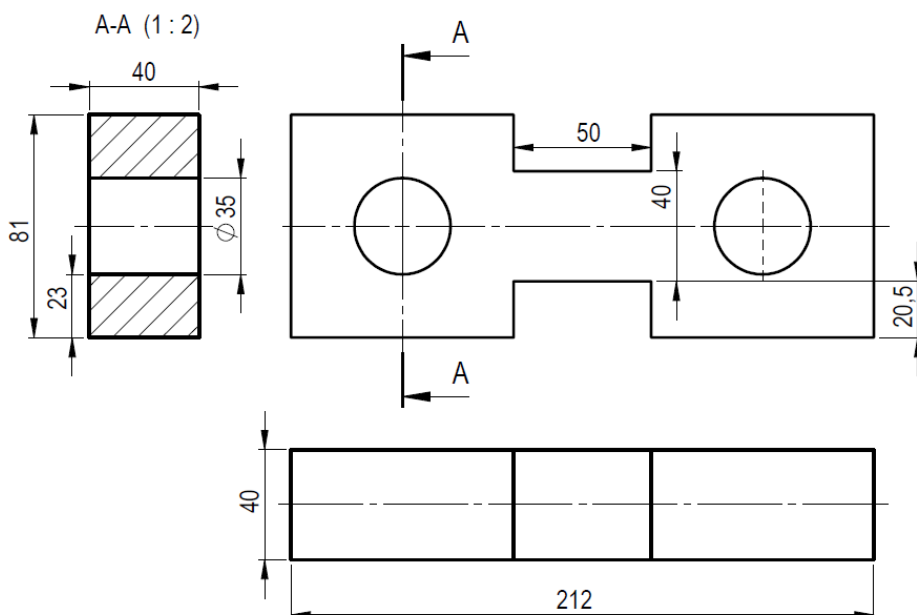


2.5 pav. Keitiklio konfiguracija nr. 2.

Atlikus skaičiavimus galima teigti, kad keitiklio kaklelyje ribiniai įtempiai mažesni nei plieno takumo riba $\sigma_{rib} = 280 \text{ MPa} \leq 340 \text{ MPa}$.

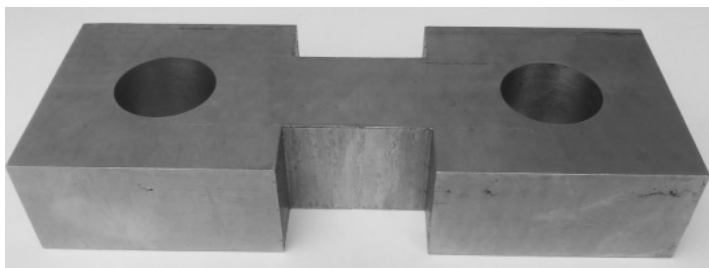
Atlikus patikrinamuosius skaičiavimus su „Solid Works Simulation“ nustatyta, jog keitiklio kaklelis turi būti ne mažesnis nei 40mm. Priešingu atveju matavimo rezultatai bus nestabilūs. Paveiksle 2.10 pateiktas pagamintas keitiklis.

Keitiklis gaminamas Kauno technologijos universiteto Panevėžio verslo ir technologijų fakulteto laboratorijoje pagal pateiktą darbo brėžinį (žr. 2.6 pav.). Jis buvo gaminamas iš stačiakampio ruošinio plieno C45.



2.6 pav. Jėgos keitiklio darbo brėžinys.

Paveikslėlyje 2.7 pateiktas pagamintas ir išbandytas jėgos keitiklis.



2.7 pav. Jėgos keitiklis.

Pagamintas keitiklis išbandytas su traktoriumi. Bandymas atliktas keitiklį pritvirtinus prie medžio su trosu. Keitiklis buvo tempiamas (žr. 2.8 pav.) keletą kartų su maksimalia apkrova, t. y. buvo įjungtas priekinis varantysis tiltas, visų keturių ratų blokatorius ir žemiausia pavara prie kurios perdavimo santykis didžiausias [6].



2.8 pav. Keitiklio stiprumo tikrinimas su traktoriumi : 1 - trosas, 2,3 – kaiščiai, 4 – keitiklis.

Atlikus bandymą, jėgos keitiklyje akivaizdžių pažeidimų nebuvo. Taigi galima daryti išvadą, kad jėgos keitiklio projektiniai skaičiavimai teisingi.

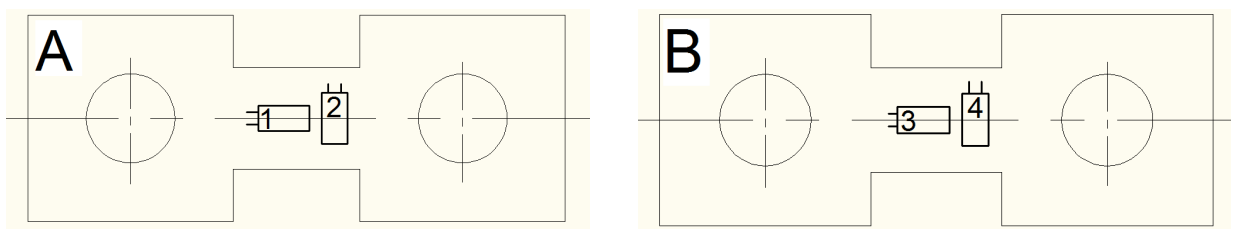
2.3. Dinamometro gamyba

Kadangi dinamometras apkraunamas tempimo jėga, kuri sukelia medžiagoje įtempius, Deformacijos išmatuotos tenzorezistoriais, kurie sujungti į Vitstono tiltelį deformacijas pakeičia į įtampos pokytį (mV). Išmatavus įtampos (U) pokytį (mV) buvo sukalibruotas dinamometras.

Tenzorezistoriai naudojami mažoms deformacijoms matuoti. Šio matavimo keitiklio veikimo principas pagrįstas tenzoefekto reiškiniu. Tai laidininko elektrinės varžos kitimas, jį deformuojant. Tenzorezistoriai būna nedidelių matmenų, nestandūs, ir turi mažą temperatūrinį varžos koeficientą. Jeigu tenzorezistorius tempiamas ar gniuždomas, keičiasi jo varža [31].

Tenzorezistoriai ant keitiklio pritvirtinami tokiais etapais:

- 1) Paruoštas keitiklio paviršius tenzorezistorių klijavimui (nušveistas su abrazyviniu popieriumi ir nuvalytas su acetonu).
- 2) Suklijuoti tenzorezistoriai pagal (žr. 1.5 pav.) schemą. Tenzorezistoriai priklijuoti su epoksidiniais klėjais iš abiejų pusių (A, B)
- 3) Atlikus tenzorezistorių varžų patikrinimą, prie jų kontaktų prilituoti laidai (žr. 2.9 pav.).



2.9 pav. Tenzorezistorių klijavimo schemas : 1,2, 3, 4 numeriais pažymėti tenzorezistoriai;

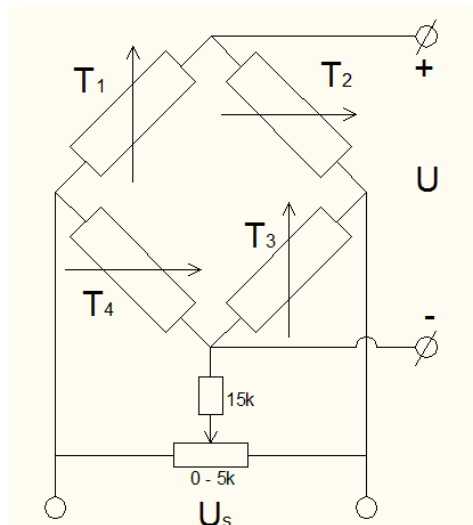
A, B – priešingos dinamometro pusės.

Tenzorezistoriai priklijuoti su epoksidiniais klėjais iš abiejų pusių (žr. 2.9 pav.)



2.10 pav. Keitiklis su priklijuotais tenzorezistoriais.

4) Tenzorezistoriai (1-4) sujungti į tiltelį (žr. 2.11 pav.). Tiltelis prijungtas prie nuolatinės įtampos šaltinio (U). Esant deformacijoms tiltelyje registruojamas varžos pokytis. Pakitus varžai tiltelis išsibalansuoja t.y. tarp tiltelio pečių vidurinių taškų atsiranda įtampų skirtumas. Ši disbalanso įtampa (U_s) registruota multimetru.

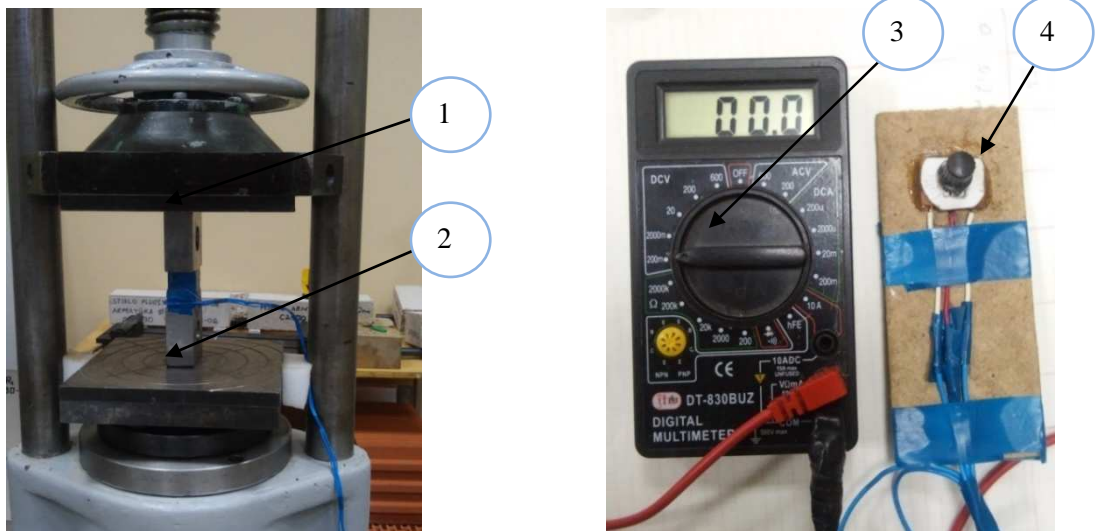


2.11 pav. Tiltelio jungimo schema. Čia T_1, T_2, T_3, T_4 – tenzorezistoriai, U_s – signalo įtampa, U – maitinimo įtampa.

Vitstono tiltelio paskirtis – pakeisti mažą varžos pokytį į įtampos pokytį. Todėl galima registruoti santykinai nedidelius varžos pokyčius. Pagal schemą (žr. 2.11 pav.) Vitstono tiltelyje naudotas potenciometras, kuris skirtas balansavimui. Balansavimo tikslas pakeisti varžų balansą, kad signalo įtampa būtų lygi nuliui.

2.4. Dinamometro kalibravimas

Dinamometras kalibruotas laboratorijoje, pasinaudojus esamu gniuždymo presu (1) (žr. 2.12 pav.). Kalibravimo metu jėgos keitiklis prijungiamas prie 12 V įtampos maitinimo šaltinio ir su potenciometru (4) nustatoma signalo įtampą 0. Jėgos keitiklis (2) apkraunamas žinomo dydžio apkrova nuo 0 iki 90 kN ir naudojantis multimetru (3) nustatomos įtampos pokyčio vertės.



2.12 pav. Dinamometro kalibravimas: 1 – gniūždymo presas, 2 – dinamometras, 3 – multimetras, 4 – potenciometras.

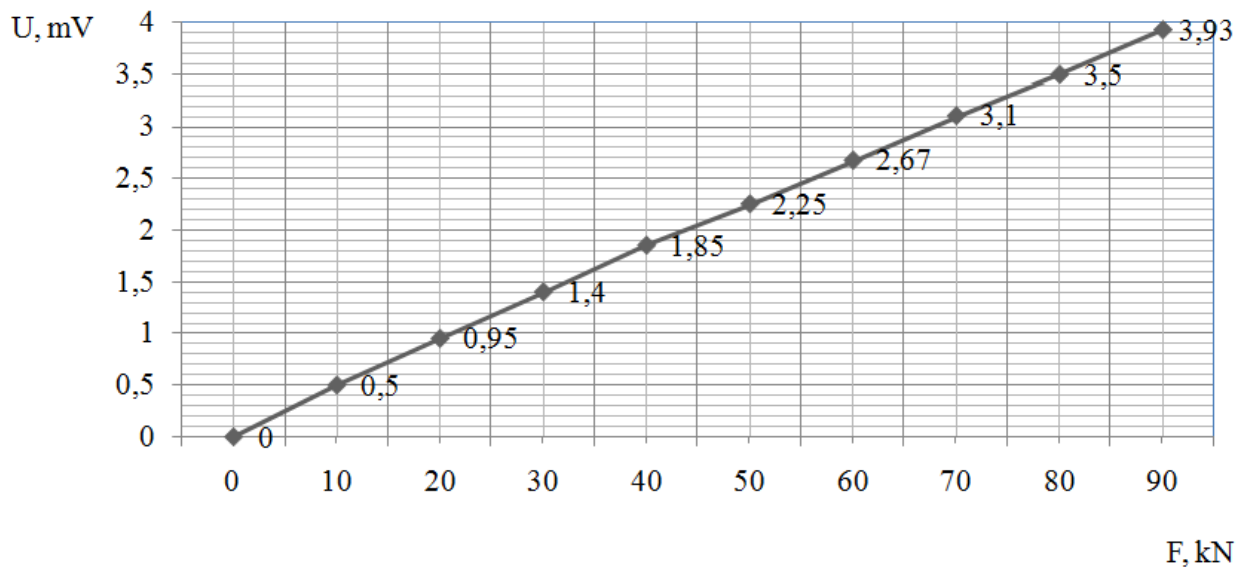
Atlikus dinamometro kalibraciją gauti duomenys pateikti (žr. 2.4 lent.), o kalibravo grafikas pateiktas (žr. 2.13 pav.).

2.4 lentelė

Kalibravimo duomenys

Apkrova F , (kN)	Bandymo eilės numeris										Signalų įtampos vidurkis	Žingsnis
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Signalų įtampa U , (mV)											
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,5
10	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,5	
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,95	0,45
30	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,4	
40	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,85	0,4
50	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,25	
60	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,60	2,60	2,60	2,70	2,67	0,43
70	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,1	
80	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,5	0,43
90	4,00	4,00	3,90	4,00	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	3,93	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	

Atlikus kalibravimą pastebėta, kad rezultatai stabilūs. Gražinus apkrovą į pradinę padėtį, signalo įtampos pokyčio vertė grįžta į pradžią (0 mV). Tai rodo, jog jėgos keitiklyje nelieka plastinių deformacijų, o tenzorezistoriai priklijuoti tinkamai.



2.13 pav. kalibravimo grafikas

Analizuojant kalibravimo grafiką (žr. 2.13 pav.), pagal gautus duomenis (žr. 2.4 lent.) galima teigti, jog įtampos pokytis kinta pagal tiesinę priklausomybę.

2.5. Bandymo parametrai

Apžvelgus literatūrą (žr. 1 skyrių), nustatyti veiksniai, kurie turi įtakos traktoriaus traukiamajai jėgai. Tyrimo metu keisti šie parametrai: padangų slėgį, varančiųjų tiltų skaičių, bei paviršiaus tipą. Išmatuotos traktoriaus traukiamosios jėgos skaitinės reikšmės ant skirtingo grunto tipo.

Tyrimo metu matuota traktoriaus traukiamoji jėga keičiant šiuos parametrus:

- **Padangų slėgis.**

Skirtingas padangų slėgis pasirinktas todėl, kad literatūros apžvalgoje (žr. 1 skyrius), rašoma, kad nuo padangų slėgio priklauso traktoriaus ratų sukibimo plotas su kelio, grunto paviršiumi. Taip pat tai turi įtakos ir traktoriaus traukiamosios jėgos savybėms.

Kaip teisingai sureguliuoti padangų slėgį įvertinant traktoriaus ašių apkrovą, pateikta traktoriaus darbo instrukcijoje, poskyryje traktoriaus pritaikymas darbui [15]. Atsižvelgus į gamintojo rekomendacijas, parenkamas maksimalus, minimalus ir vidutinis oro slėgis padangose. Slėgių skaitinės reikšmės pateiktos 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė

Traktoriaus padangų slėgiai

	Oro slėgis padangose P , atm
Minimalus	1,3
Vidutinis	1,9
Maksimalus	2,5

- **Varančiųjų tiltų skaičius [6].**

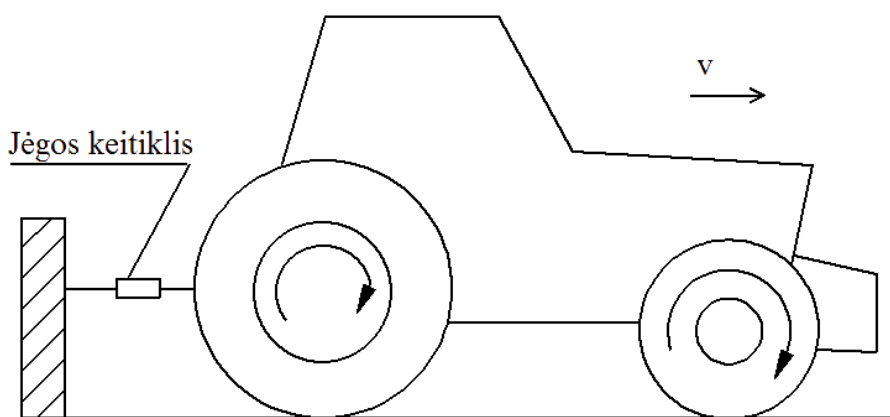
Tyrimo metu nustatoma kokią įtaką traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui turi priekinis varantysis tiltas. Traktoriuje priekinis varantysis tiltas yra įjungiamas/išjungiamas rankiniu būdu, t. y. automatiškai nesiblokuoja. Tyrimo metu bandomas galinis varantysis tiltas ir abu varantieji tiltai (priekinis ir galinis).

- **Ratų kontakto su grunto paviršiumi tipas: pieva, žyras, asfaltas.**

Šie paviršiai parinkti todėl, kad traktorius dažniausiai yra eksploatuojamas esant šiems grunto tipams.

- **Papildoma priekinės ašies apkrova 500 kg.**

Bandymo schema pateikta (žr. 2.14 pav.)



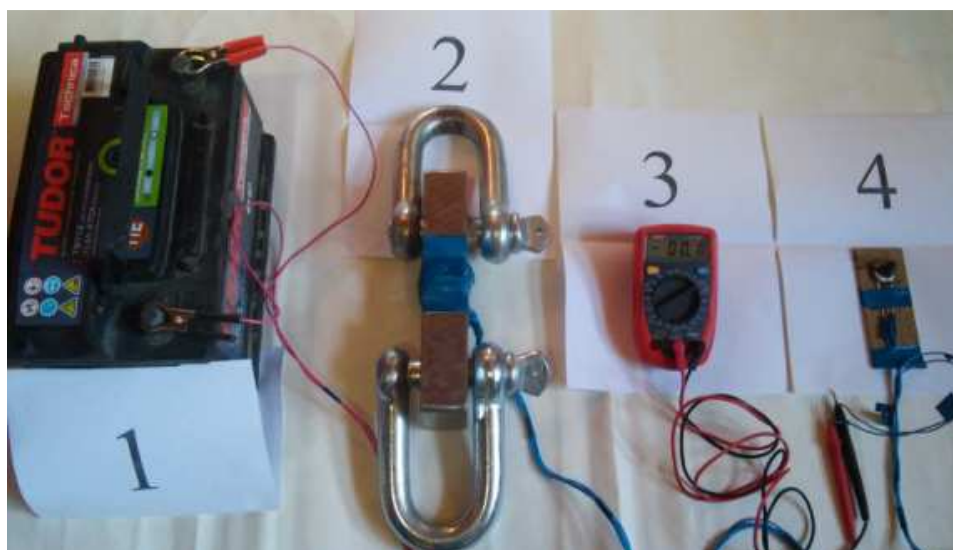
2.14 pav. Traktoriaus bandymo schema: v – judėjimo kryptis.

2.6. Tyrimo objektas ir priemonės

Tyrimui naudotas traktorius „Zetor fortterra 125“. Šis traktorius priskiriamas universalių traktorių kategorijai. Jo ratų formulė 4K4 (žr. 1.1 poskyris). Traktoriaus parametrai pateikiami gamintojo specifikacijoje [6]. Pagrindiniai parametrai pateikti 1.2 lentelėje.

Traktorius Zetor fortterra yra Čekų kompanijos gaminys. Šio traktoriaus gamintojas nurodo, jog jis pasižymi geromis traukos savybėmis. Todėl tyrimo metu nustatoma skaitinė traktoriaus traukiamosios jėgos vertė, įvertinant bandymo parametrus (žr. 2.5 poskyris).

Tyrimui atlikti buvo naudota įranga (žr. 2.15 pav.). Matavimas atliktas dinamometru prijungus prie nuolatinės srovės šaltinio (1) o signalo įtampos laidus prijungus prie multimetrom UT33C (3). Šis dinamometras balansuojamas su potenciometru (4). Dinamometro matavimo ribos nuo 0 iki 90 kN.



2.15 pav. Matavimo įranga: 1 – akumuliatorius (12 V); 2 – jėgos keitiklis; 3 – multimetras (UT33C); 4 – potenciometras.

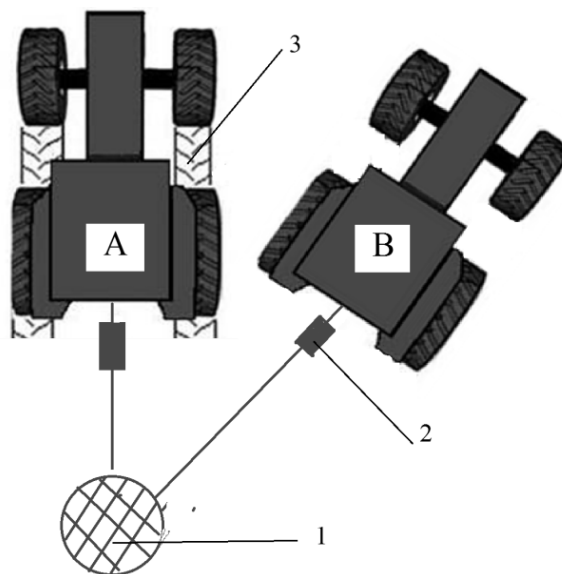
Tyrimas buvo atliktas prie trijų skirtingų grunto tipų (pieva, žvyras, asfaltas). Traktorius buvo prisikabintas prie nejudamos kliūtis (medžio). Traukiamosios jėgos matavimas atliktas naudojant dinamometrą. Dinamometras buvo prikabinamas prie traktoriaus prikabinimo įtaiso. Keičiant padangų slėgį, varančiųjų tiltų skaičių, esant mažiausiai pavarai, kuomet transmisijos perdavimo skaičius yra didžiausias buvo atliekamas tyrimas. Tempiant dinamometrą nustatytos maksimalios signalo įtampos pokyčio vertės. Tyrimo metu buvo palaikomas vidutinis variklio sukimosi dažnis (apie $1\ 500\ \text{min}^{-1}$). Bandytas atliktas prie kiekvieno slėgio (minimas, vidutinis, maksimalus) pakartotinai po 5 kartus su vieno varančiuoju tiltu (galiniu), ir su dviem varančiaisiais tiltais (priekinis ir galinis).

Oro slėgis padangose mažinamas nuo 2,5 atm iki 1,3 atm. Slėgis padangose nustatytas su manometru (žr. 2.16 pav.). Oro slėgis visose padangose buvo mažinamas tolygiai.



2.16 pav. Manometras.

Po kiekvieno atlikto bandymo traktorius buvo perstatomas ant nesuardyto paviršiaus. Traktoriaus padėtis buvo keičiama pasinaudojus lanksčia jungtimi (grandinė). Principinė bandymo schema pateikta 2.17 paveiksle.



2.17 pav. Traktoriaus bandymo schema. 1– nejudama jungtis (medis), 2 – dinamometras, 3 – buksavimo žymė A – pozicija po bandymo, B – pozicija prieš bandymą.

Tyrimas atliktas (2 – 3 m) nuo medžio.

Bandymo metu naudojamas visų keturių ratų blokatorius. Jo paskirtis sujungti atskirus ratus, kad sukimo momentas būtų perduodamas abiem ratams tuo pačiu metu. Tokiu atveju užtikrinamas tolygus traktoriaus varančiojo tilto ratų sukimasis.

3. Tyrimo rezultatai

3.1 Grunto tipas: pieva.

Tyrimas atliktas remiantis tyrimo metodika, kuri aprašyta 2 skyriuje. Traktorius buvo prikabinatas prie medžio naudojant grandinę, trosą ir dinamometrą. (žr. pav. 2.17). Pirmas išbandytas paviršiaus tipas buvo pieva. Šis paviršiaus tipas pasirinktas todėl, kad traktorius dažniausiai yra eksploatuojamas laukuose. Pieva yra vienas iš grunto tipų, kuriame atliekamos lauko operacijos, arimas, skutimas ir k. t. Paveikslėlyje 3.1 pateikti bandymo pavyzdžiai.



3.1 pav. Bandymo eiga. Grunto tipas, pieva.

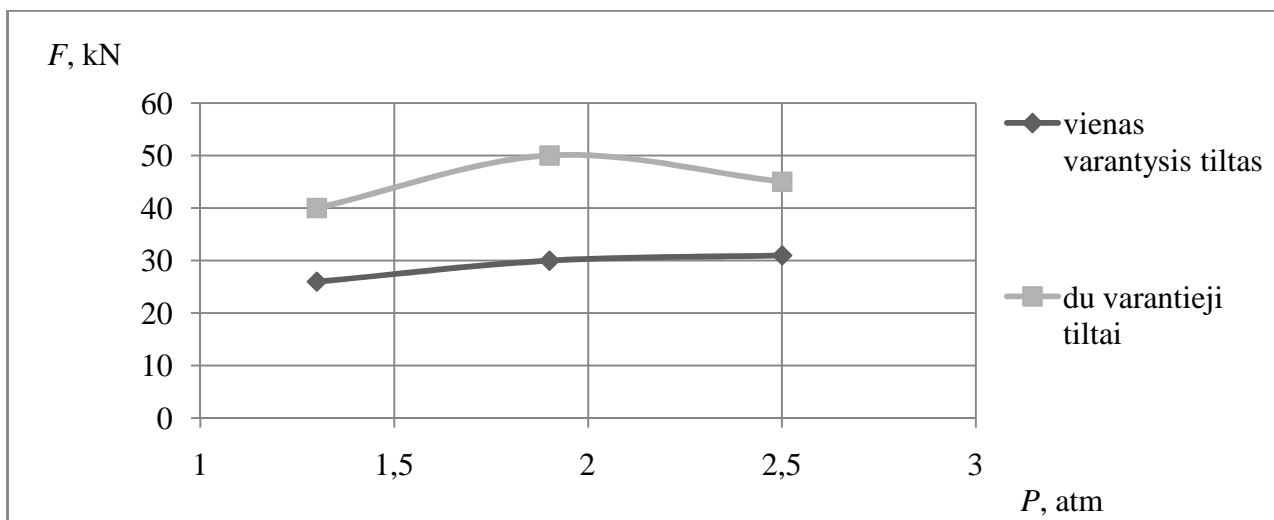
Traukiant su traktoriumi dinamometrą buvo fiksuotas įtampos pokytis (mV). Pasinaudojus kalibravimo grafiku (žr. 2.13 pav.) nustatyta apkrova F , kN. Keičiant bandymo parametrus (žr. 2.5 poskyris) ir stebėdami multimetrom rodmenis, gauti duomenys pateikti 3.1 lentelėje. Rezultatai pavaizduoti grafiškai (žr. 3.2 pav.).

3.1 lentelė

Bandymo rezultatai, grunto tipas, pieva

Varančiųjų tiltų skaičius	Oro slėgis padangose P , atm	Bandymo eilės numeris					Įtampos vidurkis U , mV	Traukiamoji jėga F , kN
		1	2	3	4	5		
Vienas varantysis tiltas	2,5	1,9	1,4	1,5	1,4	1,5	1,54	31
	1,9	1,5	1,3	1,5	1,4	1,5	1,44	30
	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,3	1,26	26
Du varantieji tiltai	2,5	2,4	2,0	2,1	2,1	2,0	2,12	45
	1,9	2,2	2,3	2,3	2,2	2,3	2,26	50
	1,3	1,9	1,6	1,9	2,0	1,9	1,86	40

Paveiksle 3.2 pateiktas grafikas rodo, traukiamosios jėgos priklausomybę nuo oro slėgio padangose. Grafike pateiktos vidutinės traktoriaus traukiamosios jėgos vertės, kuomet gruntas buvo pieva.



3.2 pav. Traukiamosios jėgos priklausomybė nuo padangų slėgio. Grunto tipas: pieva

Atlikus bandymą ant pievos buvo nustatyta, jog esant mažesniai padangų slėgiui traukiamoji jėga buvo sąlyginai mažesnė.

Remiantis analitinėmis formulėmis, teoriškai traktorius gali pasiekti iki 99 kN traukiamąją jėgą, tačiau atlikus tyrimą nustatyta, kad padangų sukibimas su grunto (pievos) paviršiumi riboja traktoriaus traukiamosios jėgos dydį. Didžiausia 50 kN vertė nustatyta, prie dviejų varančiųjų tiltų, kuomet oro slėgis padangose buvo 1,9 atm. Taip pat (žr. 3.2 pav.) galima teigti, kad vieno tilto maksimali traukiamoji jėga pasiekta esant slėgiui 2,5 atm traukiamoji jėga buvo 31 kN.

Priekinio varančiojo tilto įtaka procentais traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui esant skirtingam padangų slėgiui. Vidutinės reikšmės pateiktos 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė

Vidutinis įtampos pokytis %, grunto tipas, pieva

Varantysis tiltas	Padangų slėgis P , atm		
	1,3	1,9	2,5
Galinis	1,26	1,44	1,54
Galinis ir priekinis	1,86	2,26	2,12
Pokytis, %	32,26	36,28	27,36

Analizuojant rezultatus galima teigti, kad įjungus priekinį tiltą, traktoriaus traukiamoji jėga padidėja nuo 27,36 iki 36,28 %. Didžiausias traukiamosios jėgos pokytis įjungus priekinį tiltą nustatytas prie 1,9 atm oro slėgio padangose. Mažiausias pokytis 27,36 % nustatytas prie didžiausio padangų slėgio 2,5 atm. Taigi galima daryt išvadą, kad eksploatuojant traktorių ant pievos su dviem varančiaisiais tiltais, oro slėgis padangose rekomenduojamas vidutinis. Traktoriaus naudojimo instrukcijoje, ir padangų gamintojo rekomendacijose teigiama, kad padangų slėgis minkštoje dirvoje

turi būti 1,3 – 1,6. Atlikus bandymus nustatyta, kad didžiausia traukos jėga išvystoma esant vidutiniam padangų slėgiui 1,9 atm.

3.2. Grunto tipas: žvyras

Tyrimas buvo atliktas analogiškai kaip aprašyta 3.1 poskyryje. Šiuo atveju bandomas grunto tipas, žvyras. Šis grunto tipas pasirinktas todėl, kad kaimo vietovėse ar lauko keliuose yra vyraujantys šio grunto tipo keliai. Bandymo pavyzdžiai pateikti 3.3 paveikslėlyje.



3.3 pav. Bandymo eiga. Grunto tipas, žvyras.

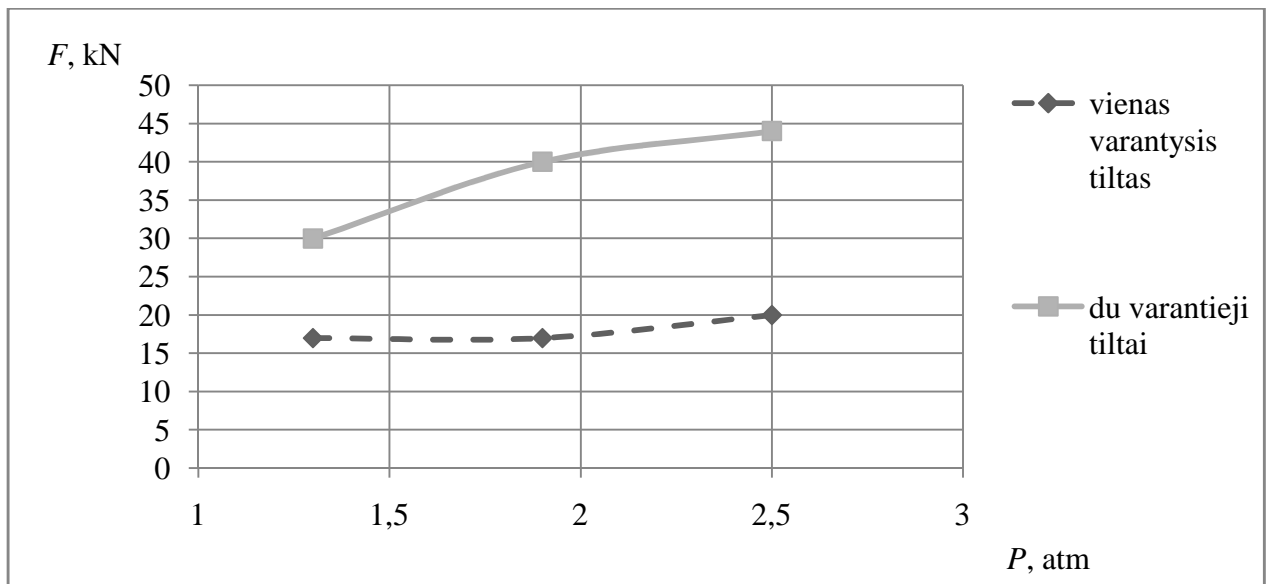
Bandymo rezultatai pateikti 3.3 lentelėje. Bandymo grafikas pateiktas 3.3 paveikslėlyje.

3.3 lentelė

Bandymo rezultatai, grunto tipas, žvyras

Varančiųjų tiltų skaičius	Oro slėgis padangose P , atm	Bandymo eilės numeris					Įtampos vidurkis U , mV	Traukiamoji jėga F , kN
		1	2	3	4	5		
vienas varantysis tiltas	2,5	1,1	0,9	1	0,9	1,1	1	20
	1,9	0,9	0,9	1	0,8	0,5	0,82	17
	1,3	0,8	1	0,8	0,7	0,8	0,82	17
du varantieji tiltai	2,5	2,2	2	2,1	1,7	1,9	1,98	45
	1,9	1,4	1,5	1,5	1,3	1,2	1,38	40
	1,3	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,4	30

Bandymo metu pastebėta, kad rezultatų netolygumui įtakos turėjo grunto struktūros nevienodumas. Analizuojant lentelėje pateiktus duomenis matyti, kad traukiamosios jėgos vertės ant žvyro mažesnės nei ant pievos. Tačiau rezultatai buvo stabilesni kuomet naudojamas galinis varantysis tiltas. Kuomet buvo įjungtas priekinis varantysis tiltas dinamometro rodmenų skirtumas keičiantis slėgiui buvo 10 kN.



3.4 pav. Traukiamosios jėgos priklausomybė nuo padangų slėgio. Grunto tipas: žvyras

Atlikus bandymus nustatyta, kad mažėjant oro slėgiui padangose, analogiškai kaip ir ant pievos traktoriaus traukiamoji jėga mažėja. Esant Vienam varančiajam tiltui traukiamosios jėgos dydis mažėja nuo 20 kN iki 17 kN. Kuomet įjungiami abu tiltai, traukiamosios jėgos dydis mažėja nuo 45 kN iki 30 kN. Didžiausia 45 kN traukiamoji jėga buvo pasiekta, kuomet oro slėgis padangose 2,5 atm.

Priekinio varančiojo tilto įtaka procentais traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui prie skirtingo padangų slėgio. Vidutinės reikšmės pateiktos 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė

Vidutinis įtampos pokytis %, grunto tipas, žvyras

Varantysis tiltas	Padangų slėgis P , atm		
	1,3	1,9	2,5
Galinis	0,82	0,82	1,00
Galinis ir priekinis	1,40	1,38	1,98
Pokytis, %	41,4	40,6	49,5

Atlikus bandymo metu gautų rezultatų analizę, galima teigti, kad įjungus priekinį tiltą ant žvyro, traktoriaus traukiamoji jėga padidėja nuo 40,6 iki 49,5 %. Didžiausias traukiamosios jėgos pokytis įjungus priekinį tiltą nustatytas prie 2,5 atm. Mažiausias pokytis 40,6 % nustatytas prie vidutinio padangų slėgio 2,5 atm. Taigi galima daryti išvadą, kad eksploatuojant traktorių ant žvyro su dviem varančiaisiais tiltais, oro slėgis padangose turi būti maksimalus. Taip pat tokias rekomendacijas pateikia traktoriaus ir padangų gamintojai [6, 24].

3.3. Grunto tipas: asfaltas

Tyrimas buvo atliktas analogiškai kaip aprašyta 3.1 poskyryje. Šiuo atveju bandomas grunto tipas buvo asfaltas. Šis grunto tipas pasirinktas todėl, kad naudojamas atliekant įvairius transportavimo darbus: birių krovinių pervežimas ir pan. Bandymo pavyzdžiai pateikti 3.5 paveikslėlyje.



3.5 pav. Bandymo pavyzdžiai. Grunto tipas, asfaltas.

Bandymo rezultatai pateikti 3.5 lentelėje. Bandymo rezultatų grafinis pavaizdavimas pateiktas 3.6 paveikslėlyje

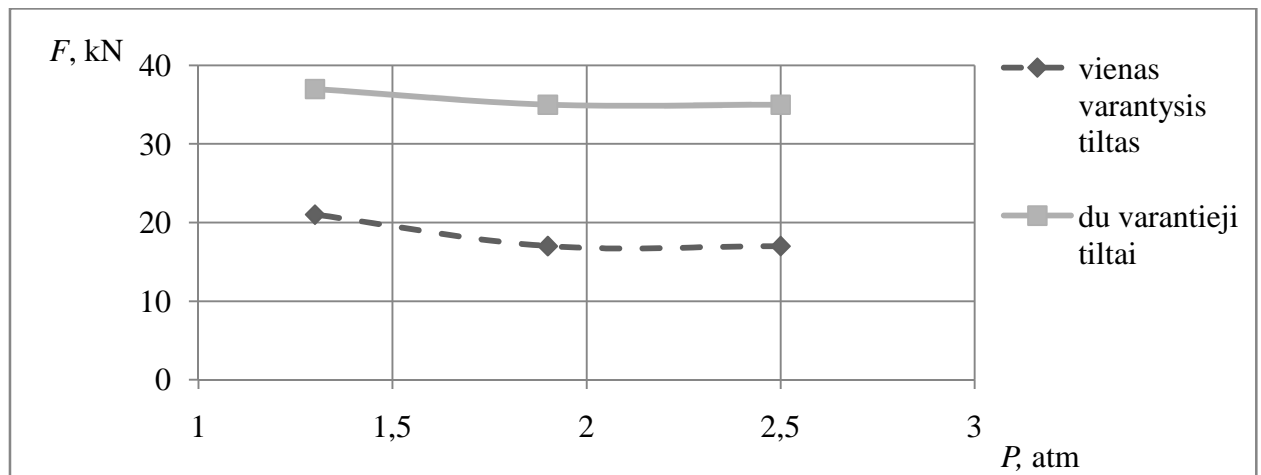
Lentelėje 3.5 pateikta traukiamosios jėgos priklausomybės nuo grunto tipo skaitinės reikšmės. Atlikus gautų duomenų apžvalgą galima teigti, jog esant šiam grunto tipui traukiamosios jėgos dydis gautas mažiausias, nes sukibimo plotas yra taip pat mažiausias (žr. 1.9 pav.). Padangos kontaktinio paviršiaus plotas aprašytas literatūros apžvalgoje (žr. 1 skyrius).

3.5 lentelė

Bandymo rezultatai, grunto tipas, asfaltas

Varančiųjų tiltų skaičius	Oro slėgis padangose P , atm	Bandymo eilės numeris					Įtampos vidurkis U , mV	Traukiamoji jėga F , kN
		1	2	3	4	5		
vienas varantysis tiltas	2,5	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,86	17
	1,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,86	17
	1,3	1	1,1	1	1	1,1	1,04	21
du varantieji tiltai	2,5	1,7	1,6	1,7	1,7	1,4	1,62	35
	1,9	1,6	1,7	1,5	1,6	1,7	1,62	35
	1,3	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,74	37

Bandymo metu pastebėjome, kad dėl grunto (asfalto) struktūros vienodumo, kietumo gauti duomenys stabilesni ir kito nežymiai, palyginti su bandymo duomenimis gautais 3.1 ir 3.2 poskyriuose.



3.6 pav. Traukiamosios jėgos priklausomybė nuo padangų slėgio.

Atlikus bandymus buvo nustatyta, kad mažinant oro slėgį padangose nuo 2,5 iki 1,3 atm traukiamoji jėga didėja. Todėl, kad didėja kontakto plotas su grunto paviršiumi, asfaltu. Analogiškai tai pastebėta ir su dviem varančiais tiltais. Maksimali 37 kN traukiamoji jėga buvo pasiekta esant dviem varantiems tiltams, kuomet oro slėgis padangose buvo mažiausias 1,3 atm. Išjungus priekinį tiltą, buvo gauta 21 kN traukiamoji jėga kuomet oro slėgis padangose buvo 1,3 atm.

Priekinio varančiojo tilto įtaka procentais traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui. Vidutinės reikšmės pateiktos 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė

Vidutinis įtampos pokytis %, grunto tipas, asfaltas

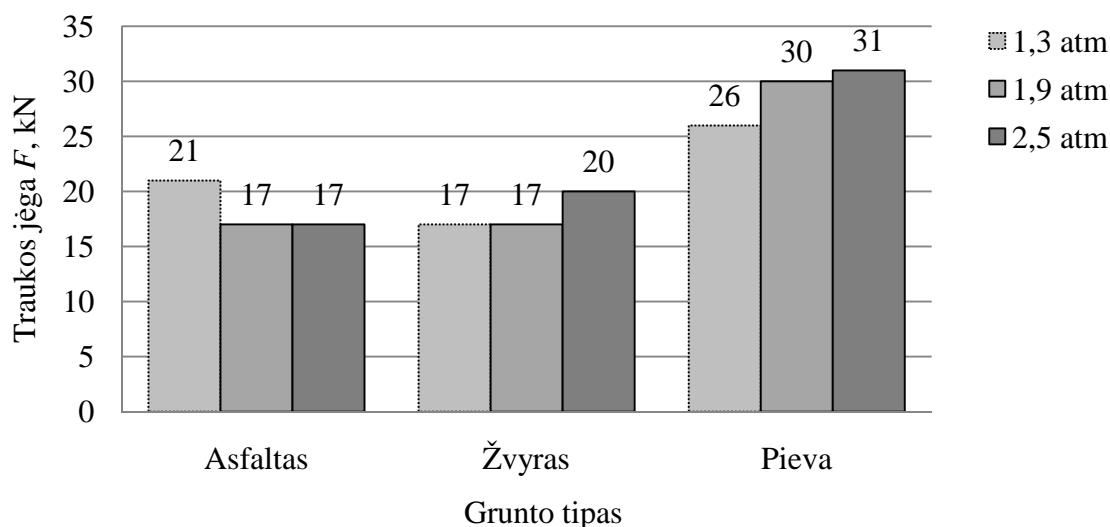
Varantysis tiltas	Padangų slėgis P, atm		
	1,3	1,9	2,5
Galinis	1,4	0,86	0,86
Galinis ir priekinis	1,74	1,62	1,62
Pokytis, %	19,5	46,9	46,9

Atlikus bandymo metu gautų rezultatų analizę, galima teigti, kad įjungus priekinį tiltą ant asfalto, traktoriaus traukiamoji jėga padidėja nuo 19,5 iki 46,9 %, Didžiausias traukiamosios jėgos pokytis įjungus priekinį tiltą nustatytas prie 2,5 ir 1,9 atm. Mažiausias pokytis 19,5 % nustatytas prie mažiausio padangų slėgio 1,3 atm. Taigi galima daryt išvadą, kad eksploatuojant traktorių ant asfalto su dviem varančiais tiltais, oro slėgis padangose rekomenduojamas maksimalus arba mažesnis nei maksimalus. nes tuomet traukiamosios jėgos santykis %, didžiausias. Gamintojas rekomenduoja maksimalų slėgį padangose atliekant transportavimo darbus [6, 24].

3.4. Vienas varantysis tiltas.

Skyriaus 3 pradžioje aptarta traukiamosios jėgos priklausomybė keičiant oro slėgį padangose ir varančiųjų tiltų skaičių. Tyrimo metu taip pat buvo nustatyta traktoriaus traukiamosios jėgos priklausomybė nuo pasirinkto grunto tipo (pieva, žvyras, asfaltas).

Atlikus bandymus, nustatyta kaip keičiasi traukiamoji jėga kiekvieno tilto atskirai esant skirtingam grunto tipui. Traukiamosios jėgos skaitinės reikšmės galiniam varančiajam tiltui pavaizduotos stulpelinėje diagramoje (žr. 3.7 pav.).



3.7 pav. Traukiamosios jėgos dydžio priklausomybė, nuo grunto tipo esant skirtingam padangų slėgiui.

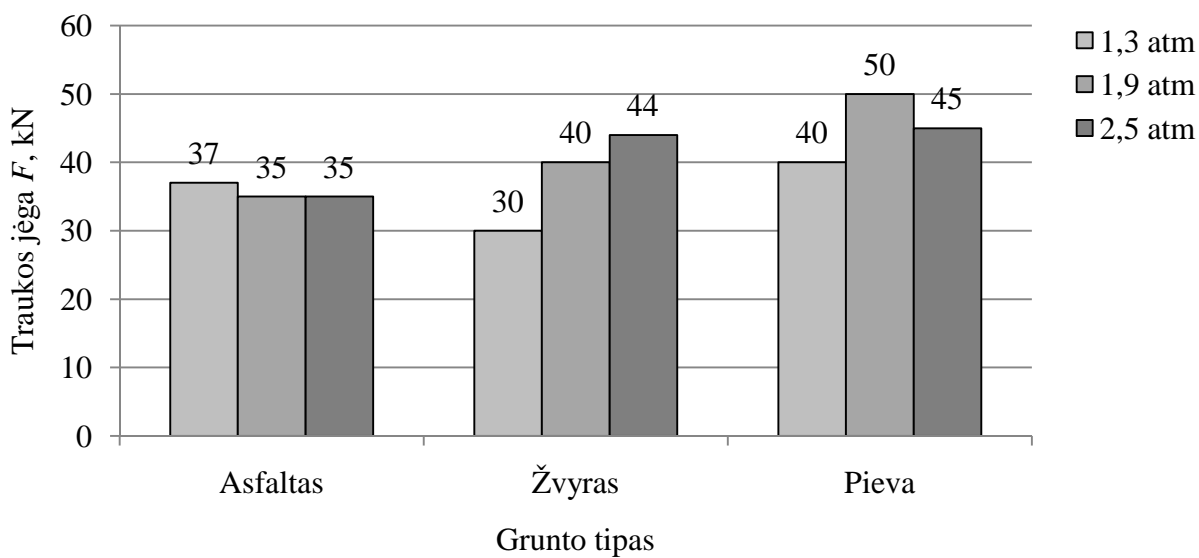
Palyginus tris skirtingus grunto tipus, galima daryti išvadą, kad visais atvejais nepriklausomai nuo slėgio, traukos jėga yra didžiausia ant pievos, mažiausia ant asfalto ir ant žvyro. Ant žvyro didesnė traukiamoji jėga išvystoma su didesnio slėgio padangomis. Ant asfalto, priešingai t.y. su mažesnio slėgio padangomis.

Didžiausia 31 kN traukiamoji jėga buvo pasiekta ant pievos, todėl kad ratui praslystant yra didinamas kontaktinis paviršius su gruntu. Tačiau, kaip teigiama literatūroje, kuomet buksavimas per didelis traukiamosios jėgos vertė mažėja. Tai taip pat buvo nustatyta ir atlikus tyrimą. Mažesnės jėgos vertės 17 – 21 kN nustatytos ant asfalto ir žvyro. Ant asfalto padangos kontaktinis paviršius plotas su gruntu nedidėjo, tačiau mažinant slėgį traukiamoji jėga didėjo nežymiai nuo 17 iki 21 kN. Ant žvyro priešingai, didinant oro slėgį padangose traukiamoji jėga kito nuo 17 iki 20 kN.

Šios jėgos dydžio reikšmės gautos, dėl traktoriaus padangos konstrukcijos ypatybių, kurios nagrinėtos 1 skyriuje.

3.5. Du varantieji tiltai.

Traukiamosios jėgos skaitinės vertės palygintos įvertinus skirtingus grunto, kelio tipus. Rezultatai fiksuoti, kuomet buvo įjungti abu varantieji tiltai (priekinis ir galinis). Bandymų metu gauti duomenys pavaizduoti stulpelinėje diagramoje (žr. 3.8 pav.). Tyrimo eigoje pastebėta, kad esant dviem varantiems tiltams, traktoriaus traukiamosios jėgos reikšmė buvo didesnė ant visų trijų bandytų paviršių.



3.8 pav. Traukiamosios jėgos dydžio priklausomybė, nuo grunto tipo esant skirtingam padangų slėgiui.

Analizuojant tyrimo metu gautus rezultatus galima teigti, kad dviejų tiltų atveju didžiausia traktoriaus traukiamoji jėga nustatyta ant pievos 50 kN. Šiek tiek mažesnės jėgos reikšmės gautos ant žvyro 35 kN ir dar mažesnės ant asfalto 30 kN. Kaip ir su vienu varančiuoju tiltu mažėjant oro slėgiui padangose ant asfalto traukiamoji jėga didėja, tačiau nežymiai. Ant žvyro priešingai nustatytas didesnis traukiamosios jėgos vertės pokytis nuo 30 iki 40 kN, didinant oro slėgį padangose. Ant pievos nustatyta didžiausia traukiamoji jėga kuomet padangų slėgis buvo vidutinis.

Atlikus bandymo duomenų analizę nustatyta, kaip kito traktoriaus traukiamoji jėga %, esant skirtingam grunto tipui ir prie skirtingų varančiųjų tiltų 3.7 lentelė.

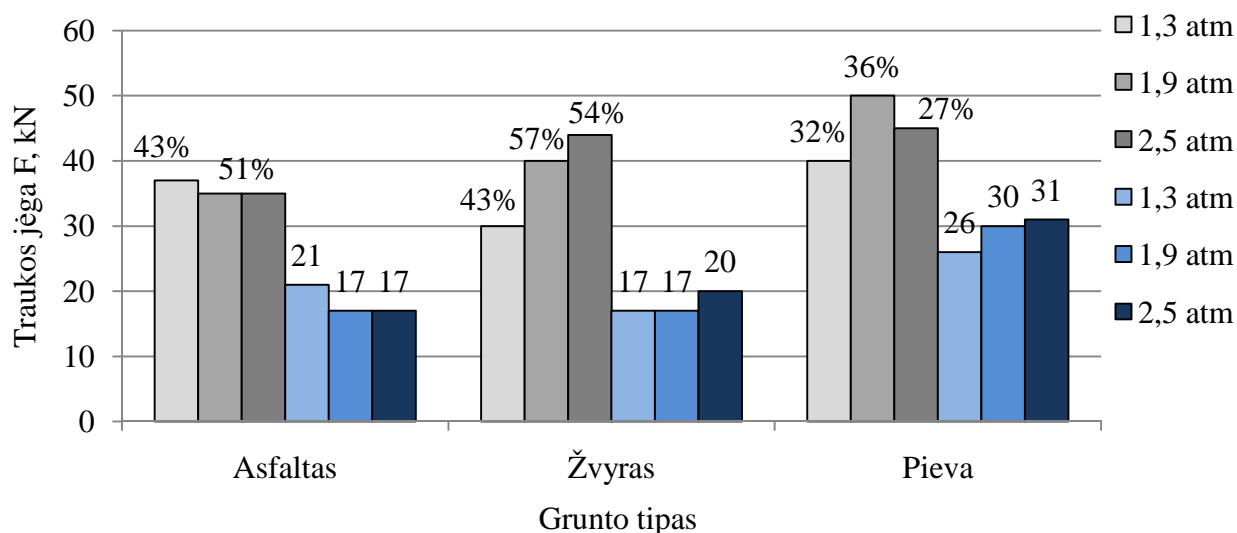
3.7 lentelė

Vidutinės traktoriaus traukiamosios jėgos vertės, kN

Grunto tipas	Vienas varantysis tiltas	Du varantieji tiltai	Traukiamosios jėgos dydžio pokytis, %
Asfaltas	18	35,6	49,5
Žvyras	18	37	51,4
Pieva	29	45	35,6

Mažiausias skirtumas % tarp vieno ir dviejų varančiųjų tiltų gautas kuomet grunto tipas buvo pieva. Didžiausias skirtumas tarp varančiųjų tiltų gautas, kuomet grunto tipas, žvyras (žr. 3.7 lent.).

Analizuojant tyrimo metu gautus duomenis (žr. 3.7 lent.) nustatyta, kad įjungus priekinį tiltą traukiamosios jėgos dydžio vertės ant visų bandytų paviršių nustatytos didesnės negu su vienu varančiuoju tiltu. Esant skirtingam padangų slėgiui jėga vidutiniškai padidėjo ant asfalto 49,5%, ant žvyro 51,4 %, bei ant pievos 35,6 %. Reikšmių pokyčiai % pavaizduoti stulpelinėje diagramoje (žr. 3.9 pav.).



3.9 pav. Traukiamosios jėgos dydžio priklausomybės priekinio ir galinio tilto palyginimas.

3.9 paveiksle taip pat pavaizduota priekinio tilto traukiamosios jėgos pokytis procentais prie kiekvieno padangos oro slėgio. Šviesesnė spalva žymi mažesnę slėgį padangoje, tamsesnė atitinkamai vidutinį ir maksimalų slėgį.

Analizuojant literatūros šaltinius (žr. 1 skyrius) nustatyta, kad traktoriaus traukos savybėms įtakos turi keletas pagrindinių veiksnių. Tyrimo metu įvertinti tris skirtingi grunto tipai, padangų slėgiai ir varančiųjų tiltų skaičiaus įtaką traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui. Nustatyta, kad traktoriaus traukiamoji jėga didžiausia, kuomet grunto tipas buvo pieva, esant vidutiniam padangų slėgiui ir kuomet įjungti du varantieji tiltai. Taip pat nustatyta mažiausia traktoriaus traukiamoji jėga kuomet buvo vienas varantysis tiltas o slėgis padangose minimalus, grunto tipas asfaltas ir žvyras.

Atlikus bandymus pastebėta, kad keičiant traktoriaus padėtį, t.y. jį perstatant ant nesuardyto paviršiaus (žr. 2.17 pav.) gauti duomenys priklausė nuo grunto tipo struktūros ir būklės savybių. Keičiant grunto tipą (pieva, žvyras, asfaltas) nustatyta, kad keitėsi traktoriaus traukiamosios jėgos dydis.

Išvados

1. Atlikus literatūros šaltinių analizę (žr. 1 skyrių) nustatyta, kad traktoriaus traukiamoji jėga priklauso nuo: padangų slėgio, konstrukcijos, sukibimo ploto su grunto paviršiumi, grunto tipo, eksploatacinės masės, varančiųjų tiltų skaičiaus. Žinant šių veiksnių įtaką traukiamosios jėgos dydžiui galima tinkamai parinkti balastinį svorį, sureguliuoti padangų slėgį. Tuomet padidinamas traktoriaus našumas ir sumažinamas ratų praslydimas, degalų sąnaudos.
2. Atlikus tyrimą nustatyta, jog traktoriaus traukiamosios jėgos dydį riboja, ne variklio sukimo momentas, bet varančiųjų ratų sukibimas su gruntu. Tai rodo, pagal analitinę formulę apskaičiuota traktoriaus jėga kuri lygi 99 kN, kurioje įvertinamas variklio sukimo momento dydis, varančiųjų ratų skersmuo. Bandymų metu didžiausia traukiamoji jėga buvo nustatyta 50 kN.
3. Remiantis atlikto tyrimo duomenimis matyti, kad visais atvejais traukiamoji jėga buvo didesnė ant pievos, taigi pirmas veiksnys kuris turi įtakos traktoriaus traukiamosios jėgos dydžiui yra grunto tipas. Antras pagal svarbą veiksnys yra tiltų skaičius. Didžiausios traktoriaus traukiamosios jėgos vertės buvo nustatytos, kuomet sukimo momentas perduodamas abiem varantiesiems tiltams. Trečias veiksnys yra padangų slėgis. keičiant oro slėgį padangose keitėsi ir traukiamosios jėgos reikšmės (žr. 3.9 pav.).
4. Atlikto tyrimo metu nustatyta, kad priekinis varantysis tiltas traktoriaus traukiamąją jėgą padidina ant pievos 35,6 %, ant žvyro 51,4 %, ant asfalto 49,4 %.
5. Mažiausia traukiamoji jėga 17 kN pasiekta ant asfalto, kuomet gruntas, grunto tipas kietas, ir dėl traktoriaus padangos konstrukcinių savybių sukibimo plotas mažiausias.
6. Rekomenduojamas vidutinis padangų slėgis atliekant sunkius traukos darbus, kurį pateikia padangų gamintojas yra 1,3 – 1,6 atm. Atlikus tyrimą nustatyta, kad esant vidutiniam, mažesniame nei vidutiniam padangų slėgiui traukiamoji jėga vidutiniškai buvo mažesnė ant grunto (asfaltas, žvyras), o ant grunto (pieva) traukiamoji jėga nustatyta didesnė.

Remdamiesi darbo rezultatais galima pateikti tokias rekomendacijas:

- Norint padidinti traukiamosios jėgos dydį traktoriuje „Zetor fortterra 125“ reikia įjungti priekinį tiltą. Priekinį tiltą tikslinga naudoti kuomet išvystomo galinio tilto traukiamosios jėgos nepakanka užtikrinti padargų darbiniam režimui ir kai traktoriaus ratų praslydimas per didelis.
- Esant minkštam gruntui (pieva, žvyras) rekomenduoja sumažinti padangų slėgį iki vidutinio 1,9 atm, tuomet traukiamoji jėga padidinama.
- Kuomet tirtas grunto tipas asfaltas, sumažinus padangų slėgį pasiekiamas didesnis traukiamosios jėgos dydis. Tačiau gamintojas nerekomenduoja atlikti transportavimo darbus su minimaliu slėgiu padangose.

Šaltinių sąrašas

1. Traukiamosios jėgos apibrėžimas. Prieiga per internetą <https://en.wikipedia.org/wiki/Tractive_effort> [žiūrėta 2016.01.21].
2. W. casady. Tractor tire and ballast management. Departament of agricultural engineering
3. Dinamometro kaina. Prieiga per internetą <<http://www.kern-sohn.com/shop/en/industrial-scales/hanging-scales-crane-scales/HFA/>> [žiūrėta 2016.01.18].
4. K. Matiušas. Žemės ūkio modernizavimas. Prieiga per internetą <http://www./ktvm.kretinga.lm.lt/images/doc/Zemes_ukio_mechanizavimas.pdf> [žiūrėta 2015.06.05].
5. J. Sapragnas. Automobilių ir traktorių konstravimas. Kaunas 1997.
6. Traktoriaus specifikacija. Zetor forterra operators manual 2009. Prieiga per internetą <www.cals.cz/zetorservice/files/1/forterra_z_8621-11641_gb.pdf> [žiūrėta 2015.12.10].
7. Traukiamosios jėgos skaičiavimas. Prieiga per internetą <<http://what-when-how.com/automobile/traction-and-tractive-effort-automobile/>> [žiūrėta 2015.12.15].
8. Уханов, А. П.; Стрельцов, С. В.; Мустякимов, Р. Н. Режимы работы двигателяэне ргосредства с учетомэкс плуатационных показателей МТА, Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2009.
9. Galios tikrinimo standartas. Prieiga per internetą <<http://standards.sae.org/wip/automotive/>> [žiūrėta 2016.04.20].
10. Traktorių bandymų ataskaitos. Prieiga per internetą <<http://www.dlg.org/tractors.html>> [žiūrėta 2016.05.02].
11. 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.
12. A. Janulevičius, K. Giedra. Tractor ballasting in field work. Lithuanian University of Agriculture, ISSN 1392 - 1207. Mechanika 2008. Nr.5 (73).
13. Traktoriaus pritaikymas. Prieiga per internetą. <http://courses.missouristate.edu/WestonWalker/AGA375_Forges/orage%20Mgmt/References/1Guides/Equip/MUG1236FarmWith one tractor.pdf> [žiūrėta 2015.10.21].
14. A. Janulevičius. Traktoriaus svoris ir degalų sąnaudos. Žemės ūkio inžinerija: LŽŪU2010 Prieiga per internetą <<http://manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/technika/2190-tractoriaus-svoris-ir-degalu-sanaudos>> [žiūrėta 2015.06.20].
15. Traktoriaus pritaikymas. Prieiga per internetą. <http://courses.missouristate.edu/WestonWalker/AGA375_Forges/orage%20Mgmt/References/1Guides/Equip/MUG1236FarmWithOneTractor.pdf> [žiūrėta 2015.10.21].
16. R.H. Macmillan The Mechanics of Tractor - Implement Performance Theory and Worked Examples 2010.
17. Simikič M., Dedovič, N., Savin L., Tomič M., Silleli H. H., Ponjičan O. 2012. Influence of Eccentric Drawbar Force on Power Delivery Efficiency of a Wheeled Tractor. Turk Jagric For. Vol. 36, p. 486-500.

18. A. Kirka. Žalingas traktorių poveikis dirvai. Lietuvos žemės ūkio universitetas 2010. Prieiga per internetą <<http://manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/technika/2148-zalingas-traktoriu-poveikis-dirvai>> [žiūrėta 2015.06.25].
19. A. Janulevičius, A. Juostas. The interaction between pulling power and fuel consumption of the tractor during draft mode applications. Kaunas: Technologija, 2007.
20. Itoh, H. Matsuo, K. Oida, A. Nakashima, N. Miyasaka, J. Izumi, T. Aggregate size measurement by machine vision, Journal of Terramechanics 2008, 45(4), p. 137–145.
21. Ş. Ekinci, K. Çarman, M. Taşyürek, and M. Mirik Relationship between Deflection and Contact Area of Drive Tire International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, Vol. 4, No. 3, August 2016.
22. M. Saarilahti modelling of the wheel and tyre. Tyre and soil contact university of Helsinki, department of forest resource management 2000.
23. H. Taghavifar, a. Mardani contact area determination of agricultural tractor wheel with soil 15 cercetări agronomice în moldova vol. Xlv , no. 2 (150) / 2012.
24. Padangų gamintojo pateikiamos rekomendacijos. Prieiga per internetą <<http://www.titanstore.com/pdf/TireInfo.pdf>>, <<http://www.dlg.org/tractors.html>> [žiūrėta 2016.04.22].
25. Городецкий, К. И.; Титов, А. И. Предпосыл кифор мирования рабочих скоростейсельскохозяйственных тракторов, Тракторы исельс кохозяй ственные машины, 2008, № 11, с. 30–33.
26. Juostas, A.; Janulevičius, A. Evaluating working quality of tractors by their harmful impact on the environment, Journal, 2009, 17(2): 106–113.
27. J. Y. Wong Terramechanics and offroad vehicle engineering. Terrain behavior, offroad vehicle performance and design. second edittion 2010.
28. Plieno C45 mechaninės charakteristikos. Prieiga per internetą <<http://www.matbase.com/material-categories/metals/ferrous-metals/high-grade-steel/material-properties-of-high-grade-steel-c45.html#properties>> [žiūrėta 2015.12.06]
29. R. R. Jason. Vehycle dynamics teory and application 2014.
30. Kaiščio parinkimas Prieiga per internetą: <<http://stud.ppf.ktu.lt/vaiciulis/paskaitos/me1/me1-11.pdf>> [žiūrėta 2014.04.20].
31. R. Kvedaras, V. Kvedaras, R. Martavičius. Elektroninė sistema unikalių konstrukcijų būsenos pokyčiams įvertinti. Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 6(48). – P.28-32.
32. Traktoriaus charakteristikos. Prieiga per internetą <<http://www.claasofamerica.com/product/tractor>> [žiūrėta 2016.05.10]