



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Mindaugas Klovas

KULTIVATORIAUS PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Sigitas Kilikevičius

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

KULTIVATORIAUS PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Gamybos inžinerija (621H70004)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Sigitas Kilikevičius
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Ramūnas Česnavičius
(data)

Projektą atliko

(parašas) Mindaugas Klovas
(data)

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

(Studento vardas, pavardė)

Gamybos inžinerija (621H70004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Kultivatoriaus projektavimas ir tyrimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

_____ 2018 _____ m. _____ Sausio _____ 3 _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Mindaugo Klovo**, baigiamasis projektas tema „Kultivatoriaus projektavimas ir 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)

Mindaugas, Klovas. Kultivatoriaus projektavimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Sigitas Kilikevičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: gamybos inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: kultivatoriaus tyrimas, kompiuterinis projektavimas, baigtinių elementų metodas, Solidworks Simulation, kultivatoriaus norago apkrova, dinamikos analizė.

Kaunas, 2018. 53 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe projektuojamas ir tiriamas žemės įdirbimo agregatas – kultivatorius. Apžvelgiamos kultivatorių darbinės dalys, jų veikimo ypatumai. Agregato projektavimui ir tyrimui pasitelkta Solidworks 3D CAD 2016 programinė įranga. Solidworks Simulation inžinerinės analizės sistema padeda įvertinti konstrukcinių elementų ir junginių įtempius, poslinkius, atsargos koeficientą ir pan. Konstrukcijų analizei programoje naudojamas baigtinių elementų metodas. Tiriamos agregato konstrukcijos dalys, jungtys, darbinės dalys. Tyrimams naudojami tiesinės ir netiesinės analizės metodai. Atlikti jungties bei kultivatoriaus norago statiniai tyrimai. Atliktas nuorago nuovargio tyrimas. Noragų sekcija tirta dinaminėmis apkrovomis.

Mindaugas, Klovas. Design and analysis of a cultivator: Master's Final Project / supervisor assoc. prof. Sigitas Kilikevičius. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Production Engineering, Technological sciences.

Key words: cultivator analysis, finite element method, computer aided design, dynamic analysis, Solidworks simulation.

Kaunas, 2018. 53 p.

SUMMARY

In this work the cultivator is designed and explored. The working parts of cultivators, their operation peculiarities are reviewed. SolidWorks 3D CAD 2016 software is used for designing and testing the unit. The SolidWorks simulation environment helps to assess the stresses, displacements, stock levels, etc. of constructive elements and compounds. For design analysis, the finite element method is used. Parts, joints, working parts of the exploration unit. The research uses linear and nonlinear methods of analysis. Static studies of joint and cultivator tine were carried out. Tine fatigue test was performed. Cultivator section was investigated with dynamic loads.

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Tvirtinu:

Gamybos inžinerijos

(parašas, data)

katedros vedėjas

Kazimieras Juzėnas

(vardas, pavardė)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studijų programa GAMYBOS INŽINERIJA

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis projektas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas, kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju projektu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Projekto tema – „Kultivatoriaus projektavimas ir tyrimas“

Patvirtinta 2017 m. gruodžio 11 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-12

2. Projekto tikslas suprojektuoti ir ištirti žemės įdirbimo įrenginį, kuris atitiktų šių dienų ūkininkų keliamus reikalavimus – būtų funkcionalus, universalus ir lengvai modifikuojamas.

3. Projekto struktūra: santrauka lietuvių ir anglų kalba, literatūros apžvalga, tiriamoji dalis, projektinė dalis, išvados, literatūros sąrašas.

4. Reikalavimai ir sąlygos. Kultivatorius projektuojamas mažiems ir vidutiniams ūkiams, kurie naudoja iki 150AG traktorius. Projektuojamą agregatą turi sudaryti tokios dalys ir junginiai – rėmas, prikabinimo mechanizmas prie traktoriaus, hidrauliškai reguliuojama spyruoklinė lyginimo lenta, kelių tipų priekiniai ir galiniai volai, užmontuojamos akėčios, važiuoklė.

5. Projekto pateikimo terminas 2017 m. gruodžio _____ mėn. 21 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo projekto dalis

Studentas Mindaugas Klovas
(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Vadovas doc. dr. Sigitas Kilikevičius
(pareigos, vardas, pavardė)

(parašas, data)

Turinys

Įvadas.....	9
1.1 Kultivatorių tipų apžvalga	10
1.1.1 Lengvieji ir sunkieji kultivatoriai	10
1.1.2 Aktyvieji ir pasyvieji kultivatoriai	11
1.1.3 Ištisinio dirvos dirbimo ir tarpueilių kultivatoriai.....	12
1.1.4 Kultivatorių skirstymas pagal darbinių dalių tipą.....	12
1.2 Kultivatorių rėmų tipų apžvalga	13
1.3 Kultivatoriaus junginių, dalių ir mechanizmų apžvalga	13
1.3.1 Prikabinimas prie traktoriaus	13
1.3.2 Lyginimo lentos	14
1.3.3 Darbinės dalys.....	14
1.3.4 Darbinių dalių gylio reguliavimo mechanizmai	14
1.3.5 Volų tipai	16
1.3.5.1 Pentininiai volai (angl. Crosskill)	17
1.3.5.2 Kembridžo (angl. Cembrige roller).....	17
1.3.5.3 Ardeliniai volai.....	17
1.3.6 Velenai ir ašys.....	18
1.3.7 Hidraulinė sistema.....	18
1.3.8 Akėčios.....	18
1.4 Kultivatoriaus darbinių dalių analizė.....	19
1.5 Literatūros apžvalgos išvados.....	21
2. Tiriamoji dalis	22
2.1 Kompiuteriniai integravimo metodai	23
2.1.1 Centrinio skirtumo metodas	23
2.1.2 Wilson-Theta metodas	23
2.1.3 Newmark metodas	24

2.2 Projektuojamo agregato tyrimas	24
2.2.1 Jungties tyrimas statinėmis apkrovomis	25
2.2.2 Jungties tyrimas po pakeitimų	27
2.2.3 Kultivatoriaus spyruoklinio norago tyrimas	28
2.2.4 Nuovargio tyrimas	29
2.2.5 Noragų sekcijos statinis tyrimas	31
2.2.6 Noragų sekcijos dinaminis tyrimas	32
2.2.7 Sustiprintos noragų sekcijos dinaminis tyrimas su išskirstytais apkrovomis, kai apkrova uždėta ant laikiklių (su spyruoklėmis)	35
2.2.8 Noragų sekcijos laikančiosios konstrukcijos dinaminis tyrimas su išskirstytais apkrovomis	36
2.2.9 Svirties tyrimas	37
3. Projektinė dalis	39
3.1 Projektuojamas agregato prikabinimo prie traktoriaus mechanizmas	40
3.2 Rėmo projektavimas	40
3.3 Lyginimo lentos projektavimas.....	41
3.4 Darbinės sekcijos projektavimas	42
3.4.1 Kultivatoriaus darbinių dalių pakėlimo mechanizmo projektavimas	43
3.5 Volų projektavimas	44
3.6 Galutinis gaminys	46
Išvados	48
Literatūra	49
Priedai	51
Pr. 1 Apkrovos dažnių funkcija	51
Pr. 2 Specifikacija	512
Pr. 3 Bendro vaizdo brėžinys	53

Įvadas

Daugumai gamybos produktų (įrenginiams, automobiliams, prietaisams ir kt.) tampant vis labiau individualizuotais, šis procesas neaplenkė ir žemės ūkio sektoriaus. Ūkininkai nori inovatyvių, jų poreikius atitinkančių sprendimų. Traktoriai tampa vis galingesni, žemės įdirbimo įranga tampa vis našesnė ir universalesnė. Anksčiau kiekvienai funkcijai atlikti buvo naudojamas atskiras agregatas (kultivatorius, akėčios, volas, plūgas ir pan.), tuo tarpu šiandien ūkiai siekia mažinti sąnaudas naudodami agregatus, kurie atlieka keletą funkcijų vienu metu.

Šio darbo tikslas suprojektuoti ir ištirti žemės įdirbimo įrenginį, kuris atitiktų šių dienų ūkininkų keliamus reikalavimus – būtų funkcionalus, universalus ir lengvai modifikuojamas.

Uždaviniai:

- Apžvelgti su darbo tema susijusią literatūrą. Apžvelgti rinkoje esančius produktus. Nustatyti jų privalumus ir trūkumus. Suformuluoti techninius reikalavimus projektuojamam agregatui.
- Parinkti agregato konstrukcinius elementus, bei darbinės dalis.
- Parinkti rėmo konstrukcijos tipą, parinkti detalių ir junginių plieno markes ir konstrukcinių elementų profilius, atlikti konstrukcijos stiprumo tyrimus.
- Nustatyti darbinis greičius ir pagreičius, guolius veikiančias jėgas, darbinių dalių perduodamas apkrovas rėmui.
- Suprojektuoti gaminį su keliomis modifikacijomis t.y. suteikti vartotojui galimybę lengvai pridėti ir pašalinti tam tikras darbinės funkcijas, reguliuoti agregato parametrus pagal auginamas kultūras, dirvos tipą, traktoriaus galingumą ir pan. Parengti bendro vaizdo brėžinį.

1. Literatūros apžvalga

Kultivatorius skirtas įdirbti žemę prieš sėją ar po arimo. Kultivavimas naudojamas piktžolių kontrolei – pažeidus piktžolių šaknis, daugelis jų nustoja dygti. Taip pat trupina dirvos plutą, taip padėdamas dirvožemiui gauti daugiau oro. Be to, stimuliuoja dirvožemio mikrofloros aktyvumą kartu pristabdant drėgmės garavimą ir palengvina lietaus įsiskverbimą. [1]

Priklausomai nuo kultivatoriaus konstrukcijos jo darbinės dalys atlieka keletą funkcijų: trupina grumstus, lygina, purena dirvą, naikina piktžoles, akėja, o taip pat gali sutankinti dirvožemį. Agregatas naudojamas įvairių kultūrų žemės įdirbimui:

- Javams
- Rugiams
- Kviečiams
- Avižoms
- Ir t.t.

Pagrindiniai žemės dirbimo uždaviniai:

- keisti drėgmės, oro ir šilumos režimą bei mikrobiologinius procesus dirvoje;
- į dirvą įterpti ražieną, augalų liekanas ir trąšas;
- lyginti dirvos paviršių arba formuoti lysves, vagas ir pan.;
- dirvos paruošimas sėjai;
- piktžolių, bei kenkėjų naikinimas;
- atstatyti nesukultūrintų, eroduotų žemių fizikines savybes. [2]

1.1 Kultivatorių tipų apžvalga

Kultivatoriai skirstomi pagal dirbamos žemės pobūdį, atliekamas darbinės funkcijas (lėkštinis, noraginis, rotorinis), įdirbimo gylį (giluminis, seklaus dirbimo).

1.1.1 Lengvieji ir sunkieji kultivatoriai

Pagal dirbamos dirvos pobūdį kultivatoriai skirstomi į lengvuosius ir sunkiuosius kultivatorius. Lengvieji kultivatoriai (1.1 pav.) skirti lengvoms (priesmėlis, juodžemis) dirvoms įdirbti. Agregatai būna santykinai lengvi, dažnai pakabinami. Darbinis plotis 3-12m.



1.1 pav. Lengvasis kultivatorius Regent Terrastar [3]

Sunkieji kultivatoriai skirti sunkioms (molis, priemolis) žemėms įdirbti. Sunkiesiems kultivatoriams reikia 20-50% daugiau traktoriaus galios lyginant su tokio paties darbinio pločio lengvaisiais kultivatoriais. [4]

1.1.2 Aktyvieji ir pasyvieji kultivatoriai

Pagal darbinių dalių veikimo principą kultivatoriai skirstomi į aktyviuosius ir pasyviuosius. **Pasyviesiems** priskiriami agregatai, kurių darbinės dalys yra spyruoklės ir noragėliai. Paprastai šie agregatai įdirba žemę 3-12cm gylyje. **Aktyviesiems** priskiriami sukieji stačiašiai kultivatoriai (1.2 pav.), kurių darbinės dalys sukasi nuo traktoriaus darbinio veleno ir išpureną molingas ir lengvas žemes 3-25cm gyliu. K. Lukošiuo [5] 2002-2005 m. atlikto tyrimo metu nustatyta, kad stačiašiai kultivatoriai netinka javų atsėliavimui lengvo priemolio dirvoje. Jų energinės sąnaudos yra ženkliai didesnės, nei pasyviųjų kultivatorių.



1.2 pav. Stačiašis kultivatorius ir darbinis rotorius [6]

1.1.3 Ištinio dirvos dirbimo ir tarpueilių kultivatoriai

Tarpueilių kultivatoriai (1.3 pav.) skirti kultūroms auginamoms vagomis – braškėms, bulvėms, sojoms ir kt. Šiuolaikiniai tarpueilių kultivatoriai gaminami su vaizdo apdorojimo įranga ir aktyviomis pozicionavimo sistemomis, kad įdirbami būtų tik tarpueiliai nepažeidžiant kultūrinio augalo šaknų.



1.3 pav. Tarpueilių kultivatorius su optine reguliavimo sistema [7]

Ištinio dirvos dirbimo kultivatoriai dirba visą plotą tolygiai (1.1 pav.).

1.1.4 Kultivatorių skirstymas pagal darbinių dalių tipą

Pagal darbinių dalių tipą kultivatoriai skirstomi į noraginius, strėlinius, diskinius (1.4 pav.).



1.4 pav. Diskinis kultivatorius (skutikas) [8]

Strėliniai kultivatoriai (1.5 pav.) skirti giliam (iki 30cm) žemės įdirbimui. Darbinis gylis panašus, kaip plūgo, tačiau strėliniai kultivatoriai neapverčia žemės, kaip tai atlieka plūgas.



1.5 pav. Strėlinis kultivatirius su spyruoline apsauga [iš asmeninio archyvo, AgroBalt 2017]

1.2 Kultivatorių rėmų tipų apžvalga

Paprastai kultivatoriai gaminami viengubo arba dvigubo rėmo. Viengubo rėmo kultivatoriai turi vieną rėmą prie kurio tiesiogiai montuojamos darbinės dalys – noragai, volai, diskai ir pan. Tuo tarpu dvigubo rėmo kultivatoriai turi du rėmus. Prie pagrindinio rėmo jungiasi prikabinimo mechanizmas, važiuoklė ir antras rėmas (kitai sekcija) su darbinėmis dalimis – volais, noragais, lyginimo lenta, akėčiomis ir pan. Tokie agregatai dažnai būna daugiau nei 4m pločio, hidrauliškai sulankstomi. Agregatų gamybai naudojamas konstrukcinis plienas: S235, S275, S355.

Kultivatoriaus rėmo konstrukcija priklauso nuo:

- Darbinio pločio – kuo agregatas platesnis, tuo rėmo konstrukcija masyvesnė (naudojami didesnio skersmens ir sienelės storio profiliai).
- Darbinių dalių tipo. Strėlinių kultivatorių rėmas masyvesnis, nei noraginių tokio paties darbinio pločio agregatų.
- Įdirbimo gylio - kuo giliau dirbama žemė, tuo apkrovos rėmui yra didesnės.

1.3 Kultivatoriaus junginių, dalių ir mechanizmų apžvalga

Kultivatoriai paprastai sudaryti iš tokių junginių: prikabinimo mechanizmo, lyginimo lentos, volų, važiuoklės ir kt.

1.3.1 Prikabinimas prie traktoriaus

Prie traktoriaus agregatai kabinami trimis būdais: vienu, dviem ir trimis taškais. Vienu ir dviem taškais kabinami agregatai vadinami prikabinamais dalį agregato svorio perduodant agregato važiuoklei. Tuo tarpu trimis taškais kabinami agregatai vadinami pakabinamais ir jie paprastai važiuoklės neturi, visas agregato svoris tenka traktoriaus galinei pakabai.

1.3.2 Lyginimo lentos

Žemės lyginimui naudojamos dviejų tipų lyginimo lentos – ištisinės ir segmentinės (kitai vadinamos vibrolentomis, 1.6 pav.). Ištisinės lyginimo lentos gaminamos iš plieno kampuočio arba lankstomos iš plieno lakštų. Pastaruoju metu vis plačiau naudojamos vibrolentos. Jos sudarytos iš atskirų spyruoklinių stovų, bei keičiamų lopetėlių, kurios gali būti lygios arba dantytos.



1.6 pav. Segmentinė dantytą lyginimo lenta [iš asmeninio archyvo, AgroBalt 2017] ir nedantytos lentos Solidworks modelis

1.3.3 Darbinės dalys

Pagrindinės darbinės dalys kultivatoriuose yra spyruokliniai noragai, strėliniai noragai, skutimo lėkštės, volai, akėčios, lyginimo lentos.

1.3.4 Darbinių dalių gylio reguliavimo mechanizmai

Agronominiu požiūriu darbinių dalių gylio reguliavimas yra vienas svarbiausių kultivatoriaus mechanizmų, nes priklausomai nuo sėjamos kultūros dirvą reikia įdirbti atitinkamu gyliu, nes siekiama, kad sėkla būtų įterpta į jai optimalų, vienodai įdirbtą gylį taip siekiant geriausio daigumo. Paprastai šis gylis svyruoja nuo 2 iki 12cm priklausomai nuo auginamos kultūros. Yra keletas

reguliavimo mechanizmų tipų: kaištinis, hidraulinis, srieginiu įtempėju (kontraveržlės pagalba), atraminiu ratuku.

a) Kaištinis gylio reguliavimas

Tai primityviausias gylio reguliavimo būdas, kai agregato operatorius reguliuoja dirbimo gylį perkisdamas kaiščius. Tai imliausias darbo laikui reguliavimo būdas, bet iš kitos pusės tai vienas pigiausių sprendimų.

b) Hidraulinis gylio reguliavimas

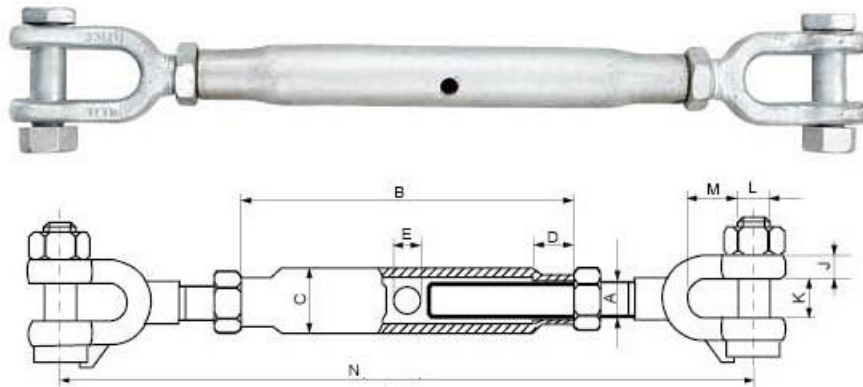
Hidraulinės sistemos (1.7 pav.) kelia ir nuleidžia važiuoklę, volus, darbinės dalis – noragus, lyginimo lentą. Hidraulinių cilindrų darbo parametrus keisti naudojamos metalinės plokštelės, kurios riboja cilindro darbo eigą.



1.7 pav. Hidraulinis darbinio gylio reguliavimas [iš asmeninio archyvo]

c) Srieginiai įtempėjai

Įtempėjai (1.8 pav.) sudaryti iš dviejų varžtų, kurių vienas yra su dešiniu, o kitas su kairiniu sriegiu. Sukant veržlę atstumas N didėja arba mažėja. Varžtų galai būna šakutės, kablo ar kilpos formos.



1.8 pav. Srieginis įtempėjas [9]

d) Atraminis ratukas

Hidrauliškai ar kaiščiais reguliuojamas atraminis ratukas (1.9 pav.) neleidžia padargui per giliai įlysti į žemę. Esama konstrukcijų, kurių atraminis ratukas atlieka ir važiuoklės funkciją.



1.9 pav. Atraminis ratukas [iš asmeninio archyvo]

1.3.5 Volų tipai

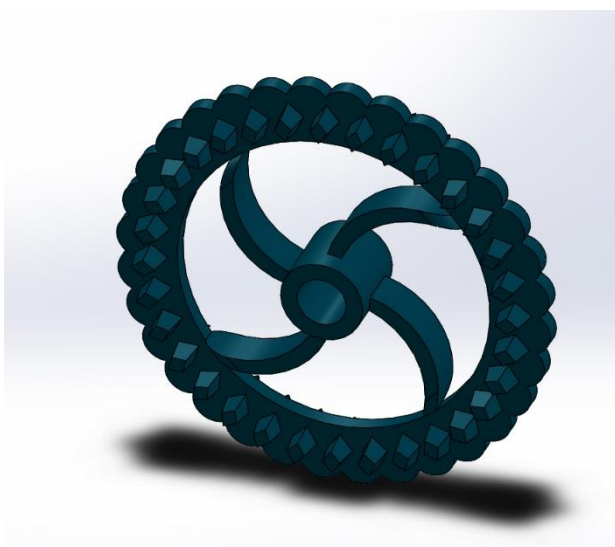
Dirvos dirbimui prieš sėją, dar vadinamam sėklos guolio ruošimui, ūkiuose taikomi specialūs tikslieji kultivatoriai (germinatoriai) ir sukieji stačiašiai kultivatoriai. Šios mašinos komplektuojamos su įvairių konstrukcijų volais: dantytisiais, ažūriniais, pentininiais, žiediniais, spiraliniais ir kt. tipų. Jie išmeta didesnius grumstelius į dirvos paviršių, kas neleidžia susidaryti dirvos plutai [10].

Priklausomai nuo volų darbinių dalių konstrukcijos jie atlieka keletą žemės įdirbimo funkcijų – tankina dirvą, smulkina grumstus, lygina žemę, naikina piktžoles. Sunkiose dirvose paprastai

naudojami mažesnio skersmens (300-400mm), bet agresyvesnio tipo volai (pvz. su dantukais ar pentiniais), o lengvose – didesnio skersmens (iki 650mm), lengvesni volai, pvz. U profilio žiediniai volai.

1.3.5.1 Pentiniai volai (angl. Crosskill)

Pentiniai volai skirti sunkioms žemėms po arimo susidariusiems grumstams smulkinti. Volai sudaryti iš atskirų pentinių diskų (1.10 pav.) montuojamų nejudamai arba laisvai ant veleno. Diskų išorinis paviršius gali būti dantytas arba banguotas, šonuose išsikišę pirštukai (pentinai). Prie jų nekimba drėgna žemė, nes jie yra savaiame nusivalantys. [11]



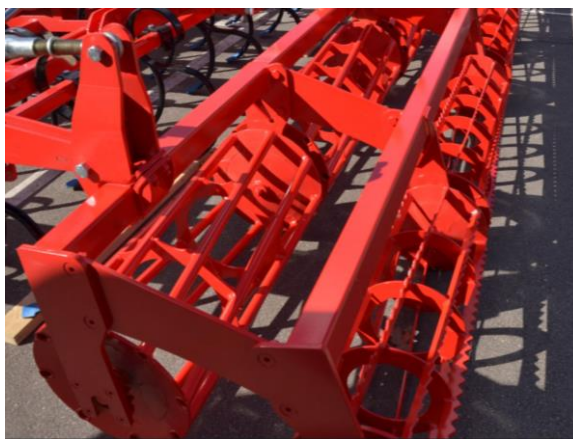
1.10 pav. Pentinis volavimo diskas

1.3.5.2 Kembridžo (angl. Cembrige roller)

Kaip ir pentiniai volai Kembridžo tipo volai sudaryti iš atskirų dviejų tipų diskinių segmentų, kurie eina paeiliui. Šie volai ne tik trupina grumstelius, bet ir įspaudžia giliau akmenis.

1.3.5.3 Ardeliniai volai

Ardelinių volų (1.11 pav.) darbinė dalis būna iš plieninės juostos, apvalaus profilio, kampuočio. Darbinių dalių profiliai ir jų skersmenys bei kiekis priklauso nuo dirbamos žemės tipo bei norimo pasiekti rezultato. Lengvoms žemėms labiau tinka apvalaus profilio ir didesnio skersmens volai, kad būtų kuo didesnis sąlytis ir agregatas nesmigtų gilyn į dirvą. Sunkesnėms žemėms tinka agresyvesnio atakos kampo dantyti volai.



1.11 pav. Ardelinis volas iš vamzdinio ir juostinio dantyto profilio [nuotr. Iš asmeninio archyvo]

1.3.6 Velenai ir ašys

Velenų ir ašių parinkimas daromas žinant apkrovas. Skaičiuojami veleno lenkimo momentai [12]. Velenai paprastai gaminami iš E295, E360, C45, 37Cr4 ir kt. markių plieno [13].

1.3.7 Hidraulinė sistema

Šiuolaikiniuose žemės įdirbimo agregatuose plačiai naudojamos hidraulinės sistemos. Jos skirtos darbinio gylio reguliavimui, važiuoklės bei darbinių sekcijų pakėlimui bei nuleidimui, darbinių dalių apsauginėse sistemose ir pan.

Pagrindinės dalys sudarančios hidraulinę sistemą:

- Cilindrai
- Vožtuvai
- Sklendės
- Pompos
- Vamzdžiai ir žarnos

1.3.8 Akėčios

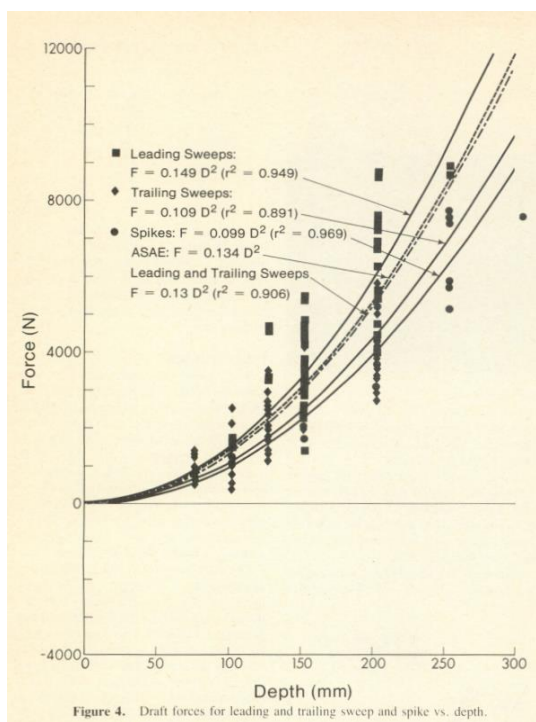
Kultivatoriaus gale montuojamos virbalinės aketėlės (1.12 pav.), kurios dirvą susmulkina ir sulygina [14]. Dirbant per daug sausą dirvą šios aketėlės grumstelius gali susmulkinti iki dulkių, kas nėra pageidautina, nes po lietaus gali susidaryti kieta paviršiaus pluta, todėl reikalingas šių aketėlių pakėlimo mechanizmas arba nesudėtingas užmontavimas ir numontavimas.



1.12 pav. UAB "Laumetris" kultivatoriaus galinės akėčios [15]

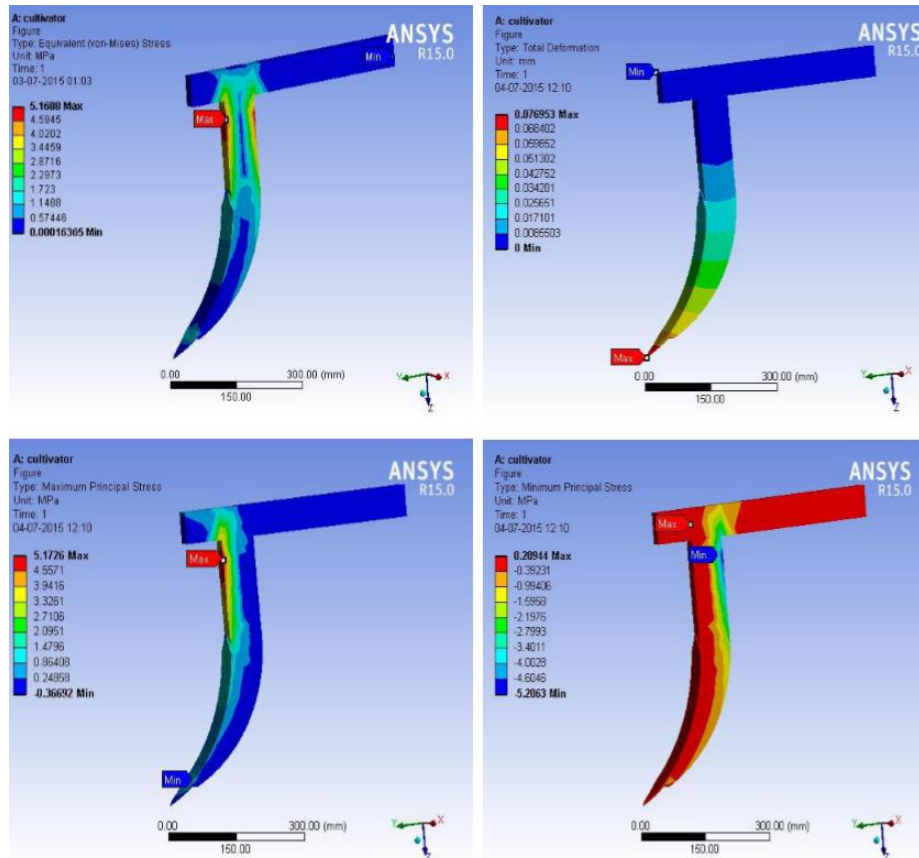
1.4 Kultivatoriaus darbinių dalių analizė

G.C. Kiss ir D. G. Bellow [16] atliko tyrimą, kurio metu nustatė kultivatorių veikiančių darbinių dalių jėgų dydžius (1.13 pav.). Buvo tiriami dviejų tipų kultivatorių noragai. Anot tyrimo duomenų apkrova darbinėms dalims labiausiai didėja didinant darbinį gylį. Taip pat apkrovos priklauso nuo dirvos sudėties. Molingose žemėse apkrova agregatui yra didesnė nei smėlingoje kultivuojant tokiam pačiame gylyje. Šio tyrimo duomenys padės įvertinti projektuojamo gaminio galimas maksimalias apkrovas, taip pat parinkti tinkamo profilio ir markės plieną.



1.13 pav. Apkrovos jėgų ir darbinio gylio santykio grafikas [16]

N. Makange, R. Parmar, V.K. Tiwari [17] atliko giluminio kultivatoriaus noragų analizę panaudodami 3D CAD technologijas (ANSYS), bei baigtinių elementų metodą siekdami išsiaiškinti įtempius ir deformacijas (pav. 14). Autoriai nustatė, kad vienam noragui reikalinga 390N traukos jėga. Šio tyrimo duomenys padės preliminariai įvertinti reikalingą traktoriaus galią projektuojamam agregatui traukti vidutinio tankumo juodžemyje. Atliekant eksperimentus nevertintas darbinis gylis, bei greitis.



1.14 pav. Įtempių ir deformacijų analizė [17]

Reikalavimai projektuojamam agregatui:

- Hidrauliškai reguliuojama spyruoklinė lyginimo lenta.
- Priekiniai ir galiniai volai, kurių konstrukciją ūkininkas galėtų pasirinkti iš 5 variantų: ardeliniai-juostiniai (dantyti arba nedantyti), ardeliniai-vamzdiniai, pentininiai, ar kembridžo tipo volų.
- Virbalinės akėtėlės, kurios būtų kaip pasirenkamas, nesudėtingai užmontuojamas ir numontuojamas priedas siūlomas prie bazinio agregato varianto.
- Tiksliniai naudotojai – maži ir viduriniai (iki 500 ha) ūkiai naudojantys 80 – 150 AG traktorius.

1.5 Literatūros apžvalgos išvados

Tiriamajame darbe apžvelgti žemės įdirbimo agregatai, jų pagrindinės funkcijos ir darbinės dalys. Kultivatorių sudaro keletas pagrindinių junginių: rėmas, volai, lyginimo lenta, noragai, akėčios, hidraulinė sistema. Gaminio projektavimo požiūriu svarbiausi žemės įdirbimo agregato kintamieji yra darbinis gylis, darbinis plotis ir atliekamos funkcijos, nes nuo to priklauso apkrovos tenkančios agregato darbinėms dalims ir jo rėmui.

Projektuojamam kultivatoriui nuspręsta panaudoti hidrauliškai reguliuojamą spyruoklinę lyginimo lentą, nes taip suteikiama galimybė iš traktoriaus kabinos reguliuoti lyginimo lentos atakos kampą. Taip pat bus projektuojami 5 tipų volai, kad ūkininkai turėtų galimybę pasirinkti jiems tinkamiausią pagal dirbamos žemės tipą. Bus panaudoti spyruokliniai noragėliai, kurių darbinis gylis iki 12cm. Kaip bazinį projektuojamą kultivatorių nuspręsta daryti 4m pločio, nes Lietuvoje šiuo metu daugiausiai naudojamos 3-4m darbinio pločio sėjamosios.

Šiame darbe apžvelgti tyrimai, kurių duomenys padės įvertinti projektuojamo agregato konstrukcijai tenkančias apkrovas.

2. Tiriamoji dalis

Šiuo metu sunkiai įsivaizduojamas gaminių projektavimas be kompiuterio pagalbos. Šiuolaikinis kompiuterinis projektavimas ne tik padeda įvertinti gaminį 3D erdvėje, sugeneruoti brėžinius, bet taip pat padeda įvertinti gaminių veikiančių jėgų poveikį, optimizuoti detalių geometriją ir pan. Žemės įdirbimo agregatas bus projektuojamas ir tiriamas pasitelkiant 3D CAD sistemą „Solidworks 2016“.

Kompiuterinis detalės ar konstrukcijos tyrimas Solidworks aplinkoje yra paremtas baigtinių elementų metodu. Pagrindinis metodo principas yra sudėtingos, geometrinės formos, detalės suskaidymas į daug smulkesnių elementų: linijų, trikampių, tetraedrų, kurių kraštinėmis perduodami ir skaičiuojami įtempiai, greičiai, poslinkiai, deformacijos ir kt.

Kompiuterinio tyrimo etapai Solidworks aplinkoje:

1. 3D modelio kūrimas
2. Medžiagų parinkimas
3. Jėgų, jungčių ir įtvirtinimų apibrėžimas
4. Modelio skaidymas į baigtinius elementus
5. Kompiuterinis skaičiavimas
6. Rezultatų analizė

Solidworks aplinkoje yra skaičiuojami von Mises įtempiai. Von Mises įtempių palyginimas su medžiagos takumo riba:

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \geq \sigma_v \quad (2.1)$$

čia $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - x, y, z ašių įtempiai, σ_v – von Mises įtempiai.

von Mises įtempių vertė:

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} = \sigma_v \quad (2.2)$$

Jei von Mises įtempiai viršija medžiagos takumo ribą σ_y , tuomet prasideda plastinės deformacijos ir medžiaga nebegrįžta į savo pradinę būseną, kas ir pasakoma šia supaprastinta sąlyga:

$$\sigma_v \geq \sigma_y \quad (2.3)$$

2.1 Kompiuteriniai integravimo metodai

Solidworks aplinkoje netiesiniuose tyrimuose yra galimybė pasirinkti vieną iš trijų integravimo metodų: Newmark, Wilson-Theta, centrinio skirtumo (angl. Central Difference). Taikant integravimo metodus reikia įvertinti integravimo žingsnį. Jei žingsnis per didelis, gali gautis netikslus sprendinys. Jei žingsnis per mažas, naudojant nestabilius metodus, gali gautis per didelė aritmetinių paklaidų suma.

2.1.1 Centrinio skirtumo metodas

Klampiai slopinamos daugelio laisvės laipsnių sistema gali būti aprašoma formule:

$$[m]\ddot{\vec{x}} + [c]\dot{\vec{x}} + [k]\vec{x} = \vec{F} \quad (2.4)$$

Kur $[m]$ – masių vektorius, $[c]$ – slopinimo vektorius, $[k]$ – standumo vektorius, $\ddot{\vec{x}}$ – pagreičio išvestinė, $\dot{\vec{x}}$ – greičio išvestinė, \vec{x} – poslinkis.

S.Rao [19] greičio ir pagreičio įvertinimui laiko momentu $t_i = i\Delta t$ siūlo naudoti centrinio skirtumo formules:

$$\dot{\vec{x}}_i = \frac{1}{2\Delta t} (\vec{x}_{i+1} - \vec{x}_{i-1}) \quad (2.5)$$

$$\ddot{\vec{x}}_i = \frac{1}{(\Delta t)^2} (\vec{x}_{i+1} - 2\vec{x}_i + \vec{x}_{i-1}) \quad (2.6)$$

Poslinkiai apibrėžiami formulėmis:

$$\vec{x}_1 = \vec{x}_{-1} - 2\Delta t \dot{\vec{x}}_0 \quad (2.7)$$

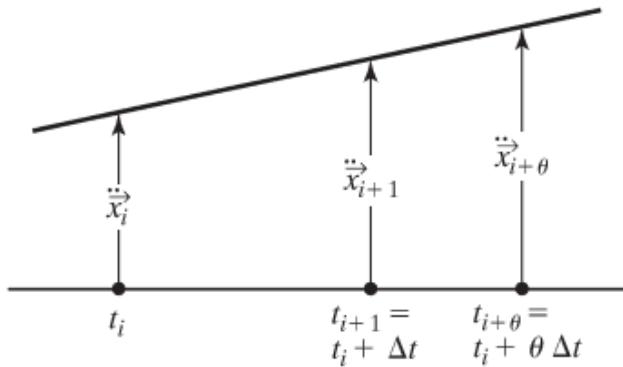
$$\vec{x}_{-1} = \vec{x}_0 - \Delta t \dot{\vec{x}}_0 + \frac{(\Delta t)^2}{2} \ddot{\vec{x}}_0 \quad (2.8) [19]$$

Pradinio pagreičio vektorius:

$$\ddot{\vec{x}}_0 = [m]^{-1}(\vec{F}_0 - [c]\dot{\vec{x}}_0 - [k]\vec{x}_0) \quad (2.9) [19]$$

2.1.2 Wilson-Theta metodas

Pagrindinė šio metodo prielaida yra ta, kad pagreitis kinta tiesiškai laiko momentu nuo $t_i = i\Delta t$ iki $t_{i+\Theta} = i\Delta t + \Theta\Delta t$.



2.1 pav. Pagreičio įvertinimas Wilson-Theta metodu [18]

2.1.3 Newmark metodas

Šis metodas taip pat skirtas dinamikos lygčiai (2.4) spręsti. Metodas paremtas Teiloro eilučių skleidiniais. Svarbų vaidmenį atlieka svoriniai parametrai β ir α , kuriuos keičiant gali būti pasiektas metodo tikslumas ir stabilumas.

Newmark metodo sąlyginė stabilumo sąlyga:

$$\beta \geq \frac{1}{2}, \quad \alpha \leq \frac{1}{2} \quad \text{ir} \quad \Delta t \leq \frac{1}{\omega_{max} \sqrt{\frac{\beta}{2} - \alpha}} \quad (2.10)$$

Čia ω_{max} – maksimalūs savieji dažniai

Besąlyginė metodo stabilumo sąlyga:

$$2\alpha \geq \beta \geq \frac{1}{2} \quad (2.11)$$

Šio darbo tyrimuose naudotas šis metodas su reikšmėmis: $\alpha = 0.5$ ir $\beta = 0.25$.

2.2 Projektuojamo agregato tyrimas

Agregato dalys, bei junginiai tiriami statinėmis bei dinaminėmis apkrovomis. Tyrimų tikslas yra nustatyti ir įvertinti detalių bei junginių stiprumą, kuris apibrėžiamas įtempiais, atsargos koeficientu, deformacijomis.

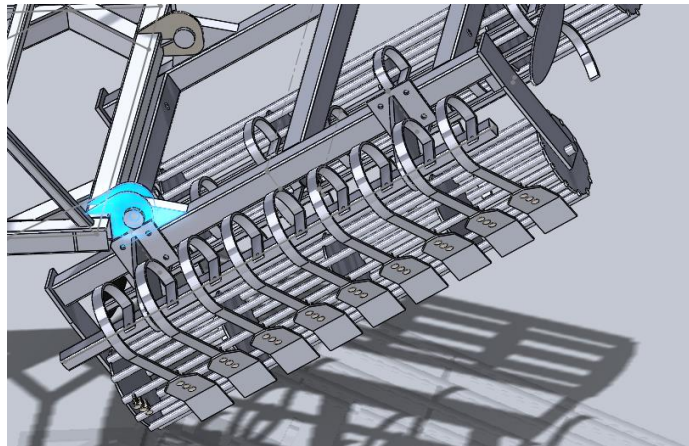
Kompiuterinės analizės rezultatų patikimumo patikrinimo būdai:

- Palyginti rezultatus su anksčiau atliktais tyrimais
- Palyginti su egzistuojančiais gaminiais

- Atlikti realų tyrimą
- Dinaminiai modeliai
- Matematiniai modeliai

2.2.1 Jungties tyrimas statinėmis apkrovomis

Šioje darbo dalyje tiriama rėmo ir sekcijos jungtis (2.2 pav.), kurią sudaro rėmo ir sekcijos gembės, bei kaištis.



2.2 pav. Tiriama dalis išskirta konstrukcijoje.

Tyrimo duomenys:

Plienas: S355JR

BEM tinklelis sudarytas iš tetraedrų

Elementų skaičius: 8640

Mazgų skaičius: 14676

Tinklelis: kieto kūno (angl. solid mesh)

Fiksacija: rėmo gembių plokštumos, kurios virinamos prie rėmo.

Apkrovos ant sekcijos apatinės gembės plokštumos:

1. Suprojektavus darbinę sekciją ir priskyrus atitinkamas medžiagas paaiškėjo, kad sekcijos masė su didžiausio skersmens volais, bei visais priedais yra 1480kg.
2. Apkrova nuo darbinių dalių (priešinga judėjimo kryptiai) – 20kN (skaičiavimai žemiau)

Sąlyginiai darbinių dalių apkrovų skaičiavimai:

Noragų apkrovos – $F_1 = 390\text{N} \times 10\text{vnt} = 3900\text{N}$ (informacija iš literatūros apžvalgos)

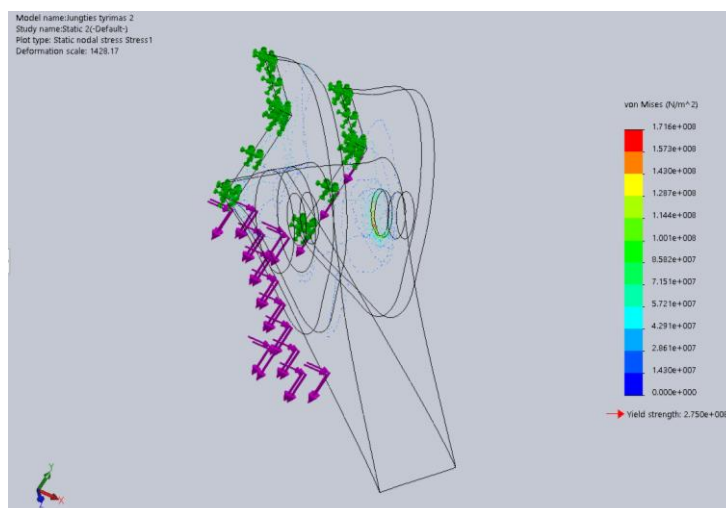
Lyginimo lentos apkrovos. Priimu, kad lyginimo lentos norago plotas, kuris smenga į žemę tris kartus didesnis nei norago, tai $F_2 = 390\text{N} \times 3 \times 10\text{vnt} = 11700\text{N}$

Aketėlių apkrovos. Priimu, kad aketėlių plotas keturis kartus mažesnis nei norago, tai $F_3 = 390\text{N} / 4 \times 18\text{vnt} = 1755\text{N}$

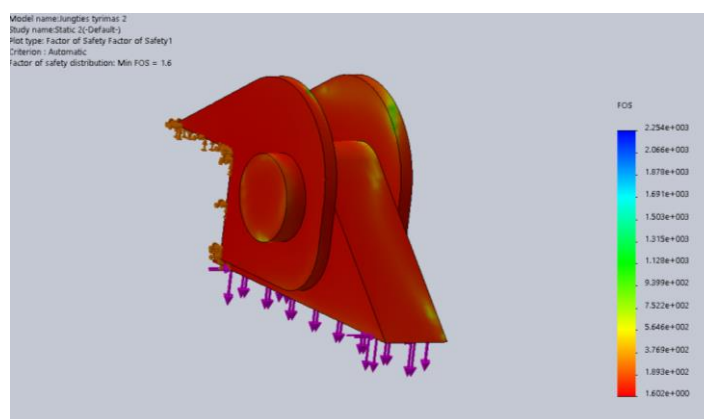
Volai. Riedėjimo trinties jėgą sudėtinga įvertinti. Priimu 200N.

$$F_s = F_1 + F_2 + F_3 = 3900 + 11700 + 1755 + 200 = 17\,555\text{N}$$

Paprastumo dėlei tyrime panaudota 20kN apkrova.



2.3 pav. Didžiausi įtempiai pasireiškė nedideliame sekcijos gembės skylės ruože.



2.4 pav. Atsargos koeficientas 1,6

Siekama, kad projektuojamo agregato dalių atsargos koeficientas būtų mažiausiai 2, todėl tiriamas junginys turi būti tobulinamas.

2.2.2 Jungties tyrimas po pakeitimų

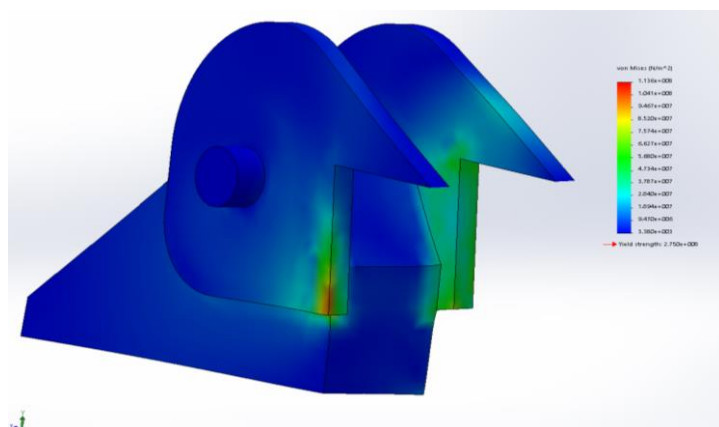
Atlikti detalės pakeitimai:

1. Sekcijos gembės skylės centras atitrauktas nuo viršutinių kraštinių. Skylė centruota šoninių paviršių atžvilgiu.
2. Nusklembtos sekcijos gembės smailaus kampo briaunos.

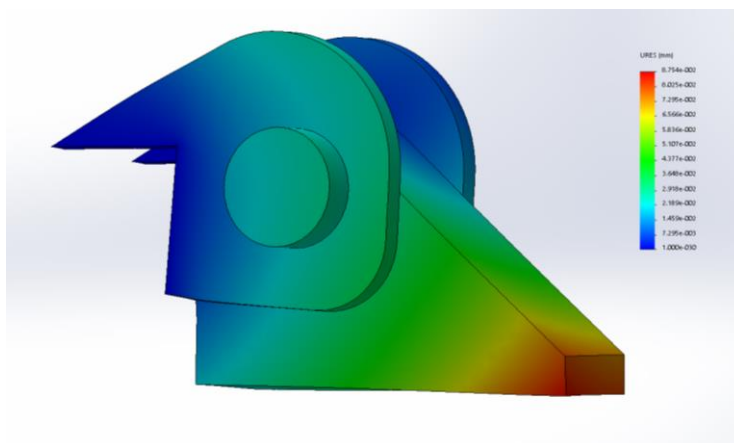
Tyrimo duomenys:

- Elementų fiksacija, medžiagos, apkrovų vertės kaip statinėje elementų analizėje.
- Elementų skaičius: 7602
- Mazgų skaičius: 13314
- Sprendimo metodas (angl. Solver): FFEPlus

Maksimalūs įtempiai (2.5 pav.) neviršija plieno S355JR takumo ribos (355 N/mm^2), deformacijos priimtinos (2.6 pav.), atsargos koeficientas 2.4.



2.5 pav. von Mises įtempiai

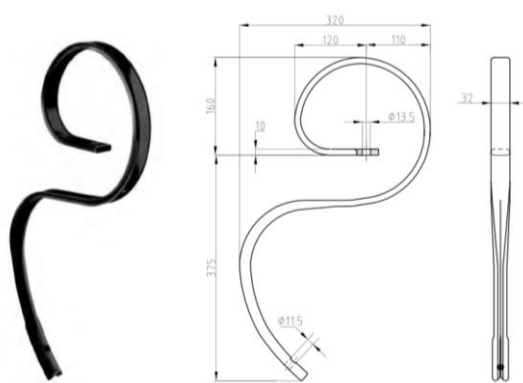


2.6 pav. Deformacijos

2.2.3 Kultivatoriaus spyruoklinio norago tyrimas

Šio tyrimo tikslas ištirti konstrukciją veikiančius įtempius, kuriuos sukelia darbinės dalys – noragai. Parinktas italijos įmonės Eurozappa S formos spyruoklinis noragas F10SVV (2.7 pav.), kuris gaminamas iš 32 x 10mm spyruoklinės juostos. Rekomenduojamas darbinis noragų greitis 7-8km/h (2-2,2m/s).

Atsižvelgus į [16] ir [23] tyrimų duomenis šio darbo tyrimuose priimama, kad noragus horizontalia kryptimi veikia minimali 390N, vidutinė 600-700N ir ekstremali 1000N jėga, kuri pasitaiko palyginti retai, kaip pvz. noragai užkliuvus už didelio akmens.

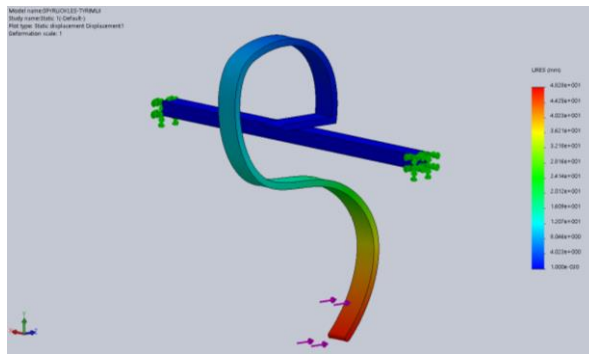


2.7 pav. spyruoklinis noragas

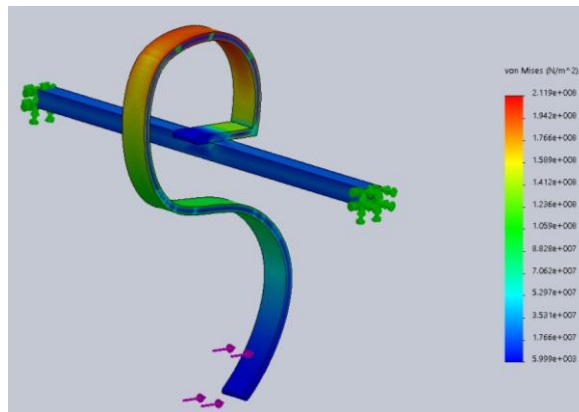
Tyrimo duomenys:

- Rėmo plienas: S355JR
- Norago plienas: 51CrV4 (spyruoklinis)
- BEM tinkelis sudarytas iš tetraedrų
- Elementų skaičius: 8697
- Mazgų skaičius: 17254
- Elementų jungtis: suklijuotas (angl. bonded)
- Apkrova ant norago apačios 10cm ruože: 390N

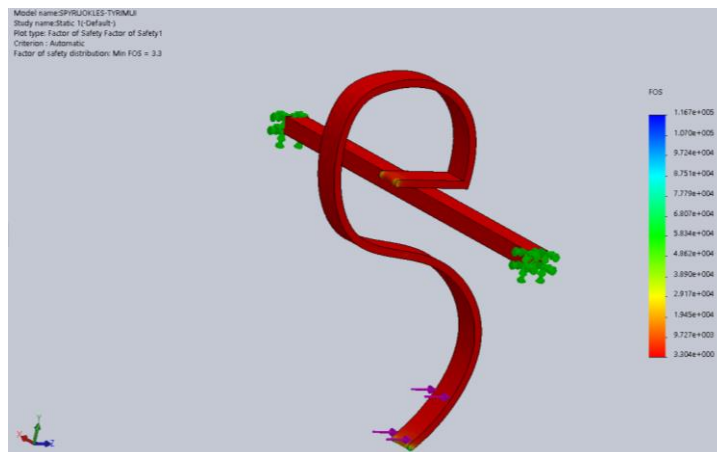
Tyrimo metu nustatytos priimtinos spyruoklės deformacijos (48mm, pav. 2.8), maksimalūs įtempiai neviršija takumo ribos (pav. 2.9), atsargos koeficientas 3,3 (pav. 2.10).



2.8 pav. Spyruoklės maksimalūs poslinkiai 48mm



2.9 pav. Von Mises maksimalūs įtempiai 212MPa. Didžiausia koncentracija spyruoklės viršutiniame lanke, o rėmo ir spyruoklės lietimosi taške įtempiai reikšmingai sumažėja.



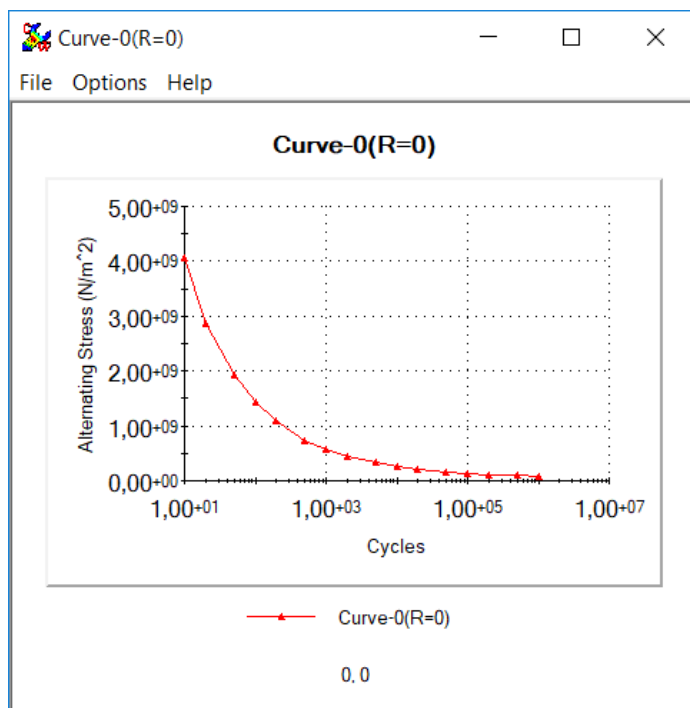
2.10 pav. Atsargos koeficientas 3,3

Padidinus apkrovą iki 700N atsargos koeficientas nukrinta iki 1,8 ir padidinus iki 1000N – 1,3.

2.2.4 Nuovargio tyrimas

Atlikti du nuovargio tyrimai su 390N ir 1000N horizontalia norago apkrova. Tyrime naudota nuovargio kreivė sudaryta ASME (angl. The American Society of Mechanical Engineers) austeninių

ir anglinių plienų etaloninės nuovargio kreivės įtempių vertes dalinant iš etaloninio tamprumo modulio ir dauginant iš tiriamos medžiagos tamprumo modulio (2.11 pav.).



2.11 pav. Anglinio plieno etaloninė nuovargio kreivė

Atlikus tyrimą nustatyta, kad kai apkrova 390N , mažiausią ciklų skaičių (620125) atlaikytų mazgas 10830 (2.12 pav.), o kai apkrova 1000N noragas atlaikytų 5927 ciklines apkrovas (2.14 pav.). Minimalus norago apkrovos atsargos koeficientas 3,949 (2.13 pav.), kai apkrova 390N. Galima konstatuoti, kad noragas suprojektuotas tinkamai.

List Results

Study name: Fatigue 2

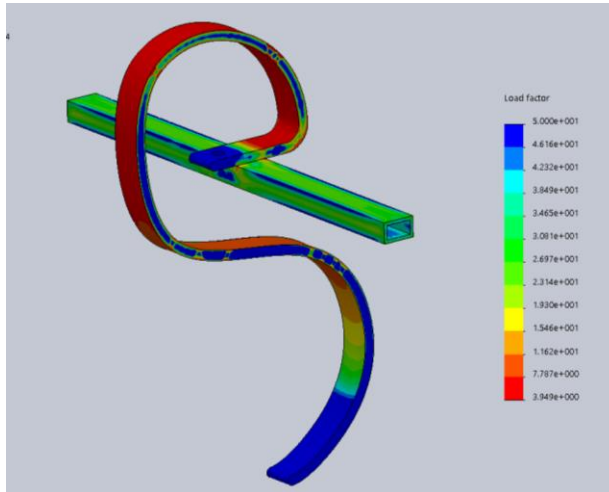
Units: Step Number: 1

Selected reference : N/A

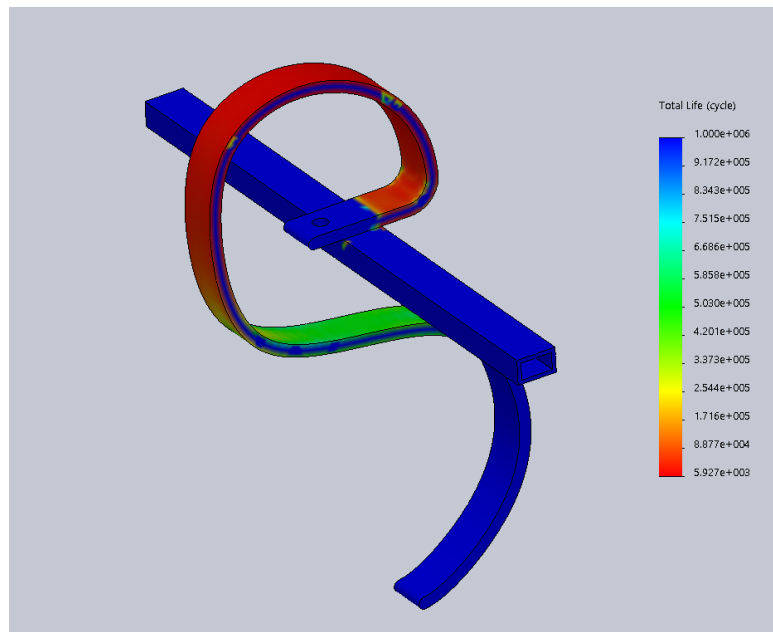
Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Total Life (cycle)
10830	212.629	465.186	431.207	6.20125e+005
10810	212.629	466.053	421.465	6.23009e+005
10805	207.629	466.053	421.465	6.30897e+005
10811	217.629	466.053	421.465	6.31011e+005
10793	212.629	466.078	412.059	6.36050e+005
10829	212.629	463.439	441.227	6.37399e+005
10823	207.629	465.186	431.207	6.37807e+005
10831	217.629	465.186	431.207	6.39666e+005
10836	217.629	463.439	441.227	6.40842e+005
10794	217.629	466.078	412.059	6.47482e+005
10788	207.629	466.078	412.059	6.50950e+005
10828	207.629	463.439	441.227	6.53235e+005

Close Save Help

2.12 pav. Mažiausiai ciklų atlaikantys mazgai



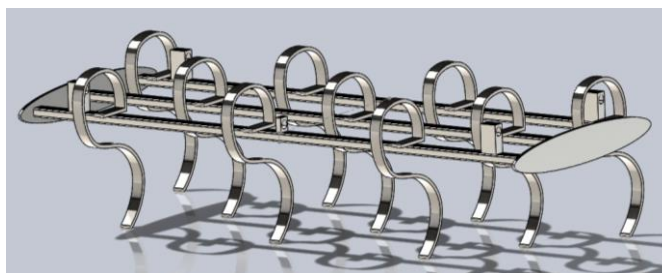
2.13 pav. Minimalus aprkovo atsargos koeficientas 3,949.



2.14 pav. Noragas atlaiko 5927 ciklines 1000N apkrovas

2.2.5 Noragų sekcijos statinis tyrimas

Atliktas statinis tyrimas, kuriuo siekiama įvertinti noragų perduodamų reakcijos jėgų vertes.

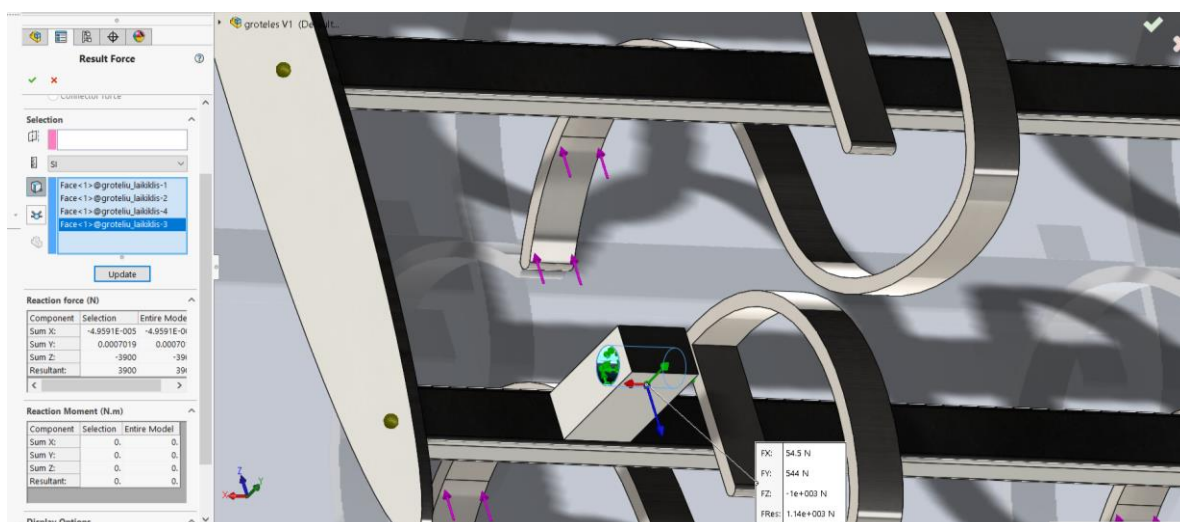


2.15 pav. Noragų sekcija

Tyrimo duomenys:

- Rėmo plienas: S355JR
- Norago plienas: 51CrV4 (spyruoklinis)
- BEM tinklelis sudarytas iš tetraedrų
- Elementų skaičius: 9786
- Mazgų skaičius: 23328
- Elementų jungtis: suklijuotas (angl. bonded)
- Įtvirtinimai: cilindrinėse laikiklių plokštumose (2.16 pav.)
- Apkrova į noragų darbinės dalis: $390\text{N} \times 10\text{vnt} = 3900\text{N}$

Buvo atliktas konstrukcijos tyrimas statine apkrova. Maksimalūs įtempiai neviršijo takumo ribos, deformacijos priimtinos.



2.16 pav. Reakcijos jėgų suma įtvirtinimuose lygi 3900N

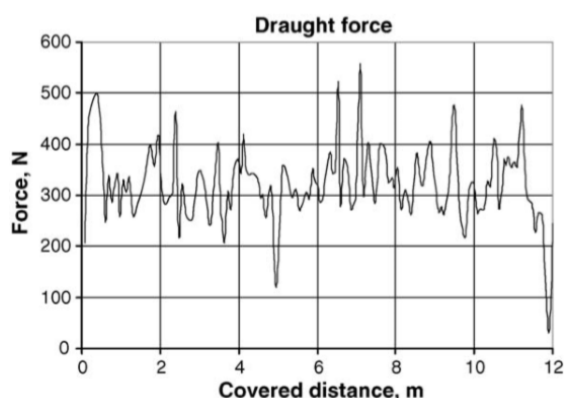
Gauta reakcijos jėgų suma įtvirtinimuose lygi 3900N, kas yra lygu noragų skaičiui padaugintam iš apkrovos vienam noragai – jėgos perduodamos tiesiškai, nevertinamas slopinimas.

2.2.6 Noragų sekcijos dinaminis tyrimas

Šiuo bandymu bandyta imituoti kultivatoriaus noraginių spyruoklių darbą ir apžvelgti kaip kinta įtempiai, deformacijos, dažninės charakteristikos ir kiti parametrai, kai apkrova darbinėms dalims kinta pagal periodines funkcijas. Sudėtingiausia šio tyrimo dalis yra apkrovos jėgų tenkančių darbinėms dalims nustatymas, nes jos priklauso nuo tokių parametru kaip:

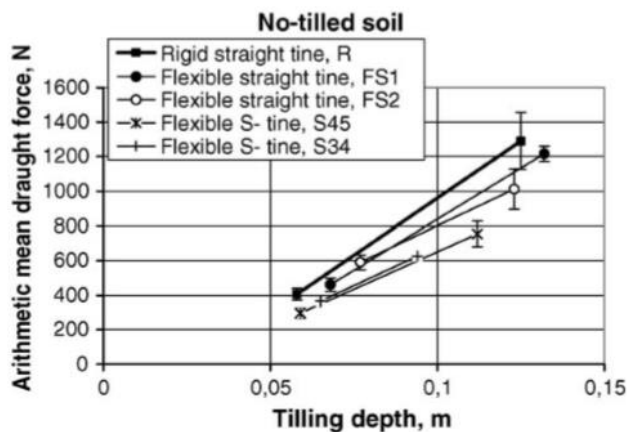
- Dirvožemio sudėties - vandens, oro, humuso, smėlio kiekis.
- Dirvožemio mechaninių savybių – trinties, šlyties (kirpimo jėgų).
- Darbinio gylio.
- Darbinės detalės parametrų – tvirtinimo prie rėmo tipo, plieno markės, apdirbimo būdo, formos, masės ir pan.

Iš [23] tyrimų traukos jėgos ir įdirbimo grafiko (pav. 2.17) matyti, kad jėga per sekundę svyruoja 6-9 kartus, todėl šiame tyrime panaudota 6-9Hz kintanti jėgos dedamoji F_1 , kurios amplitudė $\mp 300N$ ir pastovioji jėgos dedamoji $F_2=300N$.



2.17 pav. 32Hz dažniu tiriama reikalinga traukos jėga, kai S tipo spyruoklė juda 2m/s greičiu.

Bendra veikiančių jėgų suma $F_s = F_1 + F_2$. Iš [23] tyrimų pateikto grafiko (2.18 pav.) matyti, kad S tipo spyruoklės apkrova 9-12cm gylyje yra 600-700N.



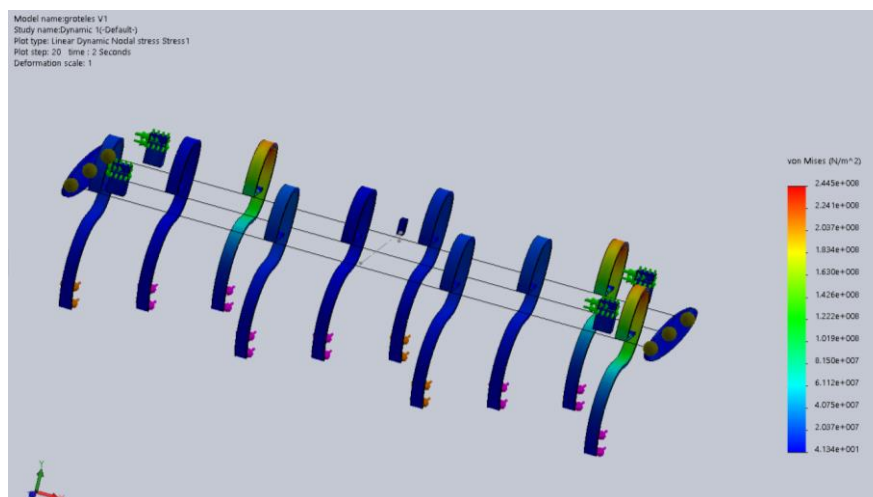
2.18 Pav. Skirtingų noragų vidutinės traukos jėgos priklausomybė nuo įdirbimo gylio nekultivuotoje žemėje.

Tyrimo duomenys:

- Konstrukcijos medžiagos bei įtvirtinimai tokie pat kaip statinėje noragų sekcijos analizėje.
- Slopinimo koeficientas (angl. damping) - 0,02 (Solidworks sistemoje siūloma naudoti 0.01 reikšmę silpnai slopinamoms sistemoms ir 0.15 reikšmę stipriai slopinamoms sistemoms)

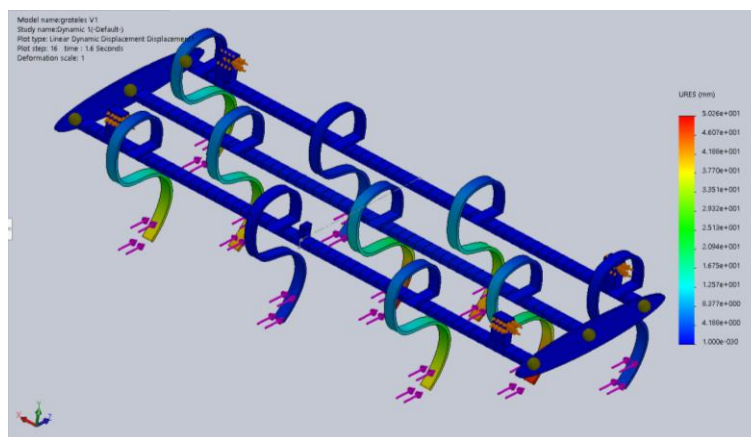
- Iteracijų skaičius: 20
- Intervalas: 2 sekundės
- Apkrovos jėga noragams kinta pagal periodines funkcijas 6-9Hz dažnių diapazone. 1 priede pateikta tyrime panaudota viena iš keturių apkrovų funkcijų.

Tyrime nustatyti įtempiai (2.19 pav.) neviršija panaudotų medžiagų takumo ribos.



2.19 pav. von Mises įtempiai

Nustatytos priimtinos spyruoklių deformacijos, noragų rėmo konstrukcijos deformacijos nežymios (2.20 pav.).



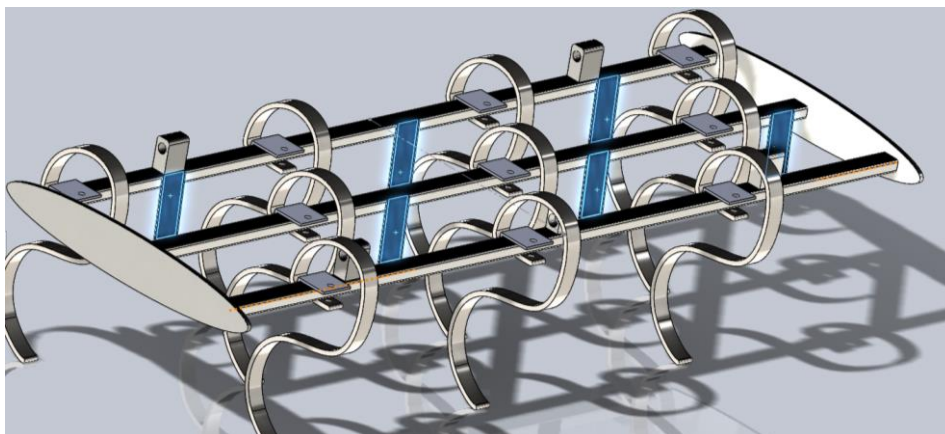
2.20 pav. Dinaminių apkrovų sukeltos deformacijos

Iš gautos savųjų dažnių lentelės (2.21 pav.) matyti, kad nustatyta palyginti žema pirmojo rezonansinio dažnio vertė - 12,938 Hz.

Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	81.292	12.938	0.077291
2	83.136	13.232	0.075577
3	83.738	13.327	0.075034
4	85.624	13.628	0.073381
5	85.779	13.652	0.073248
6	85.931	13.676	0.073119
7	86.174	13.715	0.072912
8	86.226	13.723	0.072869
9	86.649	13.791	0.072513
10	86.691	13.797	0.072478
11	108.29	17.234	0.058023
12	128.31	20.421	0.048969
13	128.43	20.44	0.048923
14	128.86	20.509	0.048758
15	129.11	20.548	0.048666

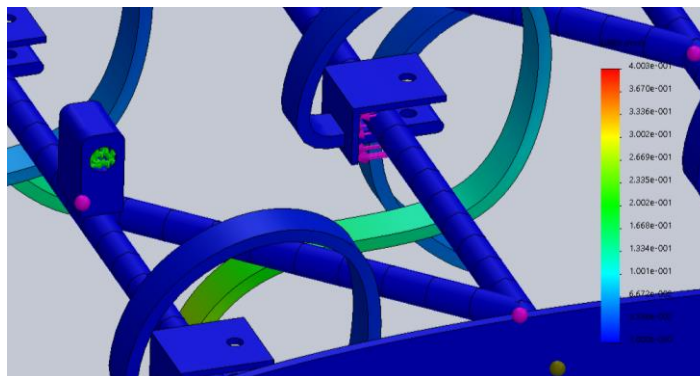
2.21 pav. Modų charakteristikos

2.2.7 Sustiprintos noragų sekcijos dinaminis tyrimas su išskirstytais apkrovomis, kai apkrova uždėta ant laikiklių (su spyruoklėmis)



2.22 Pav. Konstrukcijos skersiniai sustiprinimo vamzdžiai

Šio bandymo tikslas patikrinti skersiniais vamzdžiais sustiprintos (2.22 pav.) noragų rėmo konstrukcijos rezonansinius dažnius, bei palyginti rezultatus su atliktais tyrimais. Medžiagos, jėgos, įtvirtinimai tokie pat kaip noragų sekcijos dinamiame tyrime. Apkrova uždėta ant noragų laikiklių horizontalia kryptimi (2.23 pav.)

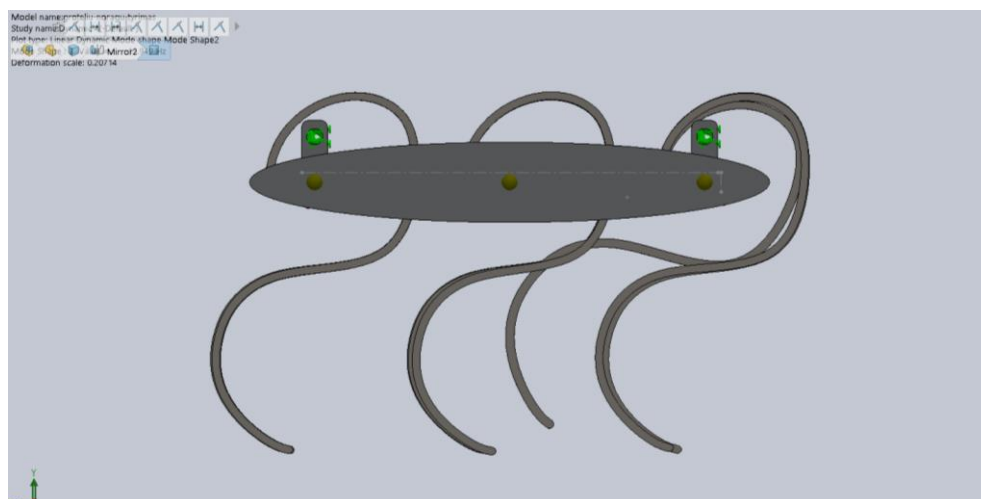


2.23 Pav. Horizontalios jėgos ant horizontalių laikiklių

Po konstrukcijos pakeitimo rezonansiniai dažniai pakito nežymiai - pirmoji moda 13,85Hz (2.24 pav.) lyginant su nesustiprintos konstrukcijos (12,938 Hz). 2.25 pateikta ketvirtoji konstrukcijos moda.

Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	87.021	13.85	0.072203
2	87.327	13.899	0.07195
3	87.643	13.949	0.07169
4	87.7	13.958	0.071644
5	87.716	13.96	0.071631
6	87.813	13.976	0.071552
7	87.914	13.992	0.071469
8	88.217	14.04	0.071225
9	88.476	14.081	0.071016
10	89.184	14.194	0.070452
11	131.54	20.936	0.047765
12	131.61	20.946	0.047741
13	131.67	20.956	0.047718
14	132.26	21.05	0.047506
15	132.61	21.106	0.04738

2.24 pav. Konstrukcijos savieji dažniai



2.25 pav. 4-asis rezonansinis dažnis

2.2.8 Noragų sekcijos laikančiosios konstrukcijos dinaminis tyrimas su išskirstytais apkrovomis

Visi tyrimo nustatymai kaip prieš tai buvusiame tyrime - jėgų vertės, dažniai ir veikimo vietos tos pačios – ant laikiklių vertikalių plokštumų. Vienintelis skirtumas – nuimtos spyruoklės. Konstrukcijos pirmasis rezonansinis dažnis nustatytas 73,996Hz (2.26 pav.). Laikančioji konstrukcija dirba saugiai ikirezonansiniame režime. 2.27 pav. pateikta pirmoji moda.

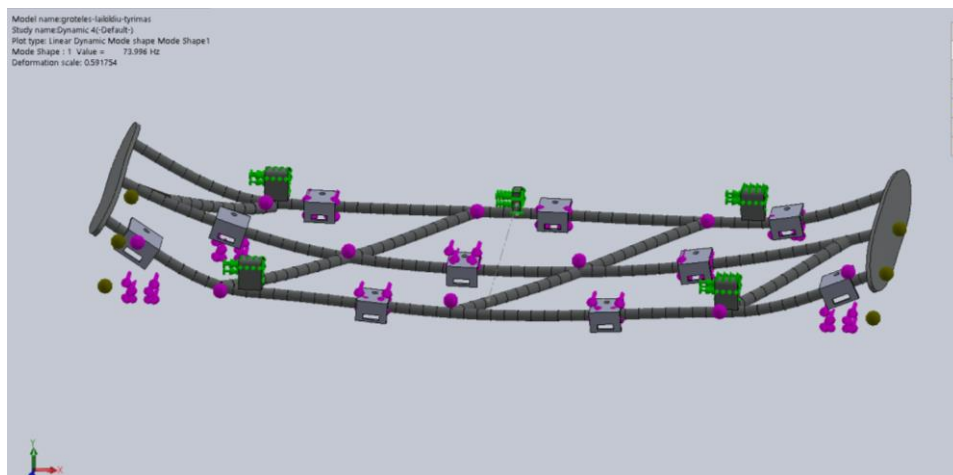
List Modes

Study name: Dynamic 4

Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	464.93	73.996	0.013514
2	468.64	74.586	0.013407
3	643.43	102.41	0.0097651
4	849.95	135.27	0.0073924
5	887.16	141.2	0.0070824
6	1018.8	162.15	0.006167
7	1032	164.25	0.0060883
8	1108.6	176.44	0.0056676
9	1639.6	260.95	0.0038322
10	1685.1	268.19	0.0037287
11	1954.4	311.06	0.0032148
12	2173.8	345.97	0.0028904
13	2345.1	373.24	0.0026793
14	2517.9	400.73	0.0024954
15	2763.6	439.84	0.0022736

Close Save Help

2.26 pav. Noragų konstrukcijos be spyruoklių tyrimo savieji dažniai



2.27 pav. Pirmoji konstrukcijos moda (74,996Hz)

2.2.9 Svirties tyrimas

Šiuo tyrimu bandyta išsiaiškinti, koks svirties kampas labiausiai palengvintų rankinio pakėlimo atveju. Atlikti 5 tyrimai, kuriuose svirties pečių kampas kinta nuo 0 iki 90 laipsnių, kas 22,5 laipsnio.

Tyrimo duomenys:

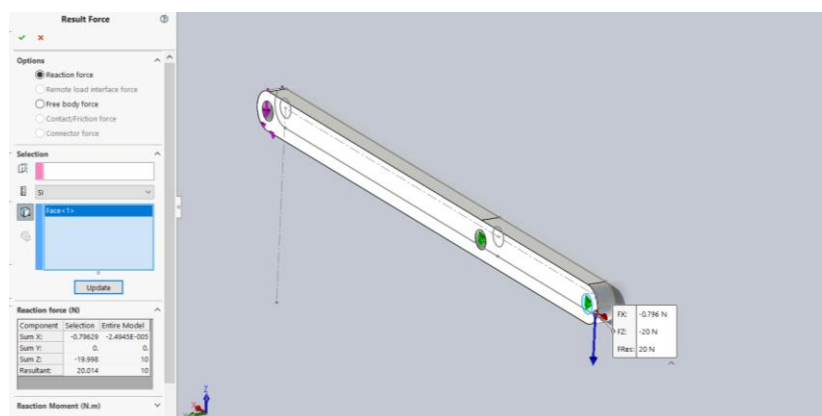
- Plienas: S355JR
- BEM tinklelis sudarytas iš tetraedrų

- Elementų skaičius: 10689
- Mazgų skaičius: 18005
- Svirties pečių santykis 1:2
- Apkrova: 10N

Tiesios svirties skaičiavimo formulė:

$$r_1 F_1 \sin \theta_1 = r_2 F_2 \sin \theta_2 \quad (2.12)$$

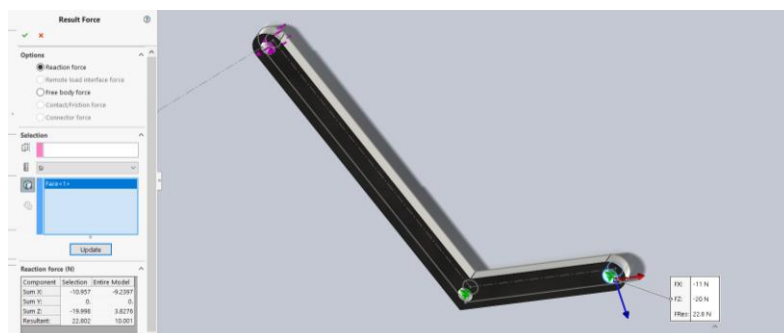
Tiesios svirties tyrimą (2.28 pav.) kompiuterinius skaičiavimus (reakcijos jėga 20,014N) įmanoma palyginti su 5.1 formulės gaunamais rezultatais (reakcijos jėga 20N). Didžiausia reakcijos jėga (22,8N) gauta 112,5 laipsnių svirtyje (2.29 pav.), tačiau minėta formulė šiuo atveju netinka ir nebėra galimybės patikrinti rezultatų teisingumą.



2.28 pav. Tiesi svirtis, pečių santykis 1:2

Lentelė nr.1. Tyrimo rezultatai

Tyrimo Nr.	Svirties pečių kampas,	Reakcijos jėga, N
1	180	20,014
2	157,5	20,6
3	135	21,8
4	112,5	22,8
5	90	22,6



2.29 pav. Svirtis 112,5 laipsnių

3. Projektinė dalis

Reikalavimai agregato projektavimui:

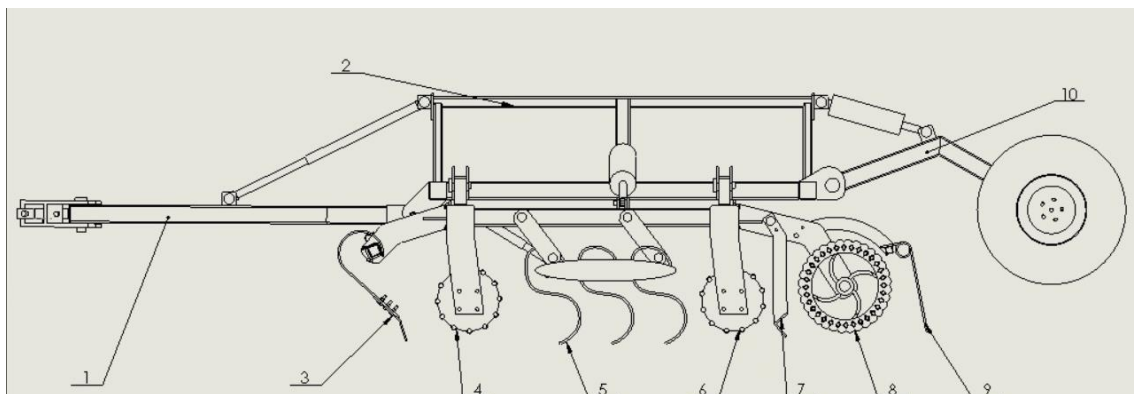
- Parinkti metalo profilius;
- Konstrukcijos elementams sujungti naudoti standartinius tvirtinimo elementus;
- Projektuoti technologiškas detales ir jų junginius;
- Agregatas turi būti projektuojamas taip, kad būtų galima nesunkiai prieiti prie rinkimo, reguliavimo, tepimo, o taip pat ir prie dylančių dalių vietų, kad būtų įmanoma jas pakeisti.
- Transportinėje padėtyje agregatas neturėtų viršyti 3m. pločio.

Iš vienos pusės konstrukcija turi būti kuo paprastesnė, kad neišaugtų gaminio savikaina, tačiau estetiniu ir saugumo požiūriu gaminyje turi būti užapvalintų formų, kas dažnu atveju reikalauja daugiau darbo ir pakelia gaminio savikainą.

Projektuojamo agregato paskirtis yra atlikti keletą užduočių vienu metu:

- Trupinti grumstus
- Lyginti dirvos paviršių
- Paruošti sėklos guoliavietę
- Sutankinti dirvą

Projektuojamas agregatas (3.1 pav.) sudarytas iš atskirų dalių ir junginių: prikabinimo mechanizmas (1), lyginimo lenta (3 ir 7), rėmas (2), važiuoklė (10).



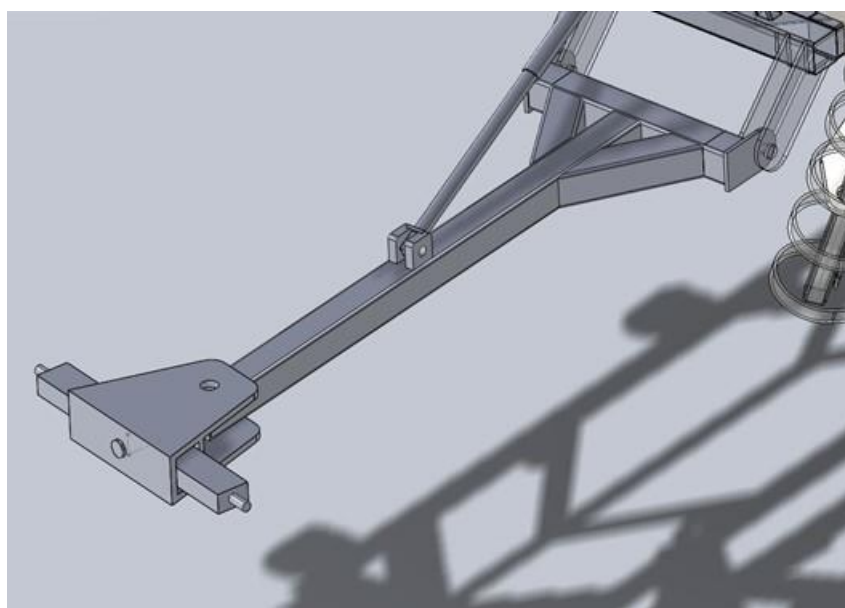
3.1 pav. Principinė schema

Projektuojamo agregato kokybės rodikliai:

- Žemės įdirbimas vienu pravažiavimu.
- Tolygus žemės įdirbimas.
- Nesudėtinga eksploatacija – patogus dylančių dalių pakeitimas, priėjimas prie guolių ir ašinių sujungimų tepimo.

3.1 Projektuojamas agregato prikabinimo prie traktoriaus mechanizmas

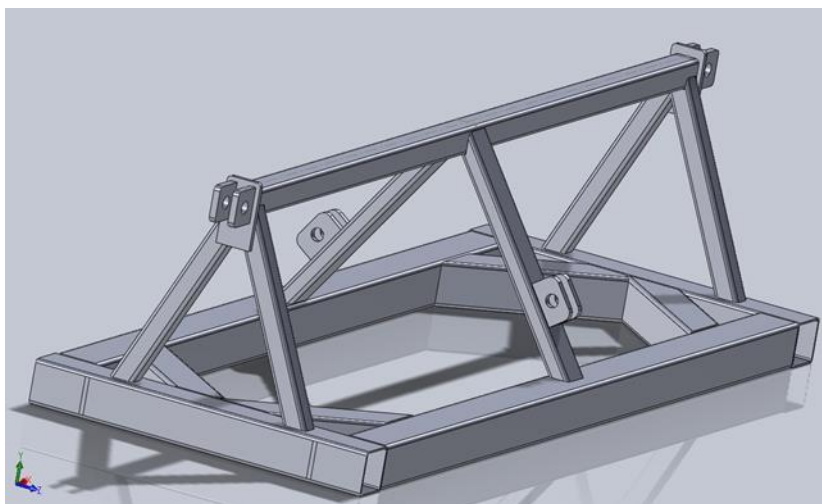
Pasirinktas dviejų taškų prikabinimo prie traktoriaus mechanizmo projektavimas (3.2 pav.). Prie pagrindinio rėmo prikabinimas tvirtinasi trimis kaištinėmis jungtimis. Viena jų – su kontraveržliniu įtempėju, kad būtų galima reguliuoti prikabinimo prie traktoriaus aukštį.



3.2 pav. Suprojektuotas prikabinimo mechanizmas

3.2 Rėmo projektavimas

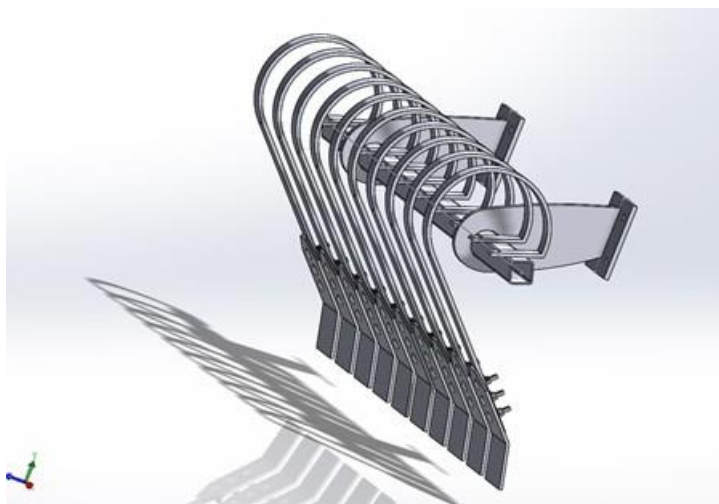
Rėmo konstrukcija (3.3 pav.) pasirinkta trikampės prizmės formos. Apatinė rėmo dalis projektuota iš 100mm kvadratinio vamzdžio (sienelė 4mm), viršutinė dalis iš 50 x 50mm ir 80 x 40mm profilių. Prie rėmo kaištinėmis jungtimis jungsis prikabinimo mechanizmas, važiuoklė, darbinės sekcijos.



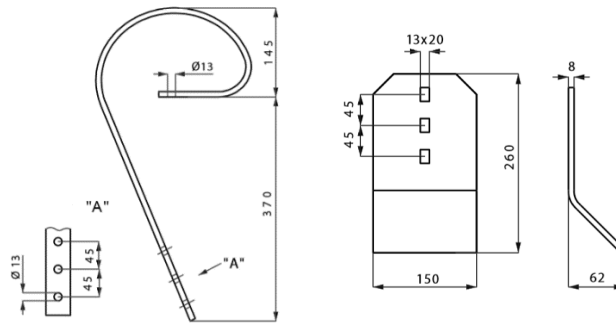
3.3 pav. Rėmo konstrukcija

3.3 Lyginimo lentos projektavimas

Lyginimo lentą (3.4 pav.) sudaro kvadratinis vamzdis (50x50x4mm) ant kurio tvirtinasi spyruokliniai stovai su darbinėmis mentelėmis. Vamzdis prie rėmo tvirtinamas laikikliais. Lentos darbinis atakos kampas reguliuojamas hidrocilindro pagalba. Parinktos Italijos įmonės Eurozappa spyruoklinė lyginimo lenta ir keičiamas antgalis (pav. 3.5).



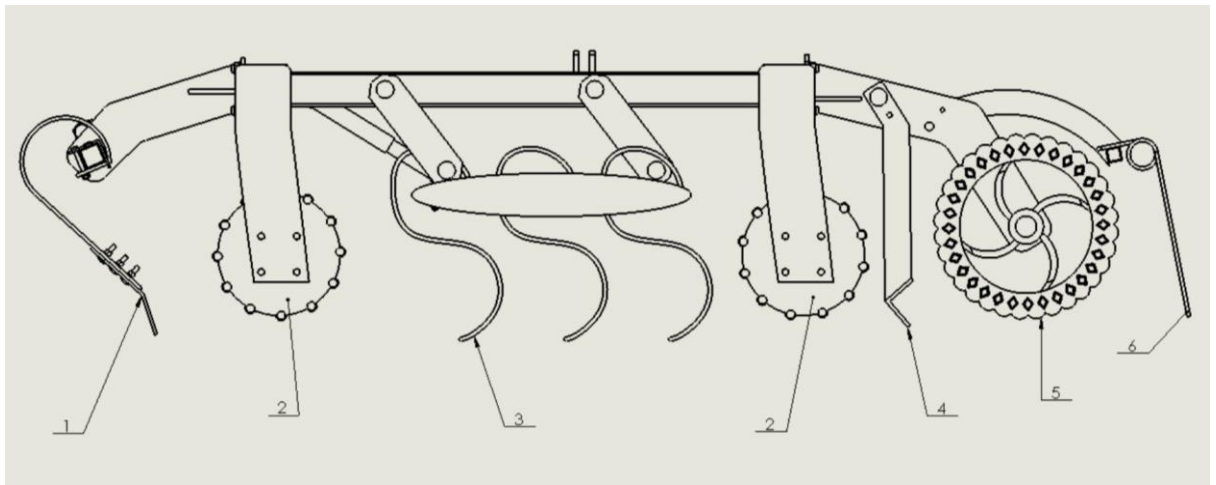
3.4 pav. Lyginimo lenta (vibrolenta)



3.5 Pav. Eurozappa vibrolenta ir keičiamas antgalis [24]

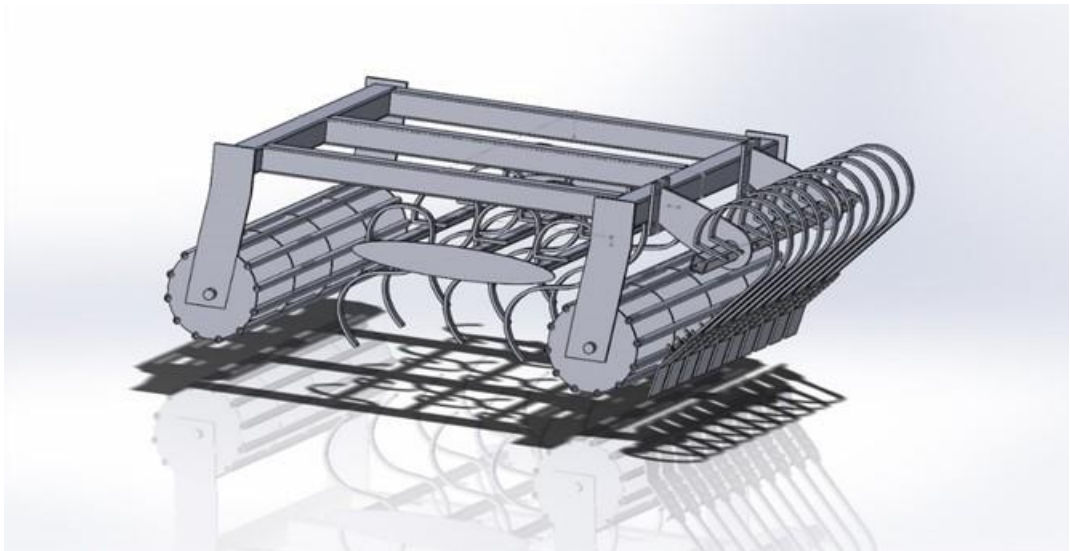
3.4 Darbinės sekcijos projektavimas

Projektuojamas 4m pločio agregatas susideda iš dviejų (po 2m) hidrauliškai pakeliamų darbinių sekcijų (3.6 pav.), kad būtų patogu transportuoti agregatą keliais. Agregato bazinę darbinę komplektaciją sudaro priekiniai ir galiniai volai (2) ir noragai (3). Visos kitos darbinės dalys projektuojamos ant laikiklių, kad būtų lengvai nuimamos ir užmontuojamos priklausomai nuo ūkininko poreikių.



3.6 pav. Darbinė sekcija. 1 – spyruoklinė lyginimo lenta, 2 – volai, 3 – noragai, 4 – lyginimo lenta, 5 – pentininis volas, 6 – akėčios.

Suprojektuota bazinė 2m pločio darbinė sekcija, kurią sudaro priekiniai bei galiniai volai.
3.7 pav. Patekta bazinė darbinė sekcija su segmentine lyginimo lenta.

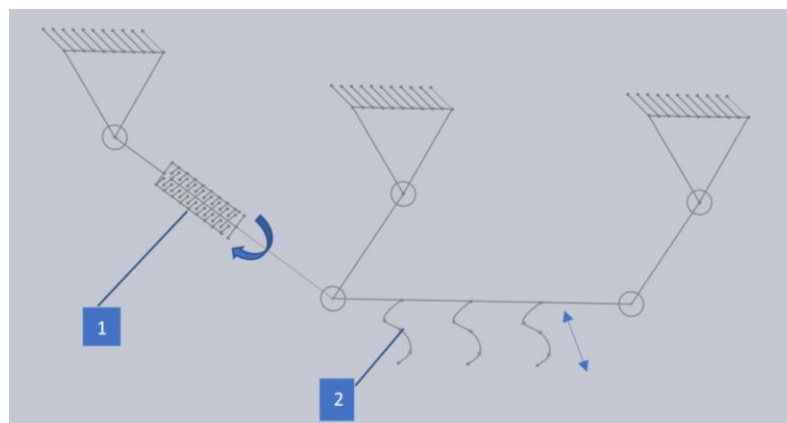


3.7 pav. Suprojektuota bazinė 2m pločio agregato sekcija su segmentine lyginimo lenta

3.4.1 Kultivatoriaus darbinių dalių pakėlimo mechanizmo projektavimas

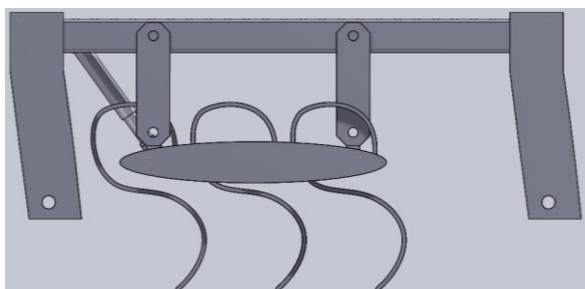
Darbinių noragėlių gylis reguliuojamas įtempėjo pagalba. Darbinis gylis reguliuojamas 0-12cm intervale. Gylis skaičiuojamas nuo riedėjimo volų apačios.

Pateikta kinematinė darbinių dalių mechanizmo schema (3.8 pav.). Projektuojama svirtinė sistema turi užtikrinti tolygų darbinių dalių nuleidimą ir pakėlimą, nes reikalinga, kad noragai (2) dirbtų tiksliai nustatyame gylyje pagal auginamą kultūrą. Gylis reguliuojamas mechaniškai įtempėjo (1) pagalba.

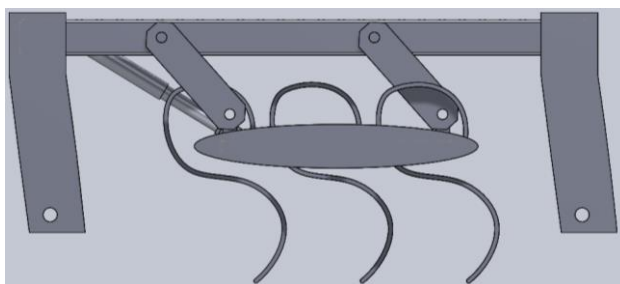


3.8 pav. Kinematinė pakėlimo-nuleidimo mechanizmo schema. 1 – kontraveržlinis įtempėjas, 2 – darbinės dalys, noragai

Suprojektuotas pakėlimo mechanizmas ir pateikti brėžiniai, kai sekcija nuleista (3.9 pav.) ir pakelta (3.10 pav.)



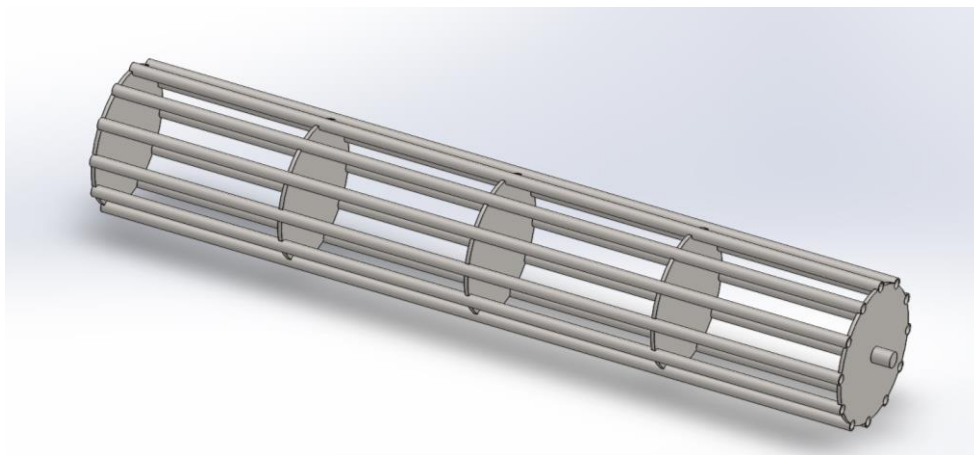
3.9 pav. Nuleista



3.10 pav. Pakelta

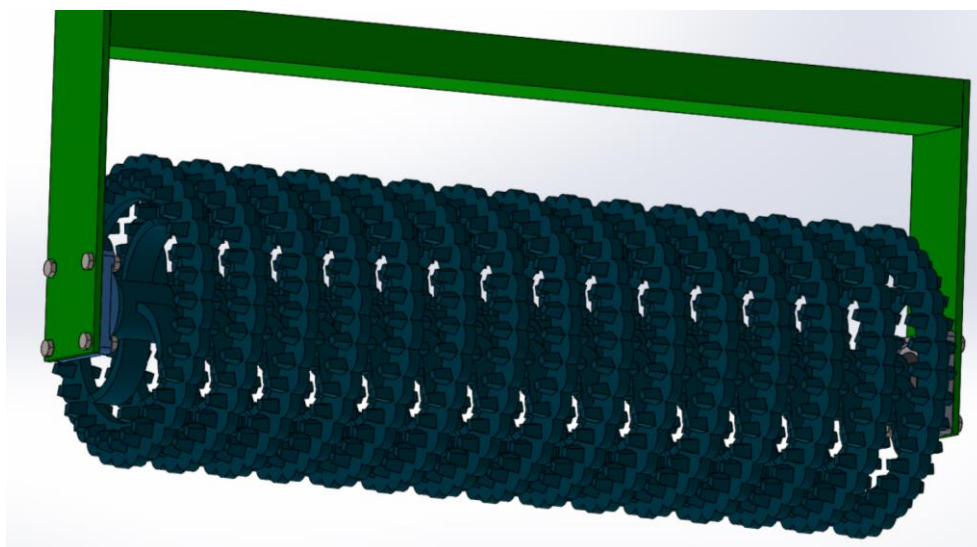
3.5 Volų projektavimas

Volai projektuojami nuo 300mm (sunkioms žemėms) iki 600mm (lengvoms žemėms) skersmens ir tai daro įtaką kitoms darbinėms dalims, nes volai atliks ir atraminių ratų vaidmenį darbo metu. Priekiniai ir galiniai volai turi būti projektuojami su persidengimu, kad neliktų neįdirbtų ruožų. Priklausomai nuo dirbamos žemės tipo ūkininkas turės galimybę pasirinkti volo skersmenį ir tipą - ardalinį (3.11 pav.), pentininis (3.12 pav.) ir kt.



3.11 pav. Ardalinis volas

Parinktas Vokietijos įmonės Industriebhof tiekiamas 550mm skersmens pentininis volas, kurio plieno markė EN-GJS-500-7, žiedo masė 23,4kg, skylės diametras 60mm.



3.12 pav. pentininis volas

Įvertinus bendrą kultivatoriaus masę parinkti volų guoliai su guoliaviete UCF 208, kurie montuojami su 40mm skersmens velenais. Guolio tepimo taškai orientuojami taip, kad būtų pasiekiami iš išorinės kultivatoriaus pusės.

Praktikoje skaičiuojamas guolių ilgaamžiškumas, kuris išreiškiamas darbo valandomis arba apsisukimų skaičiumi ir vadinamas resursu. Pagal ISO281 standartą nominalusis resursas išreikštas valandomis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$L_h = 10^6 / (60 \times n) \times (C/P)^p \quad (3.1)$$

C – leistinoji dinaminė apkrova, P – ekvivalentinė dinaminė apkrova, p – rodiklis (p = 3 rutuliniais guoliams, p = 10/3 ritininiais guoliams).

Dinaminė guolio apkrova apskaičiuojama pagal formulę:

$$P = X F_r + Y F_a \quad (3.2) [26]$$

X ir Y – radialinės ir ašinės apkrovos įtakos koeficientai, F_r ir F_a – guolio radialinė ir ašinė apkrova, N.

Kultivatorius, kurio masė 4000kg rieda ant aštuonių guolių. Priimu, kad kultivatoriaus masė pasiskirsčiusi tolygiai, todėl guolio radialinė jėga $F_r = \frac{40000}{8} = 5000N$. Priimu, kad ašinė jėga lygi pusei radialinės jėgos, tai $F_a = \frac{5000}{2} = 2500N$.

300mm skersmens volo apskritimo ilgis:

$$L = 2\pi R = 2 * 0.15 * 3.14 = 0.942m$$

Volo riedančio 8km/h (2.22m/s) greičiu sukimosi dažnis $n = 2,36 s^{-1} = 141.6 min^{-1}$.

Guolio UCF 208 leistina statinė apkrova $C_0 = 19\ 800\ N$ [25].

$$e = \frac{F_a}{C_0} = \frac{2500}{19800} = 0.126 \approx 0,13$$

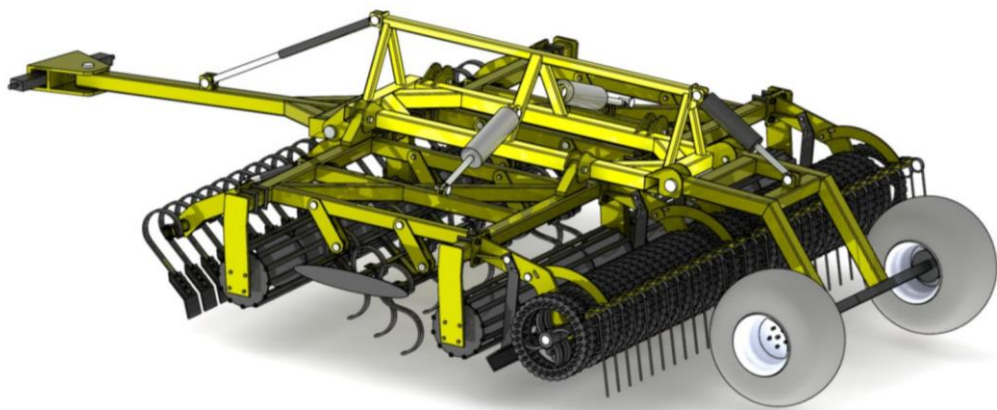
Kadangi $F_a/F_r > e$, tai anot [26] pateiktos lentelės (275psl.) $e = 0.31$, $X=0.56$, $Y=1.2$, tai panaudoję lygybes (3.1) ir (3.2) gauname:

$$P = 0.56 * 5000N + 1.2 * 2500N = 5800N$$

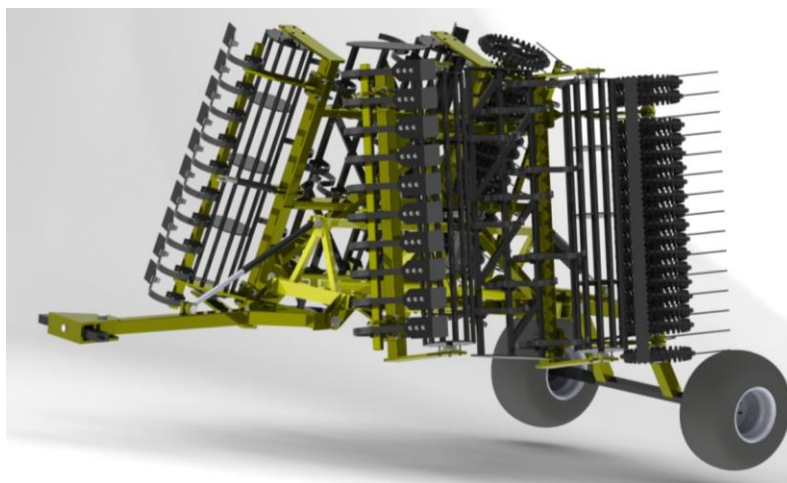
$$L_h = 10^6 / (60 * 141.6) * (19800/5800)^3 = 117.70 * 39.77 \approx 4681\ h$$

3.6 Galutinis gaminys

Suprojektuotos dalys ir junginiai sujungti į gaminį. 3.13 pav. pateiktas agregatas darbinėje padėtyje ir 3.14 pav. – transportavimo padėtyje.



3.13 pav. Kultivatoriaus bendras vaizdas darbinėje padėtyje



3.14 pav. Kultivatoriaus bendras vaizdas transportavimo padėtyje

Priede (pr. 2) pateikiamas bendro vaizdo brėžinys, bei specifikacija (pr. 3).

Išvados

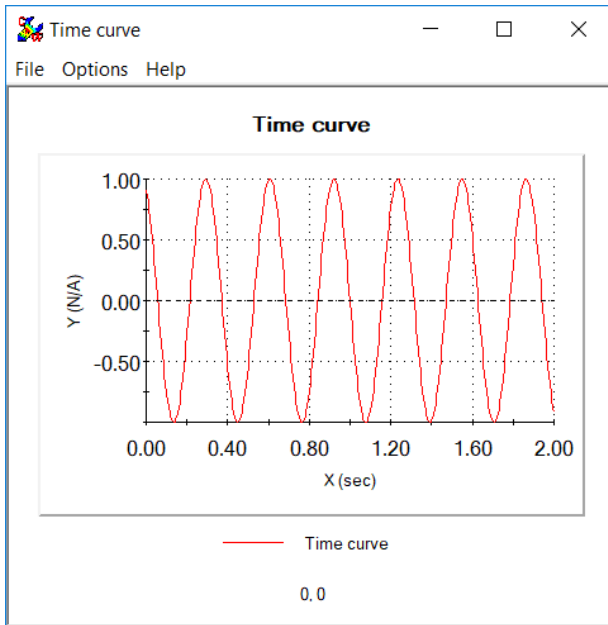
1. Apžvelgus literatūrą ir rinkoje esančius produktus nuspręsta tirti ir projektuoti seklaus dirbimo kultivatorių, kurio darbinės dalys būtų nesudėtingai keičiamos priklausomai nuo dirbamos žemės savybių.
2. Projektuojamam agregatui nuspręsta panaudoti tokius elementus ir darbinės dalis: hidrauliškai reguliuojamą vibrolentą, S formos spyruoklinius noragus, ardelinius bei pentininius volus, prikabinimą prie traktoriaus. Darbinių sekcijų ir važiuoklės pakėlimui suprojektuoti hidrauliniai cilindrai.
3. Pasirinkta panaudoti dvigubą rėmo tipą iš kvadratinių ir stačiakampių S355JR plieno vamzdžių 100 x 100, 80 x 40, 50 x 50, 50 x 30. Iš pirminių rėmo-sekcijos jungties tyrimo duomenų buvo nuspręsta patobulinti detalę, nes buvo nustatytas per mažas atsargos koeficientas - 1,6. Patobulinius jungtį atlikti tyrimai pateikė priimtinius maksimalius įtempius ($1,136 * 10^8 \text{ N/m}^2$), deformacijas (0,08754mm), bei minimalų atsargos koeficientą - 2,4.
4. Projektuojamam agregatui parinkti S formos spyruokliniai darbiniai noragai, kuriems gamintojas rekomenduoja 7-8km/h darbinį greitį, todėl projektuojant ir tiriant naudotas šis agregato darbinis greitis. Nustatyta, kad noragų sekcijos pirmasis rezonansinis dažnis yra 12.9 Hz, kadangi noragų sekcijos darbo metu susižadina iki 9Hz dažnio virpesiai, todėl galima konstatuoti, kad dirbama saugiame ikirezonansiniame režime. Taip pat nustatyta, kad minėtus virpesius sukelia spyruokliniai noragai, o rėmo rezonansiniai virpesiai prasideda nuo 73,996Hz. Suprojektuotas ardelinis volas ir jam parinktas guolis UCF 208. Apskaičiuotas 300mm skersmens volo guolio nominalusis resursas (4861 h).
5. Suprojektuota bazinė kultivatoriaus komplektacija, kuri susideda iš priekinių ir galinių volų, bei noragų. Kaip papildomai montuojami priedai suprojektuotos dviejų tipų lyginimo lentos, pentininis volas, akėčios. Suprojektuotas noragų gylio reguliavimo mechanizmas, kuris suteiks galimybę vartotojui dirbti žemę nustatytame gylyje. Sukurta kinematinė pakėlimo mechanizmo schema ir suprojektuotas kontraveržlinis noragų sekcijos gylio reguliavimo mechanizmas.

Literatūra

1. R. Žulienė. Agronomijos pagrindai, 1990.
2. K. Katutis. Agronomijos Pagrindai, 2012.
3. UAB Žemtiekimio produkcijos katalogas [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 05 28]. Prieiga per internetą: <http://www.zemtiekimas.lt/produkcija>
4. C. Vincent, B. Panneton, F. Fleurat-Lessard. Mechanical Control in Agriculture. p. 191-205. Physical Control Methods in Plant Protection. ISBN 978-3-662-04584-8. 2001
5. K. Lukošius. Ražieninės dirvos purenimo būdų įtaka atsėliuojamų varpinių javų derliui. LŽŪU Žemės ūkio inžinerijos institutas, Raudondvaris, 2005m.
6. Amazone produkcijos katalogas [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016 05 20]. Prieiga per internetą: <http://www.amazone.net/188.asp>
7. UAB Gradelitas produkcijos katalogas [Interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://graderlitas.lt/tarpueiliu-kultivatoriai-4/> [žiūrėta 2016 04 22].
8. Eversagro produkcijos katalogas [Interaktyvus]. [žiūrėta 2016 05 28] Prieiga per internetą: <https://eversagro.com>
9. produkcijos katalogas [Interaktyvus]. [žiūrėta 2017 12 24] Prieiga per internetą: <http://anista.lt/kita/lynu-itempejai/>
10. A. Jasinskas. Žemės ūkio, maisto ūkio ir žuvininkystės MTTV projekto „sudaryti ir pagrįsti optimalią laukininkystės mašinų sistemą įvairios specializacijos prekiniam ūkiams“ 2016 m. baigiamoji ataskaita.
11. Tindžiulis A. Žemės dirbimas, Vilnius, 1979, 198 p.
12. A. Žiliukas. Medžiagų mechanika. Kaunas. Technologija, 2004. ISBN 9955-09-729-9
13. V. Juodelis, J. Bendikas, A.V. Valiulis, Metalotyros Pagrindai. Mokomoji Knyga. 2004, Vilnius. ISBN 9986-05-702-7.
14. P. Vasinauskas. Bendroji agrotechnika. Vilnius. Mokslas, 1989. ISBN 5-420-00224
15. UAB Laumetris produkcijos katalogas [Interaktyvus]. [žiūrėta 2017 12 24]. Prieiga per internetą: <http://www.laumetris.lt>
16. G.C. Kiss, D.G. Bellow. An analysis of forces on cultivator sweeps and spikes. University of Alberta, Edmonton, Alta. 1981.
17. N. Makange, R. Parmar, V.K. Tiwari. Stress Analysis on Tyne of Cultivator Using Finite Element Method. 2015.
18. Solidworks pagalbos svetainė [Interaktyvus]. [žiūrėta 2017 12 19]. Prieiga per internetą: help.solidworks.com

19. Singiresu S. Rao, Mechanical Vibrations. University of Miami. ISBN 978-0-13-212819-3.
20. Peter R.N. Childs, Mechanical Design. Engineering Handbook. ISBN 978-0-08-097759-1
21. P. Žiliukas, R. Barauskas. Mechaniniai virpesiai. Vilnius. 2008. ISBN 978-9955-20-275-2
22. R.J. Godwin, M.J. O'Dogherty. Integrated soil tillage force prediction models. Journal of Terramechanics 44. 2006.
23. R. Bernsten, B. Berre, T. Torp, H. Aasen. Tine forces established by two-level model and the draught requirement of rigid and flexible tines. Soil and tillage research. 2005.
24. produkcijos katalogas [Interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://en.eurozappa.com/> [žiūrėta 2018 01 04].
25. Schaeffler produkcijos katalogas [Interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/tpi/downloads_8/tpi_219_de_en.pdf [žiūrėta 2018 01 05].
26. J. Dulevičius, P. Žiliukas ir kt. Mašinų elementai: skaičiavimas ir konstravimas. Kaunas. 2006. ISBN 9955-25-110-7

Priedai



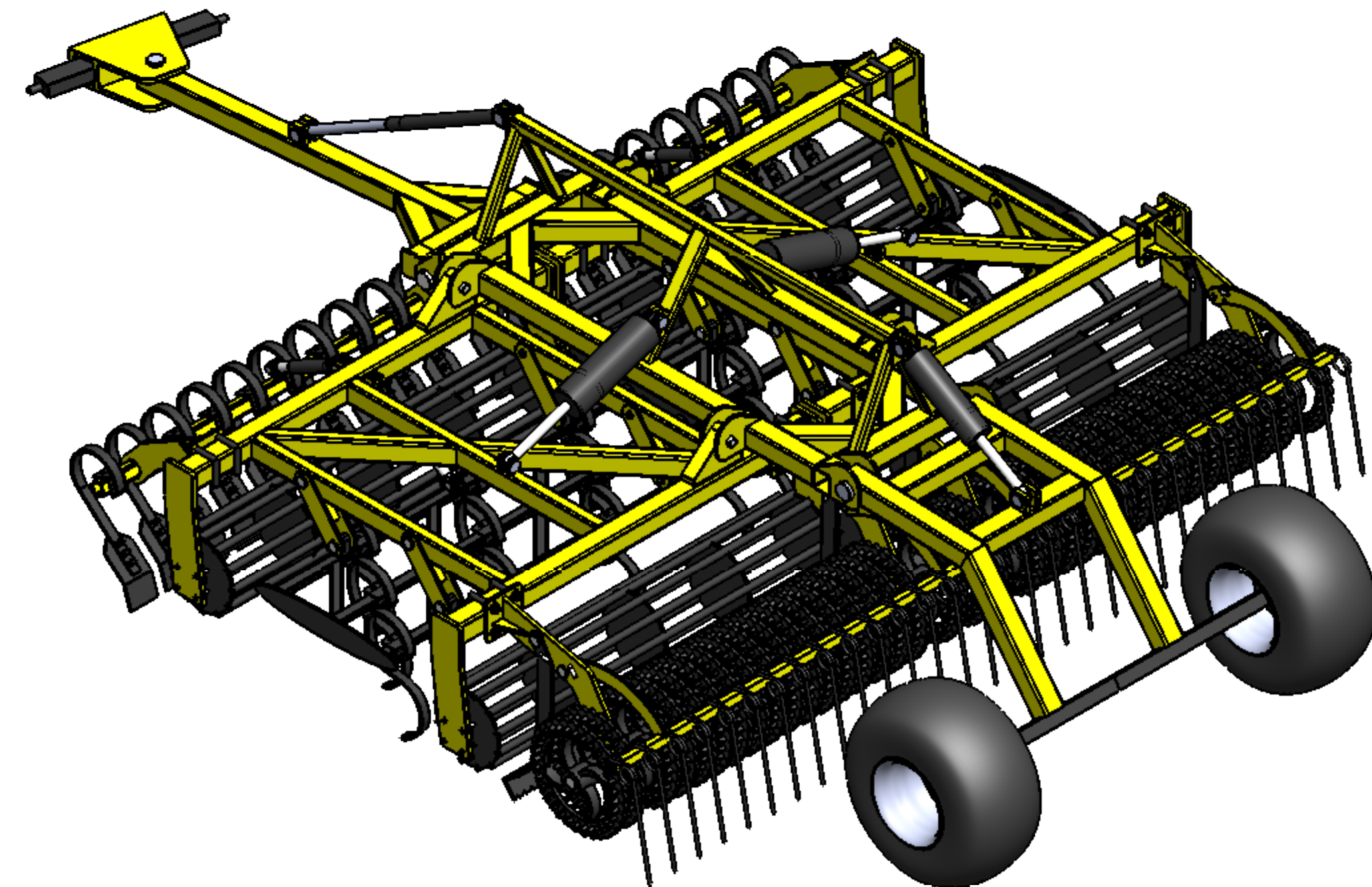
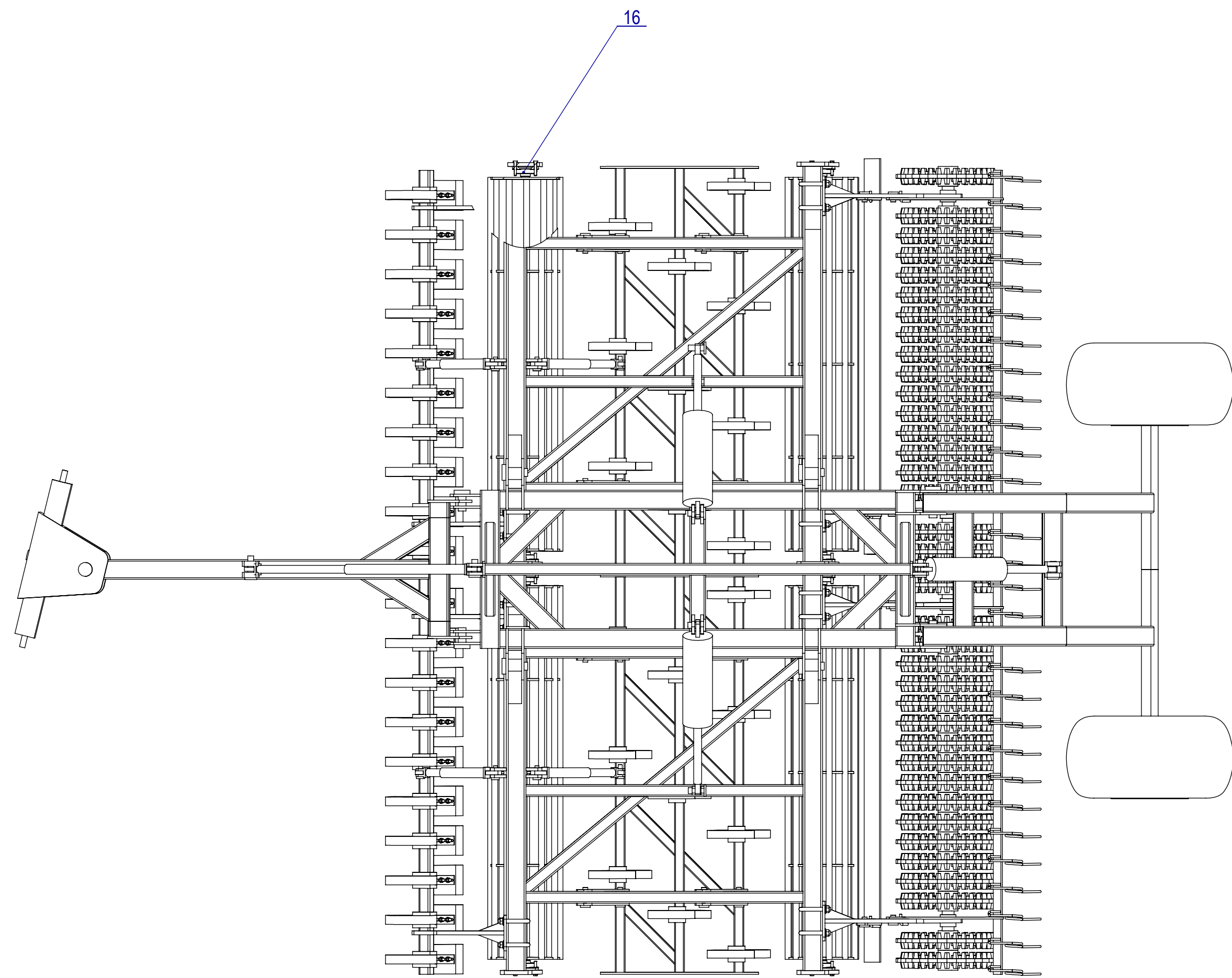
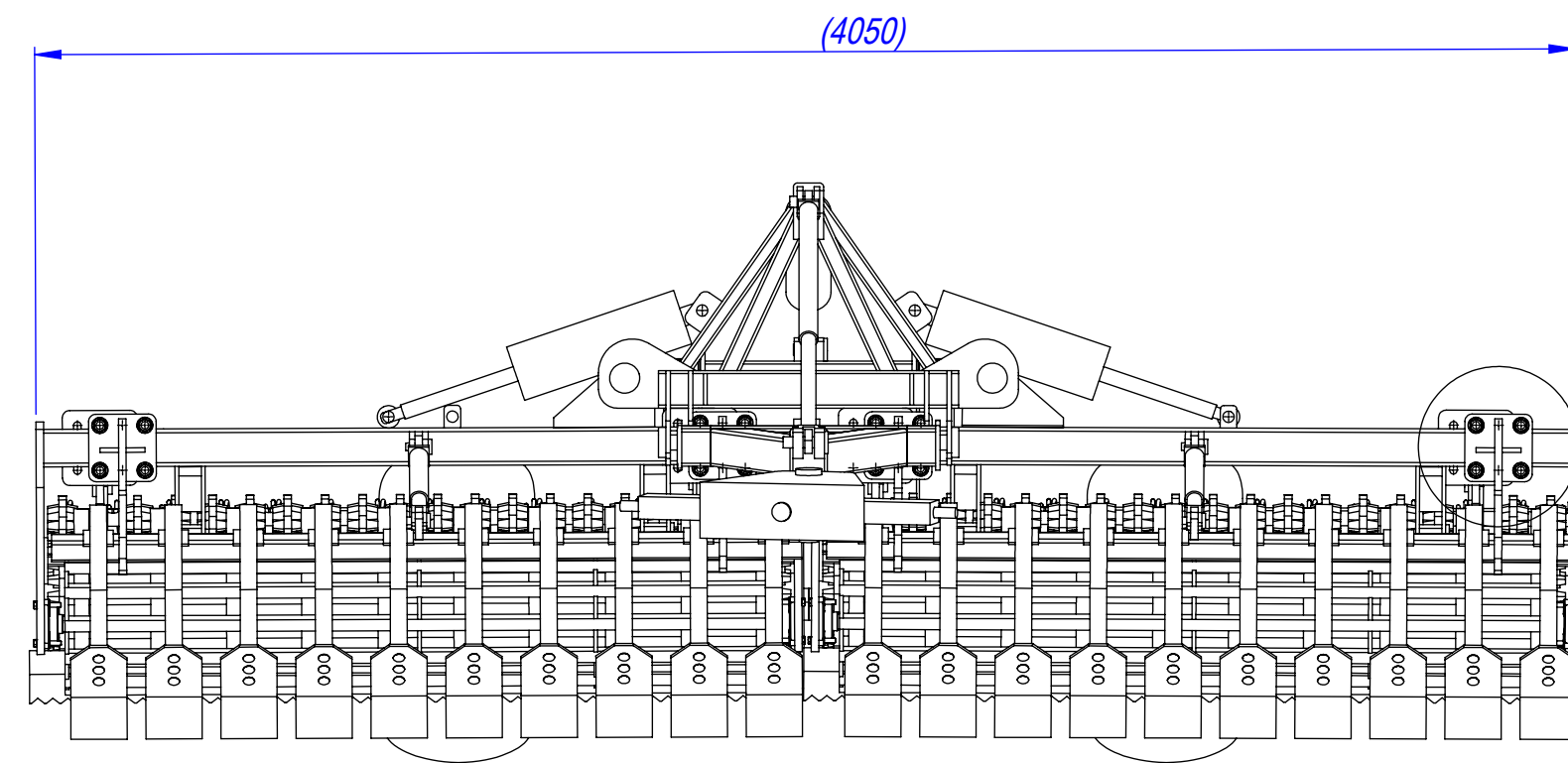
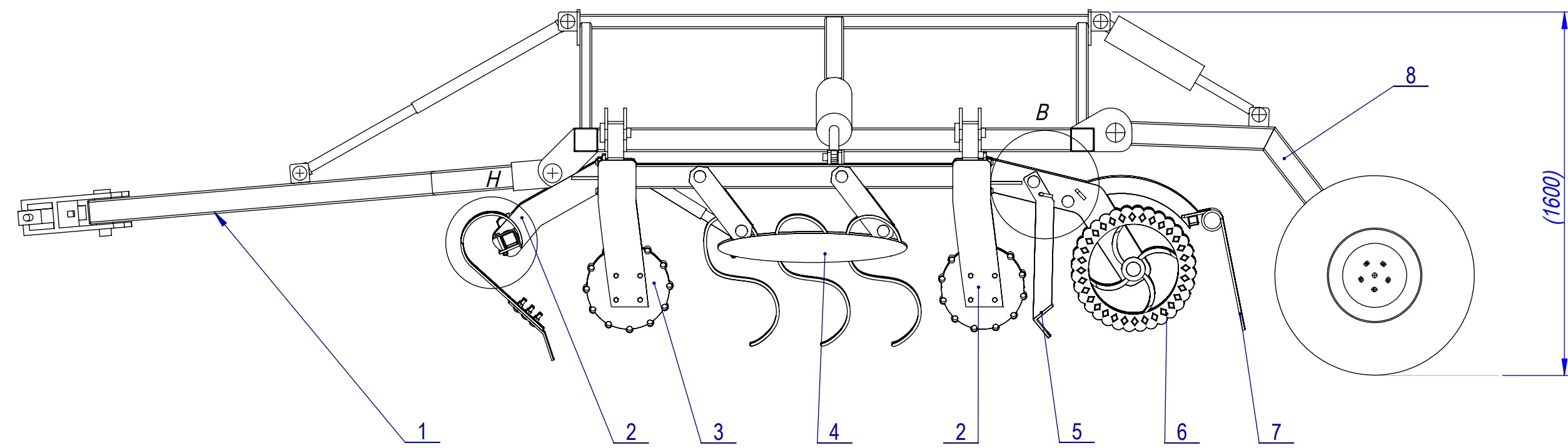
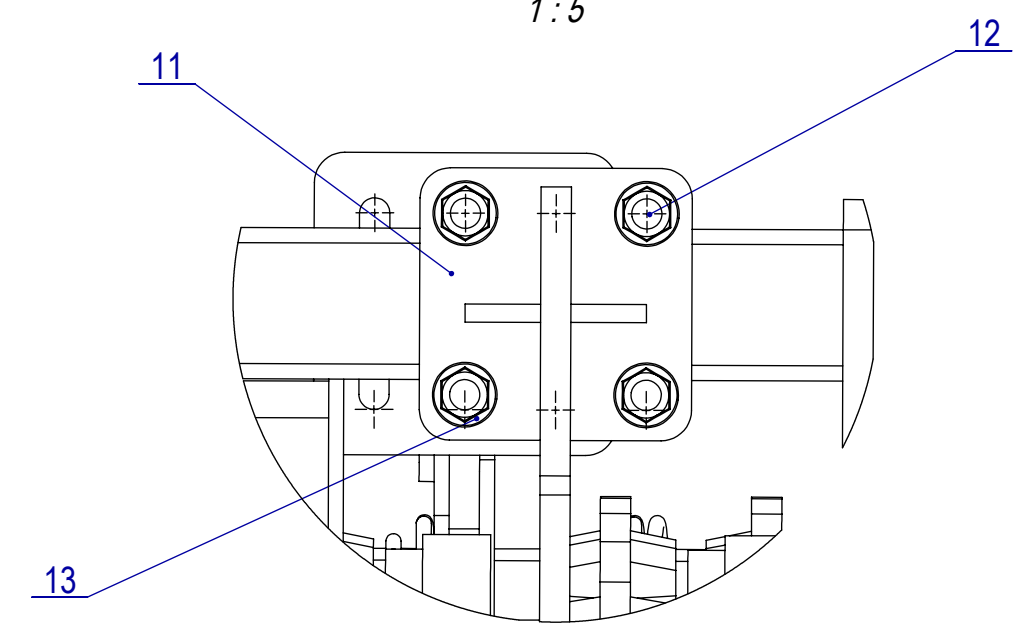
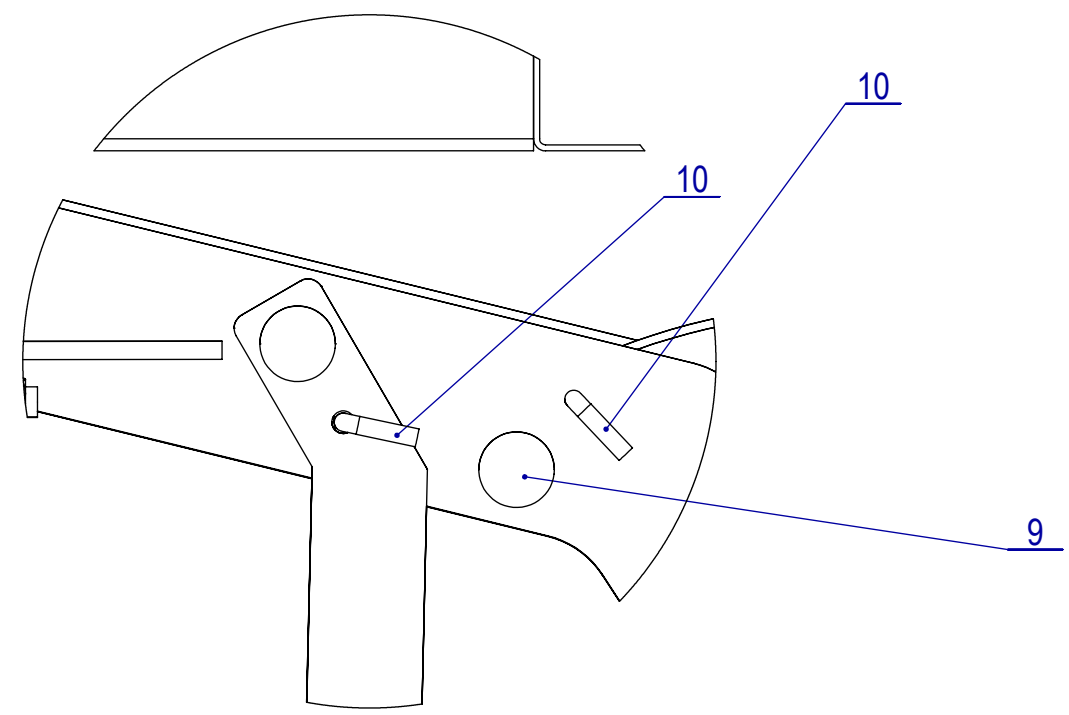
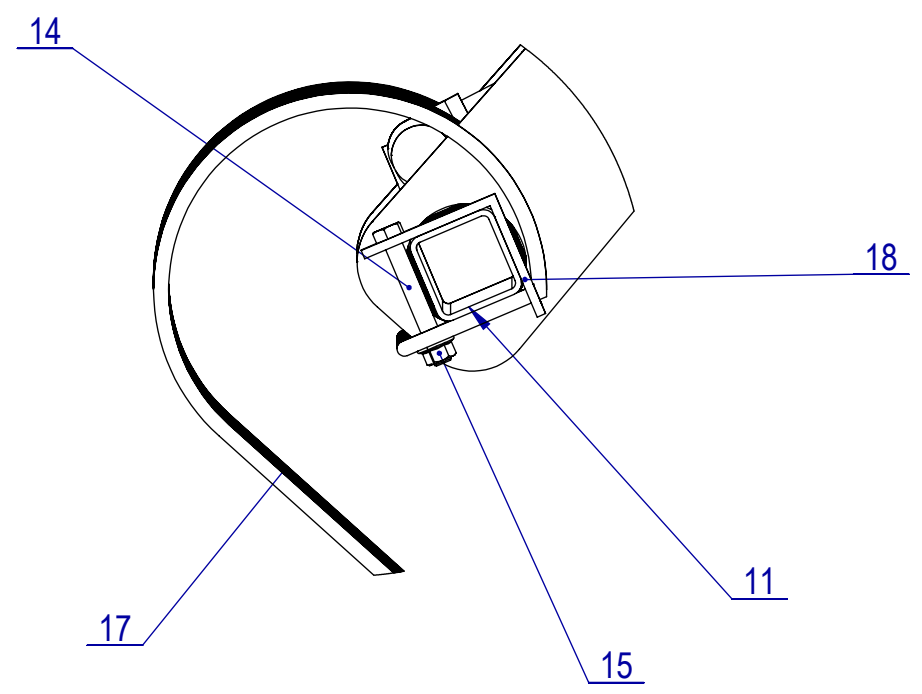
Pr. 1 Apkrovos dažnių funkcija

FORMATAS	ZONA	POZICIJA	ŽYMĖJIMAS	PAVADINIMAS	SKAIČIUS	PASTABA	
				<u>Dokumentacija</u>			
A1			K-00.00.000 BV	Bendras Vaizdas			
				<u>Junginiai</u>			
A4	1		K-00.01.000	Prikabinimo mechanizmas	1		
A4	2		K-00.02.000	Lyginimo lenta (spyruoklinė)	2		
A4	3		K-00.03.000	Ardelinis volas 2100	2		
A4	4		K-00.04.000	Noragų sekcija	2		
A4	5		K-00.05.000	Lyginimo lenta (dantyta)	2		
A4	6		K-00.06.000	Pentininis volas	2		
A4	7		K-00.07.000	Akėčios	2		
A4	8		K-00.08.000	Važiuklė	1		
				<u>Detalės</u>			
A4	9		K-00.00.009	Kaištis D20x40	4		
A4	10		K-00.00.010	Kv. vamzdis 50 x 50 x 4.0 - 2000	2		
A4	11		K-00.00.011	Lyg. lentos gembė	4		
A4	12		K-00.00.012	Laikiklis U	16		
Atsakinga žinyba MIK		Konsultantas		Dokumento tipas Detalių sąrašas		Dokumento statusas Mokomasis	
Savininkas KTU		Rengė Mindaugas Klovas		Antraštė Kultivatorius		K-00.00.000	
		Tvirtino Sigitas Kilikevičius				Laida A	Data 2018-01-05
						Kalba lt.	Lapas 1/1

H
1:5

B
1:5

J
1:5



Byla laikmena		Papildoma informacija		Medžiaga	Mastelis
Atsakinga žinyba IPK		Vadovas		Dokumento tipas Bendro vaizdo brėžinys	Dokumento statusas Informacinis
Savininkas KTU		Rengė Mindaugas Klovas		Antraštė Kultivatorius	Žymuo K-00.00.00.000 BV
		Tvirtino Sigitas Klikevičius		Laida A	Data 2018-01-05
				Kaipis Il.	Lapas 1/1