

**ELEKTRIKARJUSE ALUSE HEINA NIITMISE
MEHHANISEERIMINE**

MECHANISATION OF MOWING UNDER ELECTRIC FENCE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Doni Haapsal

Üliõpilaskood 212185

Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2023

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2023

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Doni Haapsal, 212185
Õppekava, peeriala: MATM, Tootmistehnika ja robotika
Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor

Lõputöö teema:

Elektrikarjuse aluse heina niitmise mehhaniseerimine

Lõputöö põhieesmärgid:

- 1.Välja selgitada sobiv konstruktsiooniline lahendus niidukile.
- 2.Projekteerida kriteeriumitele vastav niiduk.
- 3.Projekteerida niiduk, mis oleks majanduslikult otstarbekas.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus	15.03.2023
2.	Lõputöö sisu kirjutamise lõpetamine	30.04.2023
3.	Lõputöö vormistamine vastavalt 2019 a. eeskirjadele	20.05.2023

Töö keel: Eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....20.....a

Üliõpilane: ".....".....20.....a

/allkiri/

Juhendaja: ".....".....20.....a

/allkiri/

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1.LÄHTEÜLESANNE	7
2.AIA ALUSE NIIDUKITE TURU-UURING.....	11
2.1 Turul olevate niidukite hinnang.....	15
2.2 Patendiuring	15
2.3 Turu-uuringu kokkuvõte	17
3.PROJEKTEERIMISE KONTSEPTSIOON	18
3.1 Seadme funktsioonistruktuur.....	18
3.2 Morfoloogiline maatriks	19
3.3 Lahendusvariantide hinnang.....	19
3.4 Projekteerimise kontseptsiooni kokkuvõte	25
4.NIIDUKI PROJEKTEERIMINE	26
4.1 Niiduki konstruktsioon	26
4.1.1 Pöördteljed.....	30
4.2 Lõiketerad	31
4.3 Jõuallikas.....	33
4.3.1 Aku valik elektrimootorile.....	39
4.4 Pneumaatiline silinder	40
4.4.1 Suruõhupaak pnemaatilise silindri jaoks.....	46
4.5 Niiduki kinnitus liikumasina külge.....	47
4.6 Tugiratas niidukile	52
4.7 Tugevus analüüs seadme kinnitusele.....	54

4.8 Niiduki kokkupuude karjuse postiga	56
5.MAJANDUSLIK OSA	57
5.1 Niiduki hinna arvutus	57
KOKKUVÕTE	60
SUMMARY	61
KASUTATUD KIRJANDUS	62
LISA 1. NIIDUKI PEAKOOST	59

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida elektrikarjuse aluse heina niiduk, mis oleks eraldiseisva jõuallikaga ning seda oleks võimalik kasutada erinevate liikuvmasinatega. Turult ei leia sobivat seadet, mis vastaks projekteeritud seadmele esitatud tingimustele.

Niiduki põhieesmärk oleks muru ja heina niitmine elektrikarjuse traadi alt. Kasvav hein suurendab voolu kadusid elektritraadides ning halvemal juhul tekitab voolukatkestusi. Selletõttu on võimalik karjaloomadel liikuda läbi elektrikarjuse ning metsloomadel siseneda karjamaale.

Projekteeritav seade asendab inimtööjõudu ning võimaldab heina niita efektiivsemalt kui murutrimmeriga. Veel kasutatakse ka muru kasvamise takistamiseks pestitsiide aga kui inimesel on soov hakata mahetootjaks, tuleb pestitsiidide kasutamine lõpetada.

Lõputöö on jagatud kolmeks suuremaks osaks. Esimeses osas kirjeldatakse turu-uuringut, kus hinnati praegu saadaolevaid niidukeid, mis sobivad aia aluse heina niitmiseks. Teine osa on niiduki projekteerimine, kus on etteantud tingimused, millest peab lähtuma. Kolmandas osas tuuakse välja majanduslikud kulud niiduki valmistamiseks. Eraldi koostatakse tabelid ostutoodete, materjali ja tööjõu kuludest.

Projekteerimiseks kasutatakse joonestustarkvara Inventor Professional 2023.

1. LÄHTEÜLESANNE

Lähteülesande sisu on projekteerida niiduk, mis hakkab niitma elektrikarjuse alust heina.

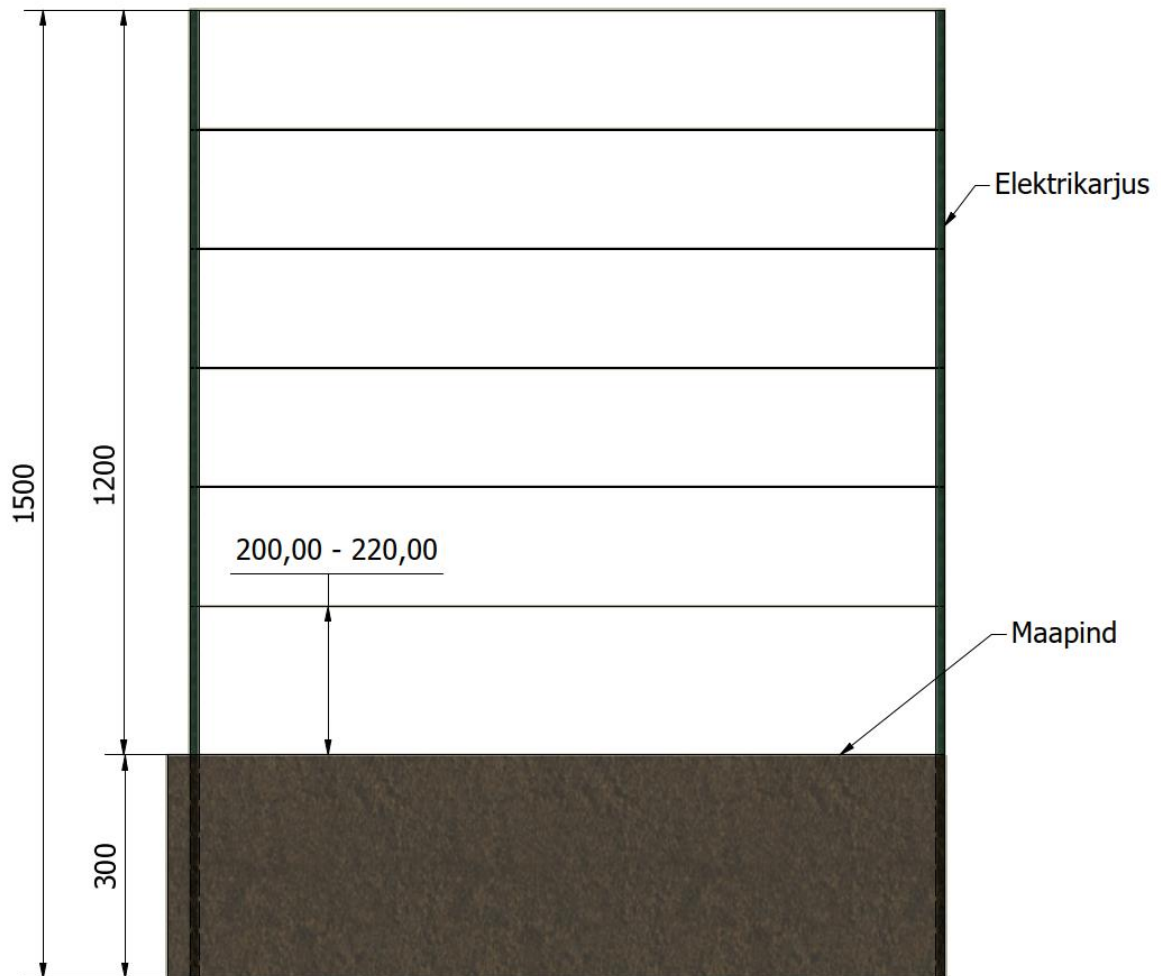
Seade kinnitub masinale Cub Cadet rzt-L54 [1]. Tegemist on muruniidukiga, millel on 0 kraadine pöörderaadius.



Sele 1.1 Cub Cadet rzt-L54 murutraktor

Kõige alumise elektrikarjuse traadi ja maapinna vahe on 220 mm, mis eeldab, et niiduki kõrgus ei saa olla suurem kui 200 mm. Karjuse postideks on armatuur teras diameetriga 12 mm, mille üldpikkus on 1500 mm. Postid on maa sisse surutud 300 mm sügavusele. Maapealse osa kõrguseks jääb 1200 mm. Elektrikarjuse pikkus on umbkaudu 4 kilomeetrit. Postid on paigaldatud iga 6 m tagant. Postidele on paigaldatud plastikust rõngasisolaatorid, mille külge kinnitub traat. Selel 1.2 on näidatud skeem elektrikarjusest.

Karjusel on 6 elektritraati, millest käib läbi vool. Selle põhjuseks on see, et elektrikarjuse kõrgus on ära määratletud Keskkonna Investeeringute Keskuse poolt [2]. Nende poolt on nõue, et kõrgus peab olema minimaalselt 1,2 m maapinnast ning alumine elektritraat võib olla maapinnast maksimaalselt 200 mm.



Sele 1.2 Elektrikarjuse joonis

Sai teostatud ka katsed, kui suure jõu juures hakkasid postid, mis on 300 mm pinnasesse surutud painduma. Katsed said teostatud elektroonilise rippkaaluga ning kõrgus vastavalt niidukõrgusele, milleks oli 200 mm (Sele 1.3). Rippkaalu määrtus on 50 kg peale 10 g [3].



Sele 1.3 Elektrikarjuse posti tõmbetugevus katse

Katsed näitavad, et post hakkab painduma tõmbejõule 20 kilogrammi (Sele 2.3) ehk teisendatult 196 N. Tõmbejõud läks katsetamisel kuni 42 kilogrammini (Sele 2.4). Selle jõuga post maapinnast välja ei tulnud.



Sele 1.4 Elektrikarjuse posti tõmbetugevus katse

Antud mõõtmistulemust saab kasutada sisendinfona niiduki projekteerimisel, sest võib tekkida olukord, kus niiduki liikumine vastu posti tekitab suurema jõu.

Niiduk kinnitatakse murutraktori külge ning võimalusel erinevate adapterite kasutusele võtmisel ka teiste liikuvmasinate külge. Niiduk peab olema eraldiseisva jõuallikaga.

Jõuallikas tuleb leida käesoleva magistr töö käigus.

Kogu konstruktsioon tuleb projekteerida võimalikult kergeks kaalult ning lähtuda sellest, et hooldused ja parandused oleksid võimalikud lihtsad ja kiiresti teostatavad.

Niiduki lõikelaius peab olema piisav, et muru saaks niidetud mõlemalt poolt aeda.

2. AIA ALUSE NIIDUKITE TURU-UURING

Turu uuringu eesmärk on välja selgitada, kas turul on müügil sobivat masinat, mis sobiks ette antud tingimustega. Uuriti erineva ehitusega niidukeid ning selgitati välja kas oleks kasumlikum osta seade või siis ise projekteerida.

GreenTec RI 80 Fox

Antud niiduk [4] töötab hüdraulilise mootoriga, mistõttu on vajalik seda kasutada liikuvseadmega, millel on hüdrauliline pump. See piirab võimalusi kasutada antud niidukit muudel masinatel, millel pole hüdraulilist pumpa. Niidukil on ka ainult üks lõikeketas, mis ei niida mõlemalt poolt posti heina ära. Lõikelaiuseks on 80 cm ning lõikepea kogu kõrguseks on 35 cm, mis jääb liiga kõrgeks. Maksimaalne liikumiskiirus niitmisel on 3 km/h.

Niiduki kaugust saab reguleerida vastavalt 128-188 cm kaugusele masinast, kuhu see on kinnitatud. Niiduki kogukaal on 115 kg.



Sele 2.1 Greentec RI 80 Fox aia alune niiduk

RasterMaster 360 degrees mower

Antud niidukit [5] on võimalik paigaldada masina ette kui masinale järgi. See lisab niidukile funktsionaalsust juurde. Lõikelaius on 100 cm või 120 cm vastavalt soovile. Antud seadmel on 3 lõiketera, mistõttu on võimalik selle niidukiga niita mõlemalt poolt posti ning ei teki vajadust niita mitu korda vaid saab niidetud ühe läbisõitmisega.

Niiduki kogukaal on 450 kg. Selle tõttu ei ole võimalik seda paigaldada murutraktori külge.

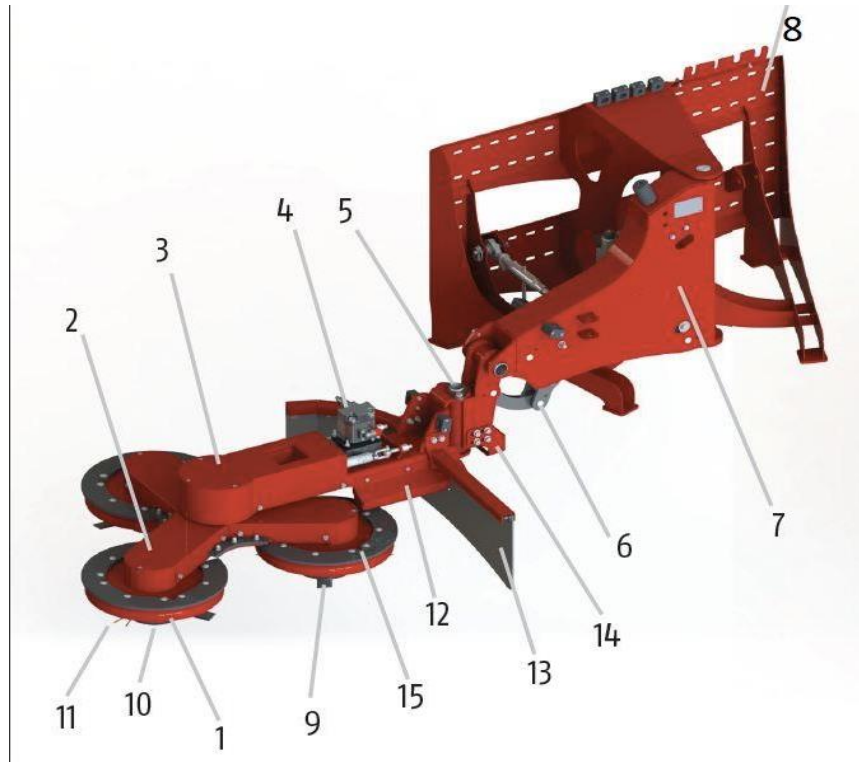


Sele 2.2 Rastermaster 360 degrees niiduk

Kneilmann Postiniiduk

Antud niiduk [6] on samalaadse konstruktsiooniga nagu eelmine seade. Sellel on kolm lõikepead, mistõttu on sellega võimalik niita mõlemalt poolt posti ning saab ühe niitmisega kvaliteetse lõikuse.

Tegemist on patenteeritud postniidukiga. Maksimaalne niitmiskiirus on 4 km/h ning töölaiuseks on 95 cm.



Sele 2.3 Kneilmann postiniiduk

DR 7.25 All terrain Tow behind Mower

Järgnev niiduk [7] on mõeldud kasutamiseks ATV-ga. Ühendatakse ATV külge konksuga ning veetakse seda masina järel. Tegemist on ühe lõikepeaga niidukiga, millel on eraldiseisev mootor. Jõuallikaks on antud niidukil bensiinimootor. Stabiilsuse tagamiseks on lisatud konstruktsioonile kaks ratast, kus ühe tugirattaga on võimalik muuta lõikekõrgust. Niiduki kogukaal on 87 kg ning töölaius on 56 cm.



Sele 2.4 DR 7.25 all terrain tow behind mower

Järgnevas alapeatükis tuuakse välja tabel, kus on kirjas iga niiduki plussid ja miinused.

2.1 Turul olevate niidukite hinnang

Koostatud tabel turu-uuringus välja toodud niidukitest ning välja kirjutatud iga niiduki plussid ja miinused.

Tabel 2.1 Turul olevate seadmete analüüsi tabel

Niiduk	Plussid	Miinused
GreenTec Ri 80 Fox	Lihtne konstruktsioon	Hüdraulilise ajamiga 1 lõikepeaga Raske kaal Masinale taha kinnituv Lõikepea kõrgus
RasterMaster 360 Degrees Mower	Niidab ümber posti Saab paigaldada esi kui taga rippesse	Raske seade Hüdroajamiga
Kneilmann Postiniiduk	3 lõikepead Niidab ümber posti Saab paigaldada esi kui taga rippesse	Raske seade Hüdroajamiga
DR 7.25 All terrain Tow behind Mower	Eraldiseisva jõuallikaga Reguleeritav lõikekõrgus Lihtne konstruktsioon	1 lõikepea Pole väga stabiilne

Turu-uuringu tulemusel selgus, et kõige sobivamaks seadmeks osutus RasterMaster 360, kuna selle seadmega on võimalik niita ühe käiguga, vältides vajadust uuesti läbisõiduks. Siiski tuleb märkida, et antud niiduk on varustatud hüdroajamiga ja selle kogukaal on väga suur, mistõttu see toode ei ole sobiv valik.

2.2 Patendiuuring

Uuringu käigus selgitati välja ka olemasolevaid patenteeritud lahendusi. Selle jaoks kasutati Google Patents ja Eesti Patendiameti andmebaase.

Eesti Patendiametist ei tulnud ühtegi registreeritud patenti.

Google Patents andmebaasist tuli registreeritud patente mitmeid.

Järgnevalt toon välja mõned näited, mida oli sealt võimalik leida.

1. Aastal 2016 esitati patent US9668410B2 [8], meetodile niitmaks muru ümber mingi objekti. Konstruktsiooniliselt on niidukil kaks lõiketera, mis liiguvad ümber objekti ning edasi sõites liiguvad tagasi lähteasendisse.

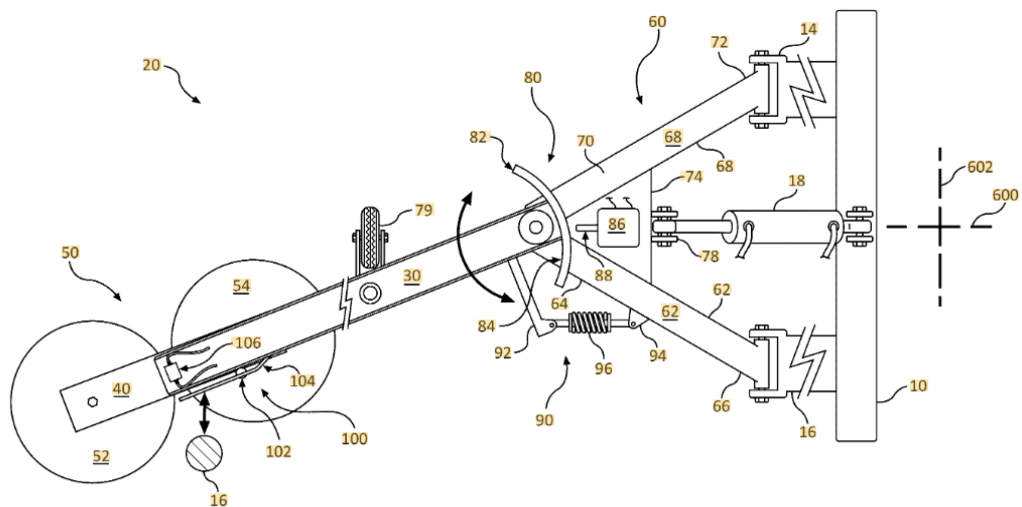
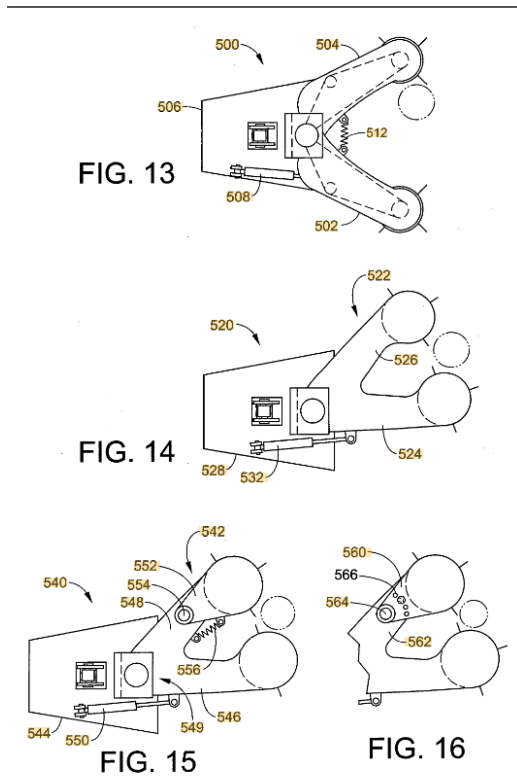


FIG. 3

Sele 2.5 Patendi US9668410B2 niiduki kontseptsioon

2. Aastal 2004 esitati patent US20060026938A1 [9], mis nüüdseks on juba aegunud. Seal patenteeriti samamoodi ära niitmise ümber mingi objekti.



Sele 2.6 Patendi US20060026938A1 niiduki kontseptsioon

Erinevaid patente leidis veelgi, mis olid aia aluse niitmiseks, aga paljud olid juba aegunud. Antud magistr töö raames käsitlevat patenti ei leitud.

2.3 Turu-uuringu kokkuvõte

Turul on lai valik niidukeid kuid paljud neist kasutavad jõuallikana hüdroajamit või jõuvõtuvõlli ajamit. Eraldiseisva jõuallikaga niidukite puhul on turul väike valik. Paljud niidukid turul ka ei vasta kõrguse nõuetele lõikeosale, mis on üks oluline kriteerium. Kõigi seadmete lõikepea kõrgus on kõrgem kui 200 mm.

Patendi uuring näitas, et aastate jooksul on välja töötatud ja patenteeritud mitmesuguseid lahendusi aia aluse heina niitmiseks. Siiski on paljud patendid aegunud.

3. PROJEKTEERIMISE KONTSEPTSIOON

Selle projekti eesmärk on ehitada tõhus niiduk, mis vastab kõigile spetsifikatsioonidele ning vastaks kõikidele ohutusnõuetele ning tekiks ka kasutusmugavus. Niiduk peaks olema kvaliteetselt projekteeritud, et see suudaks vastu pidada intensiivsele kasutamisele. Seade võiks olla piisavalt mobiilne, et selle käsitlemisega saaks hakkama üks inimene.

3.1 Seadme funktsioonistruktuur

Funktsioonistruktuur aitab kaasa sobiva niiduki projekteerimisele. Siin tuuakse välja kõik vajalikud funktsioonid, mis niidukil olema peavad ning analüüsitakse, milline lahendusvariant oleks nende funktsioonide täitmiseks kõige sobivam. Antud struktuur aitab paremini mõista milline oleks kõige sobilikum niiduki disain ning selle funktsionaalsus.

Funktsioonistruktuuri abil on võimalik tuvastada projekteeritava niiduki tugevused ja nõrkused ning teha teadlikke otsuseid seoses disaini ja funktsionaalsusega. See võimaldab keskenduda vajalike funktsioonide optimeerimisele ja võimalike puuduste leidmisele, et lõpptulemusena saavutada sobivaim niiduk, mis vastab kasutaja vajadustele ja nõuetele.

Tabel 3.1 Funktsioonistruktuur

Funktsioon	Kuidas saavutada
Lõikamine	Kuidas lõiketera liikuma pannakse?
Liikumine	Kuidas kinnitada niiduk liikumasinalale?
Jõuallikas	Milline oleks kõige sobilikum jõuallikas?
Lõikemehhanism	Kas kasutada lõikamiseks metall terasid või jõhvi?
Seadme asukoht masinal	Kas niiduk paigaldatakse masinalale ette või taha?
Lõike kõrguse reguleerimine	Kuidas tagatakse niitmise kõrgus?
Pööratav lõikepea	Kuidas saavutada konstantne pööratav lõikepea?

Funktsioonistruktuuri (Tabel 4.1) abil saab ettekujutuse vajaminevatest funktsioonidest, mis seadmel olemas peavad olema.

3.2 Morfoloogiline maatriks

Morfoloogilise maatriksi eesmärgiks on leida erinevaid lahendusi projekteeritava niiduki sõlmede jaoks.

Tabel 3.2 Morfoloogiline maatriks

Nr	Osafunktsioon	Lahendus 1	lahendus 2	Lahendus 3
1	Jõuallikas	Elektriline	Hüdrauliline	Sisepõlemismootor
2	Lõikemehhanism	Lendtera	Jõhv	Hammastega lõikeketas
3	Materjal	Metall	Plastik	
4	Lõikepeade arv	1 lõikepea	2 lõikepead	3 lõikepead
5	Tugiratas	Fikseeritud	Reguleeritav	Tugiratas puudub
6	Lõiketerade pöörlamine	Rihmaajamiga	Eraldi mootoriga	Kettajamiga
7	Pööratava lõikepea	Pneumosilindriga	Hüdrosilindriga	Pöördmootor
8	Hooldus	Võllide määrdeniplid	Hooldusvabad liigendid	Määrimine remondi käigus

Morfoloogilises maatriksis (Tabel 4.2) on välja toodud erinevad osafunktsioonid ning igale osafunktsioonile on leitud kolm lahendusvarianti. Järgmises peatükis keskendutakse peamiste funktsioonide lahendusvariantide hinnangule, leidmaks kõige sobivamat.

3.3 Lahendusvariantide hinnang

Antud peatükis analüüsitakse morfoloogilises maatriksis (Tabel 4.2) välja toodud lahendusvariante ning leitakse osadele funktsioonidele kõige sobivam lahendus.

Jõuallikas

Peatükis 4.2 morfoloogilises maatriksis on välja toodud erinevad lahendusvariandid jõuallika jaoks. Kuna antud seade projekteeritakse võimalikult väikseks ning mida oleks võimalik kinnitada erinevate liikuvmasinate külge, siis koostatakse tabel jõuallikate hindamiseks.

Tabel 3.3 Jõuallika lahendusvariantide hinnang

Nr	Parameeter	Kaal [1-5]	Elektriline	Hüdraulilise ajamiga	Sisepõlemismootor

			H	K	H	K	H	K
1	Kaal	5	5	25	4	20	4	20
2	Võimsus	4	4	16	5	20	5	20
3	Lihtsus	4	5	20	3	12	4	16
4	Hind	5	3	15	3	15	4	20
5	Lisaseadmete vajadus	3	3	9	3	9	4	12
6	Keskkonna sõbralikkus	4	5	20	4	16	2	8
7	Kasutumugavus	3	4	12	4	12	3	9
Koguhinne				117		104		105

Tabeli (Tabel 4.3) põhjal selgus, et elektriline jõuallikas on parim valik. Kõikidel jõuallikatel on omad plussid ja miinused ning elektriline jõuallikas eristus teistest just oma lihtsuse ja kergekaalulisuse poolest.

Hüdraulilise ajamiga jõuallika tekib vajadus vedada hüdraulilisi voolikuid, mis võib mõjutada niiduki üldkõrgust ja ületada lõikeosa maksimaalset kõrgust 200 mm. Samuti tuleks, kui kasutatakse ainult ühte jõuallikat, projekteerida ka rihmaajam niidukile, mis omakorda tõstab hoolduskulusid.

Sisepõlemismootori suureks plussiks on tema võimsus ja hind. Võrreldes teiste jõuallikate valikutega, on sisepõlemismootori hind peaaegu kaks korda väiksem, samas võimsus võib olla kohati kaks korda suurem. Siiski on selle jõuallika suuruse ja kaalu tõttu märkimisväärsed miinused. Samuti tekitab sisepõlemismootor kasutusmugavuse osas probleeme, kuna seda tuleb regulaarselt bensiiniga tankida. Kui niiduk kavatakse kinnitada liikuvmasina ette, siis tekib probleem heitgaasidega, mida tuleks kuidagi kõrvale juhtida. See teeb konstruktsiooni oluliselt keerulisemaks.

Kokkuvõttes tuleb jõuallika valikul arvestada nende plusside ja miinustega ning leida kompromiss vastavalt konkreetsetele vajadustele ja eelistustele. Elektriline jõuallikas võib olla hea valik, arvestades oma lihtsust ja kergekaalulisust.

Lõikemehhanism

Samuti on tähtis valida õige lõikemehhanism, mis oleks piisavalt lihtne ning soovitatavalt võiks olla ostutoode. Peatükis 4.2 morfoloogilise maatriksi tabelis välja toodud lahendusvariandid hinnati eraldi tabelis (Tabel 4.4).

Tabel 3.4 Lõikemehhanismi lahendusvariantide hinnang

Nr	Parameeter	Kaal [1-5]	Lendtera		Jõhv		Rohuketas	
			H	K	H	K	H	K
1	Kaal	5	4	20	5	25	3	15
2	Hoolduskulud	5	4	20	5	25	3	15
3	Remontimise lihtsus	5	5	25	4	20	5	25
4	Hind	5	4	20	5	25	3	15
5	Lõikuse efektiivsus	3	5	15	3	9	5	15
6	Konstruktiooni lihtsus	4	4	16	3	12	4	16
7	Vastupidavus	5	4	20	2	10	5	25
8	Kasutumugavus	3	4	12	3	9	4	12
Koguhinne				148		135		138

Tabeli (Tabel 4.4) tulemuste põhjal osutusid lendterad kõige sobivamaks valikuks. Lendterade eelised hõlmavad remontimise lihtsust, kergekaalulisust ja madalamat hinda. Turul on lai valik erinevaid lendterasid, mistõttu on võimalik kiiresti osta uued lendterad, kui neid peaks vaja minema.

Jõhvi suureks miinuseks on kiire lagunemine. Jõhv pole nii suure vastupidavusega kui lendterad või hammastega lõikeketas. Selletõttu tuleks jõhvi pidevalt vahetada ning see viiks kulud kõrgeks. Jõhvi mugavamaks kasutamiseks peab paigaldama spetsiaalsed jõhvi adapterid või siis trimmeripead. Need on väga kulukad ning kui niidukile projekteerida rohkem kui 1 lõikepea, viiks see niiduki omahinna kõrgeks.

Viimane variant on rohuketas. Rohuketta puhul on samuti remontimise lihtsus ja vastupidavus plussid. Küll aga rohuketta hind on kõrge võrreldes lendteradega.

Lõikepeade arv

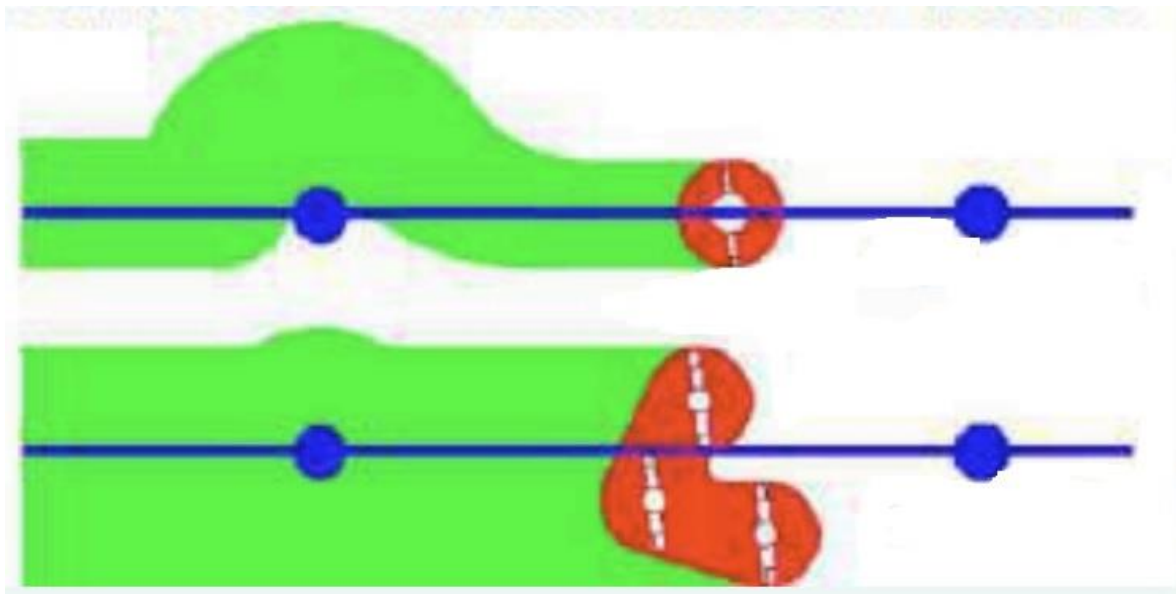
Projekteeritav niiduk tuleb ümber posti niiduk, et lahendusvariant peaks olema siis rohkem kui 1 lõikepeaga. Järgnevalt sai koostatud hindamise tabel (Tabel 4.5) valimaks õiget konstruktsioonilist lahendust.

Tabel 3.5 Lõikepea lahendusvariantide hinnang

Nr	Parameeter	Kaal [1-5]	1 lõikepea		2 lõikepead		3 lõikepead	
			H	K	H	K	H	K
1	Kaal	5	5	25	4	20	3	15

2	Hooldus	5	4	20	4	20	4	20
3	Remontimise lihtsus	5	5	25	4	20	4	20
4	Hind	5	5	25	4	20	3	15
5	Lõikuse efektiivsus	3	2	6	4	12	5	15
6	Konstruksiooni lihtsus	4	4	16	3	12	3	12
7	Kestvus	3	3	9	2	6	4	12
8	Niitmise kvaliteet	4	2	8	4	16	5	20
9	Lõikuse kiirus	5	3	15	4	20	5	25
10	Kasutumugavus	4	4	16	4	16	4	16
Koguhinne				165		162		170

Kõik tulemused (Tabel 4.5) tulid üksteisele üsnagi lähedale ehk lõikepeade arv sõltub puhtalt sellest, millist konstruktsiooni eelistatakse. Küll aga ühel lõikepeal on omad miinused, mis on toodud välja seel 3.1 (Sele 3.1). Ühe lõikepeaga tuleks teha mitu niitmise ringi ümber aia, mis viiks ajakulu suuremaks ning selletõttu ka kulukamaks.

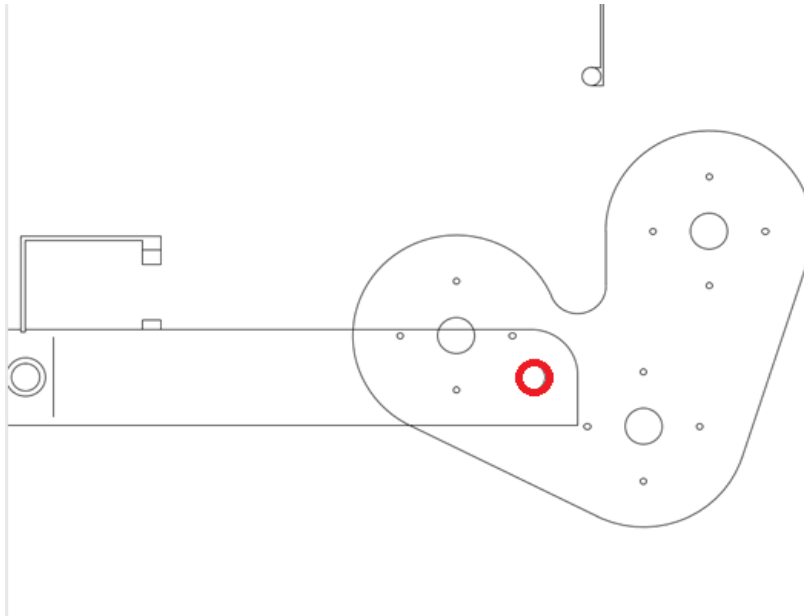


Sele 3.1 Lõikepeade niitmise illustratsioon

Eelneval illustratiivsel seel (Sele 3.1) välja toodud variandina ühe lõikepea puhul jääb lõikamata hein teiselpool aeda ning ümber posti jääks lõikekvaliteet halb. Üheks kriteeriumiks aga niiduki puhul oli, et saaks niita kiirelt ning kvaliteetselt.

Pööratava lõikeosaga niiduk

Eelmises alapunktis sai välja toodud, et niiduk projekteeritakse mitme lõikepeaga, ehk siis tuleb saavutada pööratava lõikepeaga niiduk, mis suudaks ümber posti ennast keerata ning pärast uuesti saavutada algasend tagasi.



Sele 3.2 Pööratava lõikepea pöördtelg märgitud punasega

Tabel 3.6 Pörlemise lahenduste hinnang

Nr	Parameeter	Kaal [1-5]	Pneumaatiline silinder		Hüdrosilinder		Pöördmootor	
			H	K	H	K	H	K
1	Kaal	5	5	25	4	20	3	15
2	Hooldus	3	4	12	4	12	4	12
3	Remontimise lihtsus	4	4	16	4	16	3	12
4	Soodne hind	5	5	25	4	20	3	15
5	Efektiivsus	4	4	16	5	20	5	20
6	Töökindlus	4	4	16	4	16	3	12
7	Lisaseadmete vajadus	5	3	15	3	15	2	10
8	Kasutumugavus	4	4	16	4	16	4	16
Koguhinne				141		135		112

Eelnevast tabelis (Tabel 4.6) sai hinnatud võimalikult sobivat lahendust niiduki pööratavuse saavutamiseks. Kaks lahendust said tulemused üsna lähestikku aga kuna

projekteeritav seade soovitakse saada eraldi jõuallikaga ning niiduk ise võimalikult kompaktne, siis hüdrosilindri jaoks läheks vaja eraldi hürdopumpa ning eraldi hüdroreservuaari.

Niiduki paiknemine masinal

Seadet saab kinnitada liikumasinale kas ette või taha. Ette kinnituv seade võimaldab operaatoril töötamise ajal seda lihtsamini jälgida ja kontrollida, mis on oluline juhuks, kui peaks juhtuma mingeid probleeme või ohtlikke olukordi. Taha paigutades peab operaator aga pidevalt üle õla vaatama, et kontrollida niiduki käitumist.

Kuna projekteeritaval niidukil on eraldi jõuallikas, ei ole sellel olulist tähtsust, kus asub liikumasina jõuallikas, kuna niidukit ei ühendata liikumasina jõuallikaga. See annab rohkem paindlikkust ja võimalust valida sobivaim paigutus, sõltuvalt töötingimustest ja eelistustest.

Tabel 3.7 Seadme asukoha hinnang

Seadme asukoht masina küljes	Plussid	Miinused
Ette kinnituv niiduk	Masina juhi ülevaade niidukist Parem kaalujaotus	Lisab masinale ette uue seadme mistõttu võib juht masina gabariite valesti hinnata
Taha kinnituv niiduk	Ei oleks eespoole kinnituvat seadet, mis võiks segada juhi vaatevälja	Halvem kaalujaotus Masina juht peaks pidevalt ennast pöörama

Eelnevas tabelis (Tabel 4.7) anti hinnang projekteeritava niiduki paiknemine

liikuvmasina suhtes. Eelkõige tuleks lähtuda kasutumugavusest, siis valmistatav niiduk paigutatakse liikuvmasina ette.

3.4 Projekteerimise kontseptsiooni kokkuvõte

Antud peatükis 3 sai välja mõeldud erinevaid variante niiduki ehituse jaoks. Välja sai valitud sobivad lahendusvariandid ning vastavalt sellele hakatud projekteerima sobivat niidukit. Funktsioonidele sai välja mõeldud mitmeid lahendusvariante ning sellest sõltuvalt hinnati neid.

4. NIIDUKI PROJEKTEERIMINE

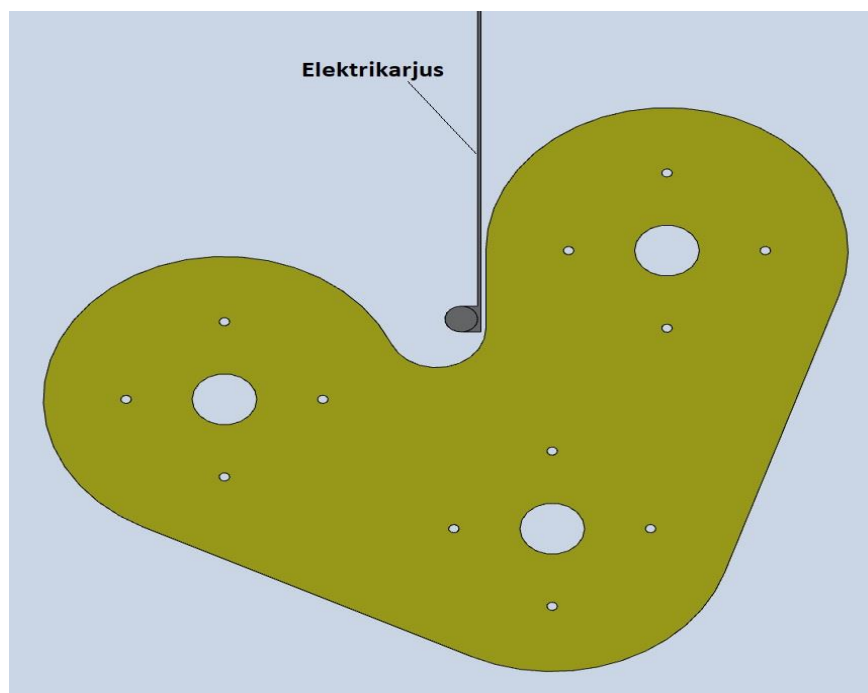
Projekteerimise kontseptsiooni peatükis (Peatükk 3) sai hinnatud erinevaid lahendusi ning leitud sobivad funktsionaalsed lahendused niidukile. Antud peatükis keskendutakse kogu konstruktsioonile ning pannakse paika vajalikud sõlmpunktid. Teostatakse vajadusel arvutuslikud kontrollimised.

4.1 Niiduki konstruktsioon

Projekteerimist alustatakse niiduki lõikepeadele mõeldud plaadi disainimisest. Soovitud eesmärk oleks, et sinna plaadile mahuks ära kolm lõikepead ning geomeetriline kuju oleks vastuvuses seatud eesmärkidele. Eesmärkideks sai seatud, et niiduk suudaks pöörata ümber posti niitmise ajal, et oleks tagatud kvaliteetne niitmine. Kolme lõikepea valik tulenes Tabel 4.5 hindamis tulemusest.

Plaadi paksuseks valiti 3 mm lehtmaterjal. Materjaliks sai valitud S355 EN 10204/2,2. Materjali paksuse valikust lähtuti, et lõikeosa tuleks võimalikult kerge. Enamus muruniidukeid kasutavad kaitseplekkidena õhukesest materjalist lehtmaterjali.

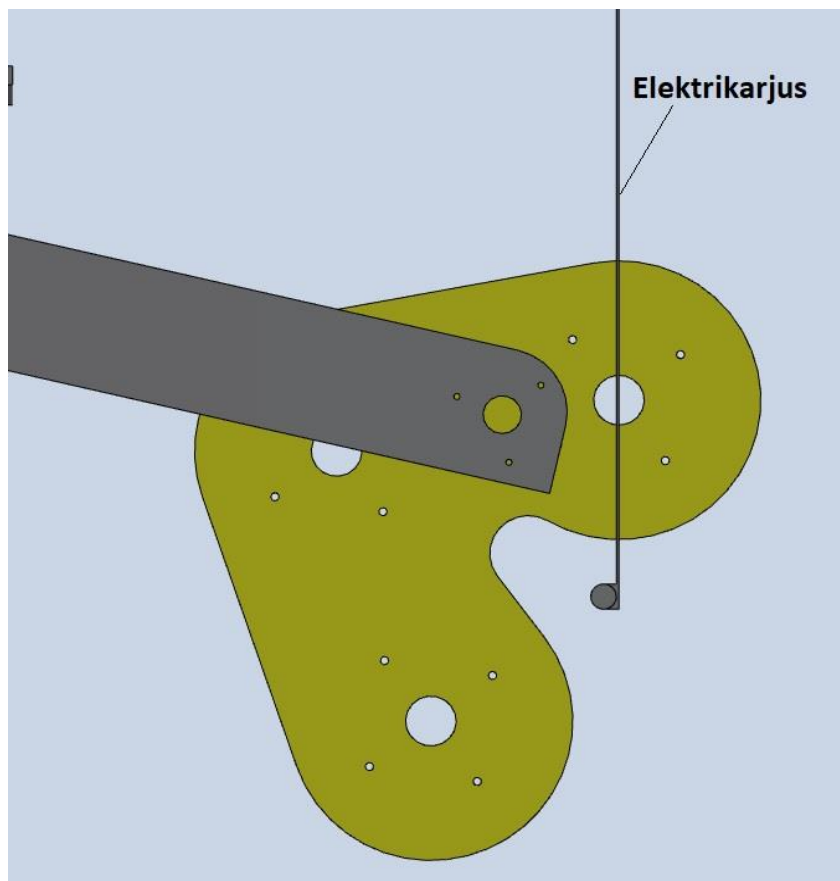
Lõikepeade laiuse diameetrikis uuriti turul olevaid lõikekettaid ning muid lahendusi. Sobivaks ühe lõikepea diameetrikis võeti 215 mm. Kogu tööala suuruseks kujunes 491 mm.



Sele 4.1 Niiduki lõikepeade plaadi kuju-algasend

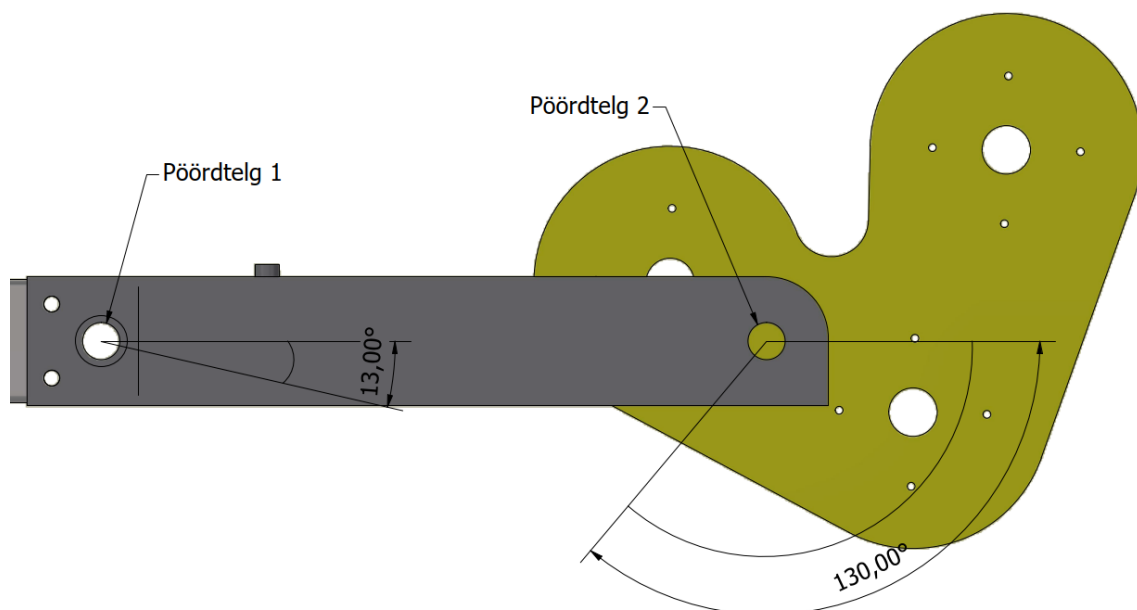
Eelnevalt lisatud seel (Sele 4.1) on näidatud niiduki lõikeosa kuju. Üks lõikepea liigub ühel pool elektrikarjust ning üks lõikepea on teise pool aeda. Niimoodi on võimalik saada ühe liikumisega niitmine mõlemal pool aeda ning ei teki vajadust mitu korda läbida.

Niidukil on pööratav lõikeosa, mille tagajärjel suudab niiduk liikuda ümber posti, ilma et peaks masina juht vahepeal manuaalselt niidukit liigutama.



Sele 4.2 Niiduki lõikepeade plaadi kuju- ümber posti liikumine

Kõik vajalikud pöördepunktid ning maksimaalsed nurgad said leitud katsetamise teel, kasutades selleks Inventori 2023 dynamic simulation moodulit.



Sele 4.3 Konstruktsiooni pöördteiljed

Selel 4.3 on näidatud konstruktsiooni pöördtelgede asukohad koos nurga kraadidega. Antud kraadid on kraadide vahemik, kus pöördtelg 1 ja pöördtelg 2 on pööratavad.

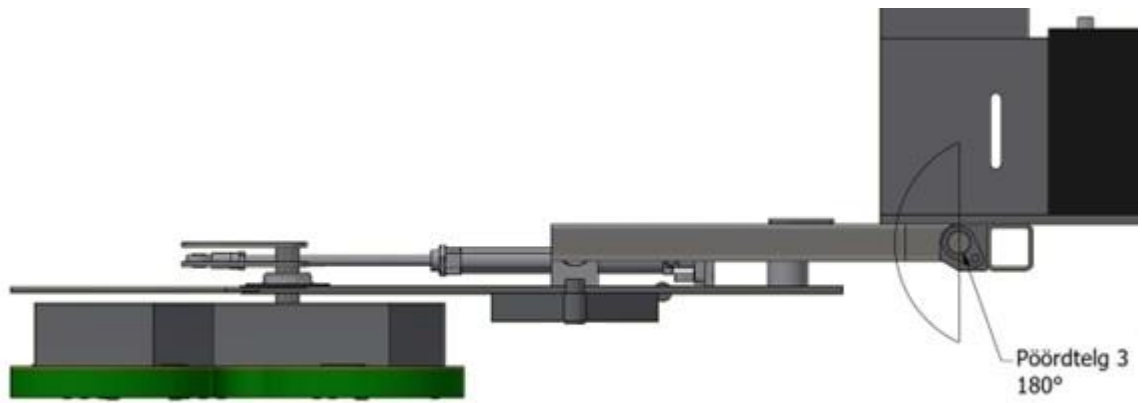
Pöördtelje 1 maksimaalne nurgakraad on 13 kraadi ning pöördtelje 2 maksimaalne nurgakraad on 130 kraadi. Mõlema algasend on 90 kraadi kinnitusplaadist, mis asetseb masina küljes.

Pöördtelje 1 vajalikkus tulenes sellest, et oleks võimalik niita ümber posti. Pöördtelg 2 projekteeriti, et oleks võimalik leevendada postist eemaldumist. Eesmärgiks oli, et saaks ühe läbisõiduga niidetud mõlemalt poolt elektrikarjust.

Kõikide pöördtelgede jaoks on keevitatud takistus plaadid, mis piirab pöördtelgede kraadid täpselt lubatud piiridesse.

Antud pöördteljed leevendavad jõu tekkimist posti pihta ning võimaldavad niiduki lõikeosal liikuda ümber posti.

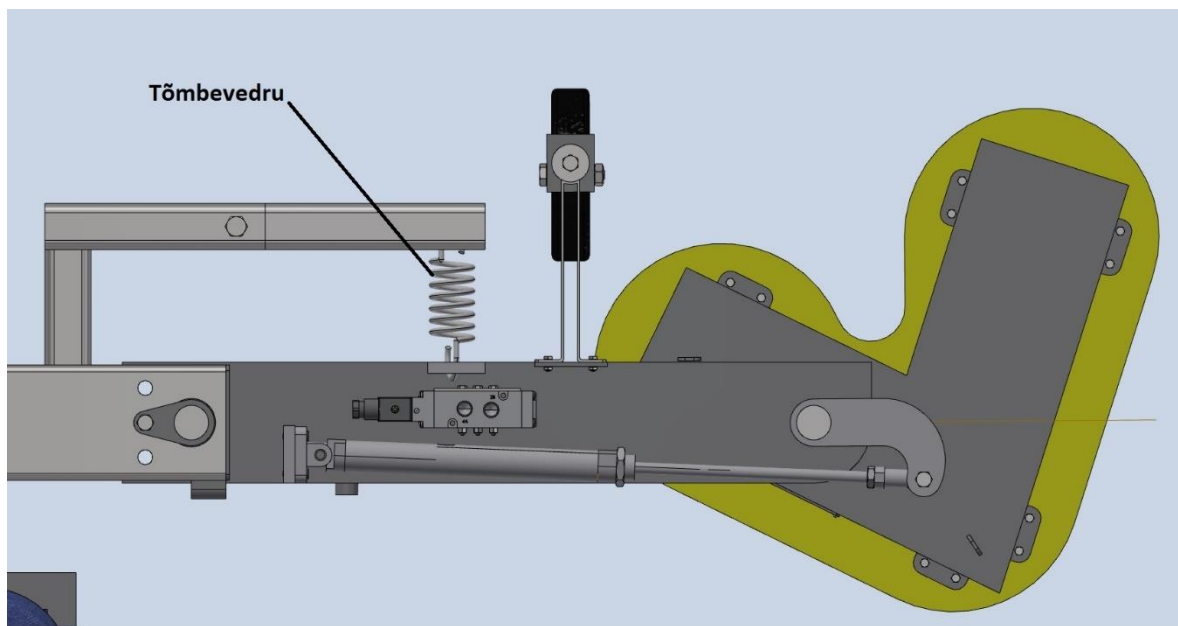
Kui kinnitada niiduk jäigalt liikuvmasina külge, tekib olukord kus masin sõidab lohku või väiksesse mäkke, siis niiduki lõikusekõrgus kõigub koos liikuvmasinaga. Selle vältimiseks tuli välja mõelda lahendus (Sele 4.4). Lahendus variandiks oli kolmas pöördtelg, mis oleks sõltumatu liikuvmasina liikumisest.



Sele 4.4 Pöördtelg 3 maapinna reljeefi jaoks

Pöördtelje 3 liikumis vabadus on 180 kraadi.

Niidukile on lisatud tõmbevedru [10], mis hoiab lõikeosa sirgena postide vahelises alal.

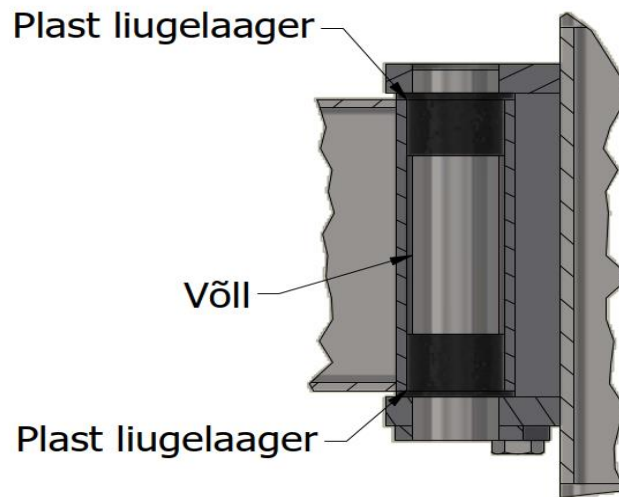


Sele 4.5 Tõmbevedru

Tõmbevedru (Sele 4.5) jäikuseks on valitud 10 N/mm kohta. See tulemus on saadud katsetamise teel kasutades Inventor dynamic simulation moodulit.

4.1.1 Pöördteljed

Pöördtelgedeks on kasutatud erinevaid ümartoru materjale. Hõõrdumise vähendamise jaoks on paigaldatud ka plastik liugelaagrid [11].



Sele 4.6 Pöördtelg 3

Eelneval seel (Sele 4.6) on näidatud pöördtelje konstruktsioonilist lahendust. Kasutusele võeti äärikuga plastik liugelaager, mõõtmetega 25/28 mm. Plastiklaagrite tolerantsid on H7/h9. Laagri üldpikkus on 21,5 mm. Valituks said need, sest need on hooldusvabad ning ei ole vajadust paigaldada torupuksidele määrdeniipleid.

Laagritega konstruktsiooni eelis on see, et hõõrdetegur on väiksem, sest hõõrdumine tekib ainult liugelaagri ja võlli vahel.

Kuullaagreid ei paigaldatud, sest niitmisel tekib palju tolmu ja muud puru, mis vähendavad kuullaagri eluiga.

Hinna poolest olid plastiklaagrid kõige soodsamad, võrreldes kuullaagrite või pronks liugelaagritega. Kontrollimaks, et plastiklaager on sobiv, sooritatakse tugevusarvutus.

Koormus liugelaagritele (1):

$$p = F_{võll}/A, \quad (1)$$

kus $F_{võll}$ - Koormus võllile, 235 N;

A - Laagri pind, 537,5 mm².

Leitakse koormus liugelaagritele (1):

$$p = \frac{235}{537,5} = 0,43 \frac{N}{mm^2}$$

Vastavalt arvutusele, on koormus liugelaagritele 0,43 N/mm².

Tehase andmete järgi on liugelaagri maksimaalne koormus 80 MPa ehk liugelaagrid on valitud piisava tugevusega. Temperatuuri tõustes küll laagri maksimaalne lubatud koormus väheneb, aga temperatuuril +130 kraadi on laagri lubatud koormus 35 MPa, mis on piisav.

4.2 Lõiketerad

Lõiketeradeks sai valitud lendterad [12]. Need on piisavalt tugevad, et suudavad läbi lõigata ka raskemast heinast ning piisavalt vastupidavad, et ei peaks neid vahetama pärast igat niitmist. Lendterad on ka üsna hooldusvabad aga kui peaks tekkima olukord, kus terad on nürid, on neid võimalik uuesti teritada. Terade valikut hinnati tabelis 4.4.

Valituks said ostutooted, mis sobivad robotmuruniidukitele. Eelkõige olid nad sobilikud, sest need olid kohe e-poodide laos olemas ning soodne hind.



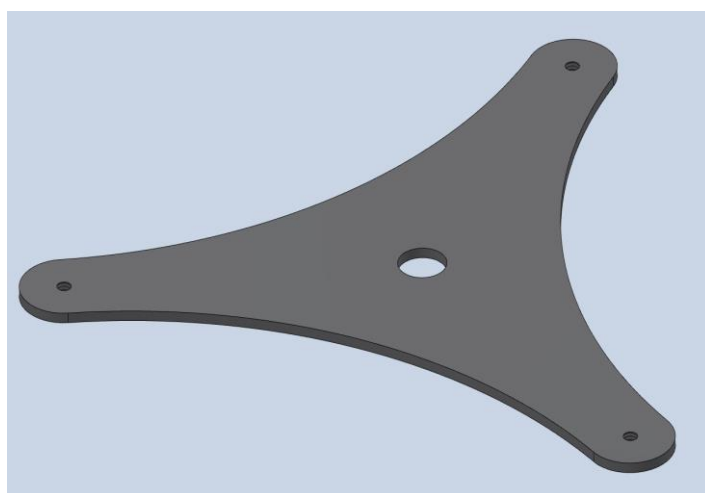
Sele 4.7 lendterad

Komplektis müüakse 9 tera koos kinnituskruvidega ning nende hinnaks on 19,90 eurot. Võimalik on tellida sellist komplekti ka välismaalt, kus tuleks soodsam hind. 9 tera on

täpselt sobilik kuna niidukile tuleb 3 lõikepead, mis tähendab, et igale lõikepeale saab kinnitada 3 tera.

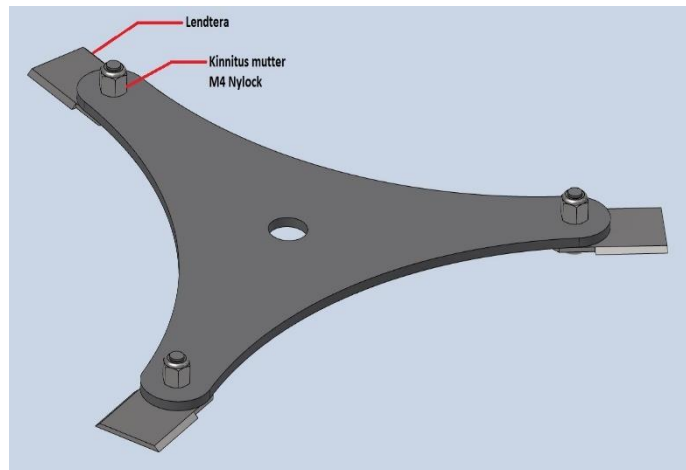
Antud terad sobivad oma massi poolest ning nad on vastupidavamad kui plastik lendterad. Kerge kaal tuleb kasuks selle puhul, et võimaldab valida väiksema jõuga mootorit, mis lõikepeasid ringi ajab. Koos kinnituspoldiga on tera kogukaaluks 7 g. Gabariit mõõtmeteks on 35x21x1,5 mm. Tera kinnitub plaadi külge M4 poldiga. Antud poldid tulevad komplektis kaasa lendteradega.

Terahoidjaks sai projekteeritud sellise geomeetriaga plaat, et mass oleks võimalikult kerge. Kasutatud sai selleks 2 mm plaati. Materjaliks S235JR.



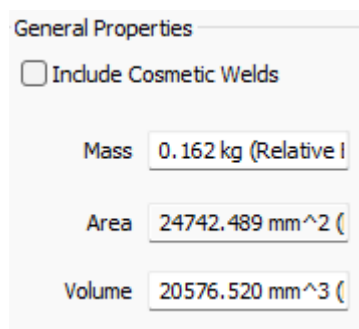
Sele 4.8 Lendterade hoidjaplaat

Kahe millimeetrine lehtmetsall plaat on liiga õhuke, et avades kasutada keeret ning seetõttu tuleks lendterade kinnitusavade puhul keevitada ülemisele poole M4 mutrid (Sele 4.9). Mutriteks valiti M4 Nylock mutrid, millel on spetsiaalne kinnitusmehhanism, et polt ei tuleks töötamise ajal vibratsiooni tõttu ise lahti.



Sele 4.9 Lendterade kinnitus

Mootori jõuvõlli ühenduse jaoks sai lisatud ka tugevdus puks. Siis ei jääks mootori ja plaadi ühenduseks ainult 2 mm plaat, mistõttu oleks purunemise oht suurem. Puksi välimine diameeter on 21 mm, millel on 2 mm seinapaksus.



Sele 4.10 Lõikekera kaal programmist Inventor 2023

Kogu lõikeketta kaaluks tuli 162 g (Sele 4.10). Selle kaaluga saab arvutada välja vajaliku võimsusega mootori niidukile.

4.3 Jõuallikas

Niiduki jõuallikaks sai valitud elektrimootor. Eelistatud on harjavaba mootor [13]. Harjavaba mootor on hooldevabam ning suurema efektiivsusega kui harjadega elektrimootor. Harjadega elektrimootoril kuluvad harjad kiirelt läbi.

Et teada saada kui võimast mootorit oleks vaja, tuli teha vajalikud arvutused.

Maksimaalne pöörete arv on 3000 pööret minutis igal lõiketeral. Ühe lõiketera kaal on 162 g (Sele 4.10). Heina lõikamiseks kuluv jõud on 10 N [14].

Eialgu sai arvatud vajalik maksimaalne väände väärtus, mis on vajalik lõiketeraga niitmiseks.

Maksimaalne vääne kettaga lõikamiseks τ (2):

$$\tau = F \times r, \quad (2)$$

kus τ - vääne, Nm;

F - Jõud, mis on vajalik muru lõikamiseks, 10 N;

r - lõikeketta raadius, 0,1075 m.

Peatükis 4.1 välja toodud lõikepea diameetriks on 215 mm. Raadius tuleneb diameeter jagatud kahega.

$$r = \frac{d}{2} = \frac{215}{2} = 107,5 \text{ mm ehk } 0,1075 \text{ m,}$$

$$\tau = 10 \text{ (N)} \times 0,1075 \text{ (m)} = 1,075 \text{ Nm,}$$

Vajalik vääne lõikeketta jaoks on 1,075 Nm.

Kuna niidukil on 3 lõikeketast, tuleb kogu väände leidmiseks 1,075 Nm korrutada kolmega.

$$\tau = 1,075 \text{ Nm} \times 3 = 3,22 \text{ Nm.}$$

Nüüd saab arvutada ka vajaliku võimsuse, mida on mootorile vaja.

Seda arvutatakse järgneva valemiga(3):

$$P = \tau \times \omega, \quad (3)$$

kus P - võimsus, W;

ω - nurksagedus, rad/s;

τ - Väändemoment, 3,22 Nm.

Eialgu peame teisendama 3000 pööret minutis radiaan sekundiks:

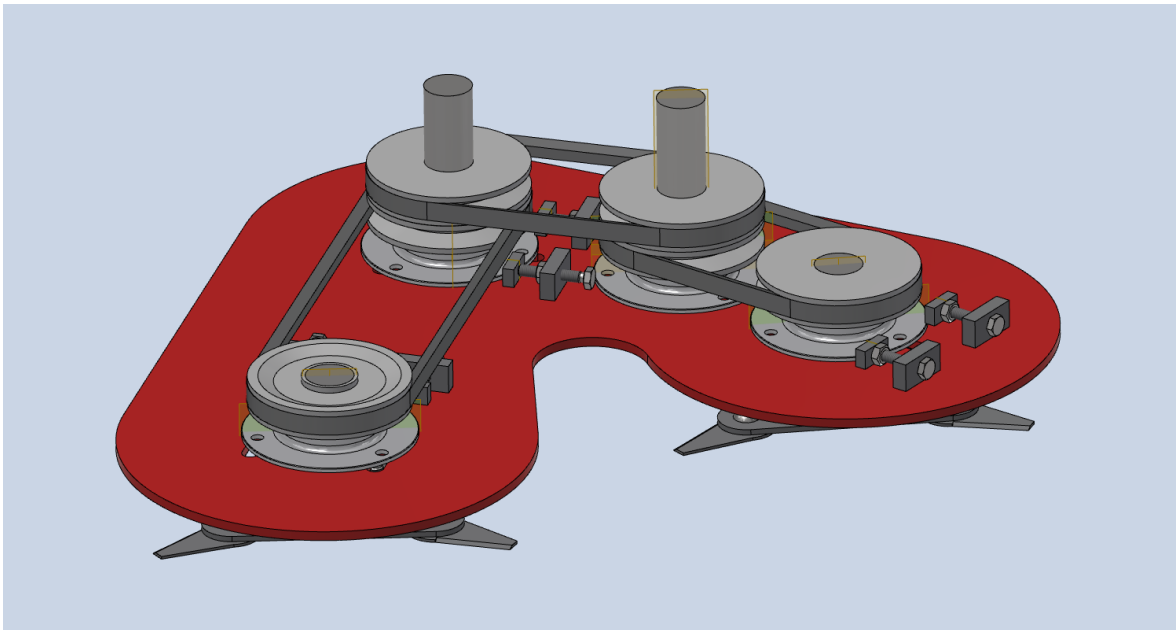
$$\omega = 3000 \times \frac{2\pi}{60} = 314,16 \text{ rad/s,}$$

Viimasena saame arvutada välja vajaliku võimsuse (3):

$$P (W) = 3,22 \text{ (Nm)} \times 314,16 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) = 1011 \text{ W},$$

Vajalik mootor peab olema minimaalselt 1011 W ning suutma väljastada 3,22 Nm väänet.

Kui paigaldada ainult 1 mootor kolme lõikepea jaoks, tuleks jõu ülekanded projekteerida rihmajamitega. Esialgne variant sai tehtud selline nagu on näidatud seel 4.11.



Sele 4.11 Esialgne kavand rihmajamitele ja mootori jõu ülekande süsteem

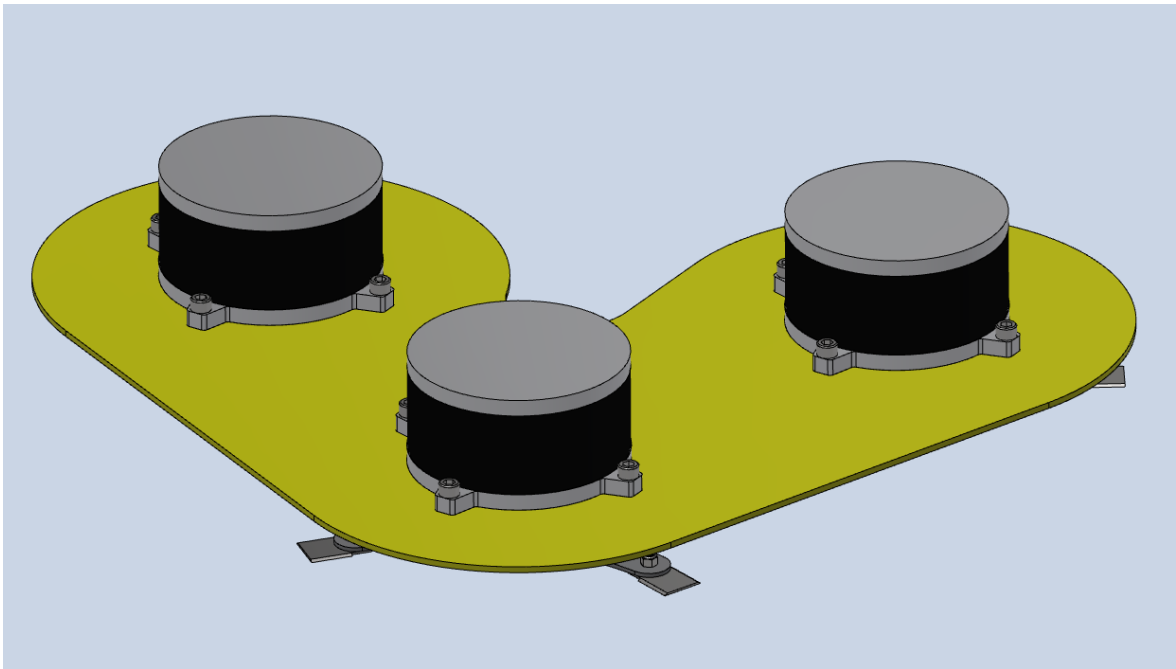
Kuna esialgsel variandil oleks tulnud 4 rihmaülekannet, alates mootorist kuni viimase lõikepeani, tuleks juurde arvestada ka rihmülekandest kaotatud jõukadu.

Selliste parameetritega otsingutel leidis mootor, millel oli võimsus 1 kw ning 3000 pööret minutis. Küll aga oli antud mootori hinnaks 700 eurot, mis oleks viinud niiduki omahinna liiga kõrgeks ehk tuli välja mõelda muu lahendus. Samuti oleks tekkinud ühe mootoriga rihmaajamite lahendusel probleem niiduki lõikeosa kõrgusega, ehk piir 200 mm oleks ületatud ning aia madalaima elektritraadi alt ei oleks võimalik olnud niita.

Teise lahendusena otsiti eraldi mootoreid igale lõikepeale (Sele 4.12). Tuleb sooritada ka uus arvutus, mis võimsusega mootorit oleks vaja 1,07 Nm väände puhul, kasutades valemit (3).

$$P (W) = 1,07 \text{ (Nm)} \times 314,16 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = 336 \text{ W}.$$

Eraldi valitavate mootori sobivateks parameetriteks oleks minimaalselt 336 W ning 1,075 Nm väänet. Sobivad mootorid leiti võimsusega 350 W, millel tehase andmete põhjal on väänet 1,1 Nm. Mootori mudeli nimetus on BN100L350.300.001 [15]. Nende parameetrite järgi on need sobivad. Mootorite maksumus välismaalt tellides oleks 35 eurot mootori eest, ehk kogukulu mootorite peale oleks 105 eurot.



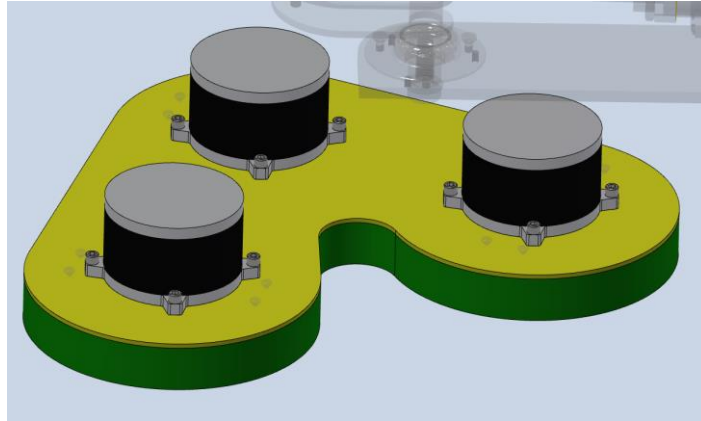
Sele 4.12 Mootorite paigustus ja suurus

Mootorite gabariit mõõtmed on 50 x 105 mm, mis on sobilikud arvestades, et tingimuseks oli, et niiduk peaks olema väiksemõõduline ning kerge.

Mootori täpsed parameetrid:

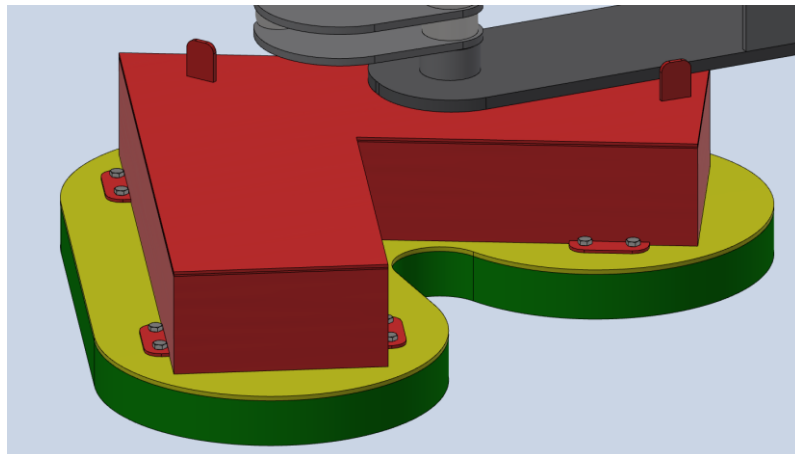
- Võimsus: 350 W
- Vääne: 1,1 Nm
- Voolupinge: 36 V
- Kiirus: 3000 rpm
- Voolutarve: 11,5 A
- Mootori efektiivsus: 85%

Mootorid kinnitatakse 3 mm plaadi külge M6 sisekuuskant poldidega. M6 poldid said valitud kuna mootori kinnitusavad on D 6.5 mm.



Sele 4.13 Niiduki lõikuri konstruktsioon

Mootorite kaitseks projekteeritakse nende ümber lehtmetailist ümbris ning peale tuleb kaas. Kõik valmistatakse 2 mm lehtmaterjalist. Kaitseraam kinnitatakse polt liitega ning selle jaoks kasutatakse M5 polte [16]. Järgnevalt tehakse kontroll arvutus, et kindel olla M5 poltide tugevuses.



Sele 4.14 Kaitseplekk mootoritele

Niiduki lõikuri kogumass (4):

$$m_L = m_1 + m_2 + m_3 + m_4, \quad (4)$$

kus m_1 – lõiketerade kogumass, 3 x 0,162 kg ;

m_2 –lehtmetail 3 mm, 3 kg;

m_3 –kaitseäär, lehtmetsall 2 mm, 0,7 kg;

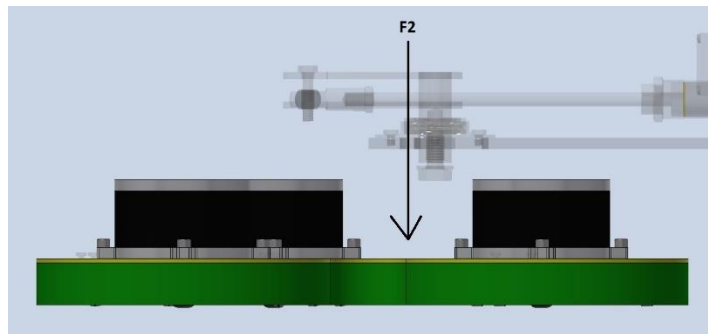
m_4 –mootorite mass, 3 x 1,2 kg;

Leiame lõikuri kogumassi (4):

$$m_L = 0,486 \text{ kg} + 3 \text{ kg} + 0,7 \text{ kg} + 3,6 \text{ kg} = 7,19 \text{ kg},$$

7,19 kg teisendame N, saame 70,5 N.

$$F_2 = 70,5 \text{ N}$$



Sele 4.15 M5 poldi arvutuse skeem

Leiame koormuse poldi kohta:

$$F_{polt} = \frac{70,5}{12} = 5,87 \text{ N},$$

Järgmiseks leiame poldile mõjuva tõmbetugevuse:

$$\sigma_t = \frac{5,87}{19,63 \times 4} = 74 \text{ MPa},$$

kus A – Poldi pindala, 19,63 mm²;

σ_s – Ohutustegur, 4;

F_{polt} – Poldile mõjuv koormus, 5,87 N.

Leitud sai, et ühele poldile mõjub koormus 74 MPa. See on sobiv, sest M5 poldi klassiga 8.8 voolavuspiir on 640 MPa. Arvutuste kohaselt võib seal kasutada isegi väiksemaid polte.

Kaanele tehakse ava, kus läbi hakkavad jooksva elektrijuhtmed mootorite jaoks. Mootorikontrollerid [17] paigaldatakse masina raami külge, akule ligemale.

Kontrolleritega on võimalik kontrollida mootori pöörete kiirust. Igale mootorile on vaja eraldi kontrollerit ning juhtpaneelile paigaldatakse ka eraldi nupud iga kontrolleri jaoks. Niimoodi saab masina juht igat mootorit eraldi kontrollida ning määrata sobiv löikekiirus.

Kontrolleriteks sai valitud Tdpro YK31C. Nende hinnaks kujunes 25 eurot tükk ehk kokku 75 eurot.

4.3.1 Aku valik elektrimootorile

Aku valik sõltub mootori võimsusest ning kui kaua on soov muru niita. Arvestuslikult on umbes 4 kilomeetri jagu elektrikarjust. Niitmiskiiruseks on arvestatud 3-4 km/h. Iga posti juures tuleb liikumine peagu seisata ehk keskmiseks kiiruseks tulenevalt määrame 2 km/h. 4 kilomeetrise elektriaia aluse heina niitmiseks kuluks seetõttu 2 tundi. Arvestame, et kõik need 2 tundi töötavad mootorid täisvõimsusel.

Akumahutavus (Ah) leiti järgmise arvutuse teel (5):

$$Ah = \frac{P \times t}{V \times \eta}, \quad (5)$$

kus P - Mootori võimsus, W;

t - Maksimaalne aeg mootorite kasutuseks, h;

V - Voolupinge mootoris, V;

η - Mootori efektiivsus, %.

Vajalik aku mahutavus vastavalt valemile (5) on :

$$Ah = \frac{3 \times 350 \times 2}{36 \times 0,85} = 68 Ah,$$

Arvutuste teel saadi tulemuseks, et vajalik akumahutavus peaks olema minimaalselt 68 Ah, et mootorid saaksid täisvõimsusel tööd teha 2 tundi.

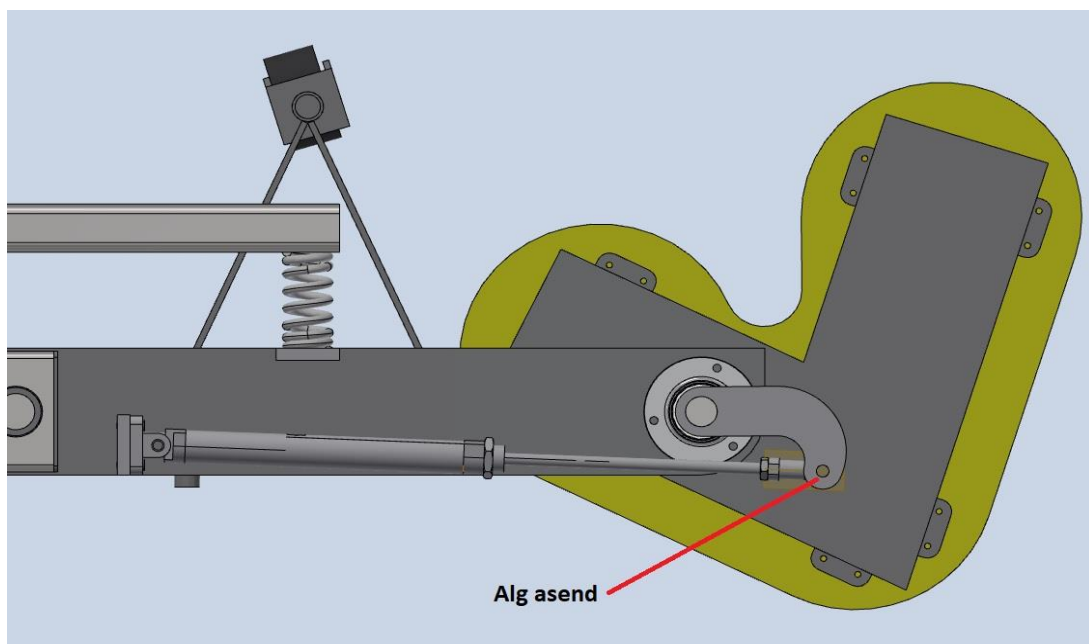
Otsingu parameetrid aku valikul on 36 V ja mahutavuselt 68 Ah. 36 V valiti kuna mootorid vajavad 36 V pinget. Sobiv aku leiti hinnaga 1220 eurot [18]. Antud parameetritega akud on väga kallid hinnaga ehk kõige hinnalisem osa antud niiduki puhul tuleb aku ostust. Valitud aku tüüp on Lithium iron phosphate . Sellel on pikem eluiga ja suurem laadimistsükli arv võrreldes teiste liitium akudega.

Odavam tuleks kui paigutada jadaühendusse kolm 12 V akut, aga kuna nõutav mahutavus akul on 68 Ah, siis sellised akud on mõõtudelt suured. See kalli hinnaga aku jäi valituks kuna on mõõtmetelt väike ning on võimalik ära mahutada liikumasina ette.

4.4 Pneumaatiline silinder

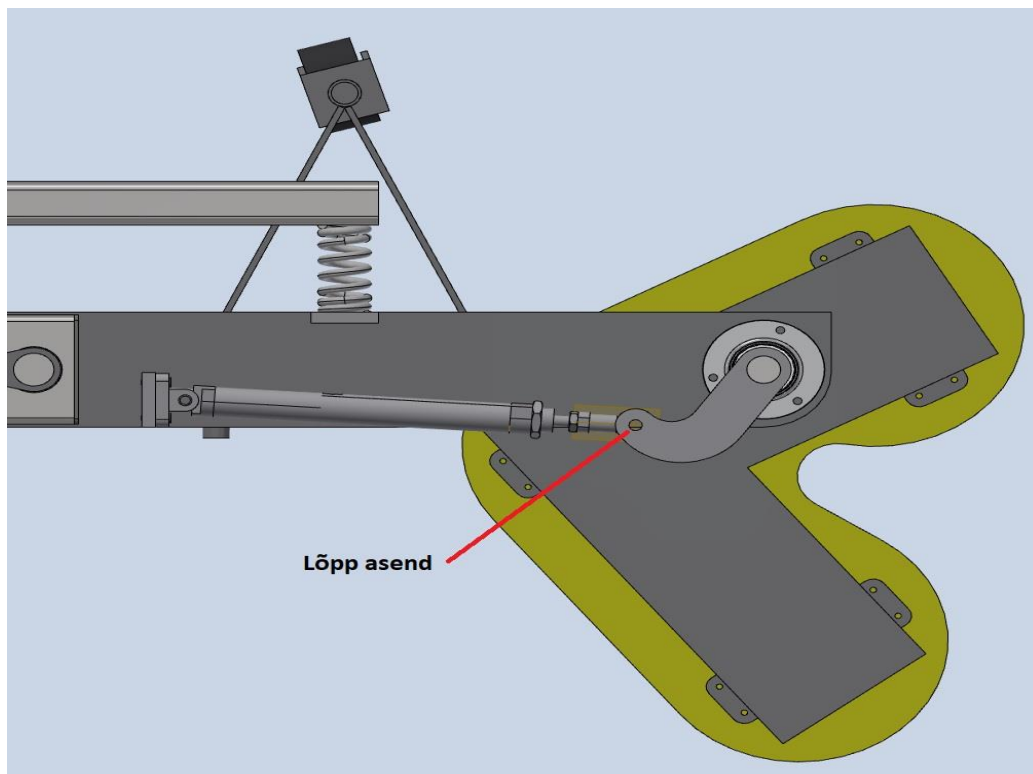
Pneumaatilise silindri valiku hinnang toodi välja Tabelis 4.6. Tulemus oli üsna lähestikku hüdraulilisele silindrile aga valituks osutus siiski pneumaatiline silinder.

Pneumosilindri valimiseks on meil vaja teada töökäigu pikkust ja vajalikku jõudu, mida ta rakendama peab. Töökäigu pikkus leitakse mudelit mõõtes, kus asub pööratav käpp algasendis ning kui on ta saavutanud enda maksimaalse nurga, milleks on 130 kraadi. Õige nurga valik leiti katsetamise teel, kasutades Inventor 2023 Dynamic Simulation moodulit.



Sele 4.16 Pneumosilindri algasend

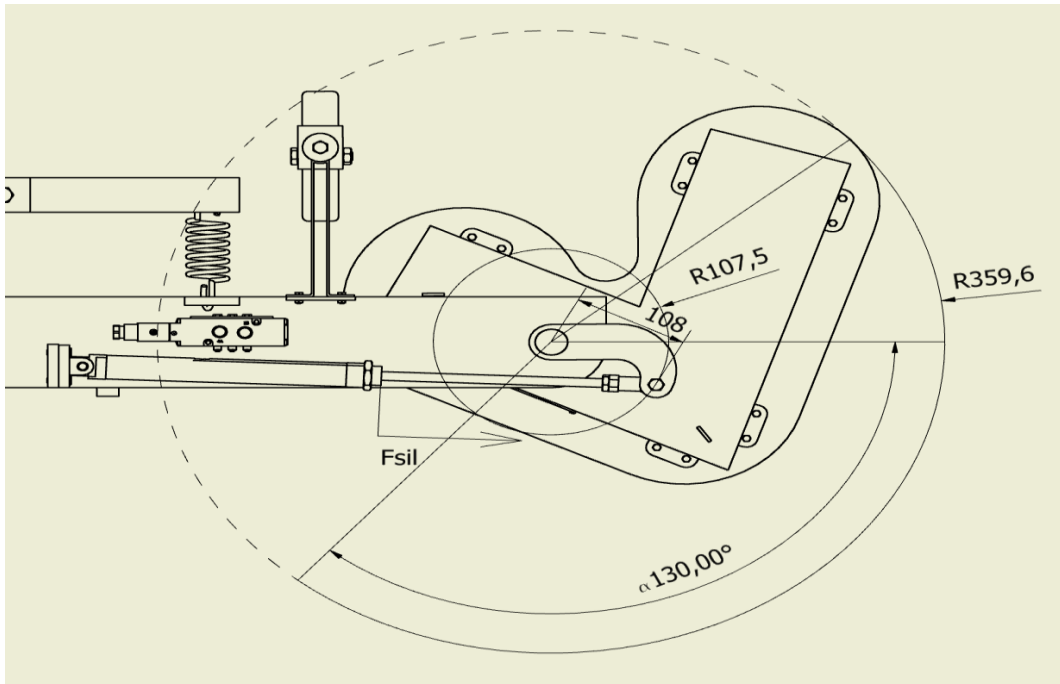
Selel 5.10 on näidatud pneumosilindri algasendit, kuidas see peab hoidma niiduki lõikelementi paigas niitmise aeg.



Sele 4.17 Pneumosilindri lõpp asend pöördel

Selel 4.16 on näidatud pneumosilindri lõpp asend. Mudelilt mõõtes ning silindri kinnitust liigutades tuli käigupikkuseks 200 millimeetrit.

Järgenvalt leiame vajaliku jõu F_{sil} , mida silinder peab rakendama.



Sele 4.18 Silindri jõu rakendus skeem

Arvutatakse vajalik jõud F_{sil} valemiga (8):

$$F_{sil} = (m * r * \omega^2) / (1 - \mu * (r * \frac{\omega}{v})), \quad (6)$$

kus m - Keha mass, 23 kg;

r - Keha kaugus päärlemisteljest, 0,3596 m

ω - Nurkiirus, rad/s ;

μ - Hõõrdetegur, 0,18.

v - Keha kiirus, 0,108 m/s.

Leitakse F_{sil} :

$$F_{sil} = \frac{\left(23 * 0,3596 * \left(\frac{130}{180 * \pi}\right)^2\right)}{\left(1 - 0,18 * \left(0,3596 * \frac{130}{180 * \pi} \frac{1}{0,108}\right)\right)} = 81 \text{ N.}$$

Niiduki lõikepea pööramiseks vajalik jõud pneumaatilise silindri poolt on 81 N.

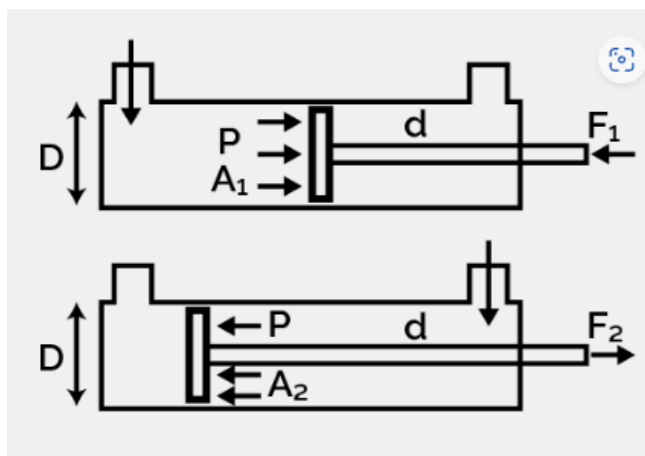
Silindriks valiti Emerson G 438 B 32 S K 200 A00 (Sele 4.18) [19], mis on 32 mm diameetriga silinder, millel on käigupikkus 200 mm. Tegemist on üksik vardaga, mida on võimalik liigutada kahepidi.

Antud silindri maksimaalne rõhk on 10 bar ja minimaalne 1 bar. Maksimaalne liikumiskiirus on 2 m/s.



Sele 4.19 Pneumosilinder

Järgnevalt arvutame, millist rõhku tuleb silindrile rakendada, et saavutada vajalik jõud. Kuna valiti kahepoolne silinder, peame arvutama jõu mõlemas suunas.



Sele 4.20 Silindri jõu skeem

Selleks kasutatakse järgmist valemit (9):

$$P = F_2 / A_2 \quad (7)$$

kus F_2 - Silindri poolt vajalik jõud, 81 N;

A_2 - Kolvi pindalast lahutatud varda pindala, 691,2 mm².

Leiame vajaliku rõhu P (9):

$$P = \frac{81}{691,2} \approx 1,17 \text{ bar.}$$

Vajalik rõhk silindri jaoks on 1,17 bar.

Leiame F_1 jõu (10):

$$F_1 = P \times A_1, \quad (8)$$

kus P - Silindri rõhk, 1,17 bar;

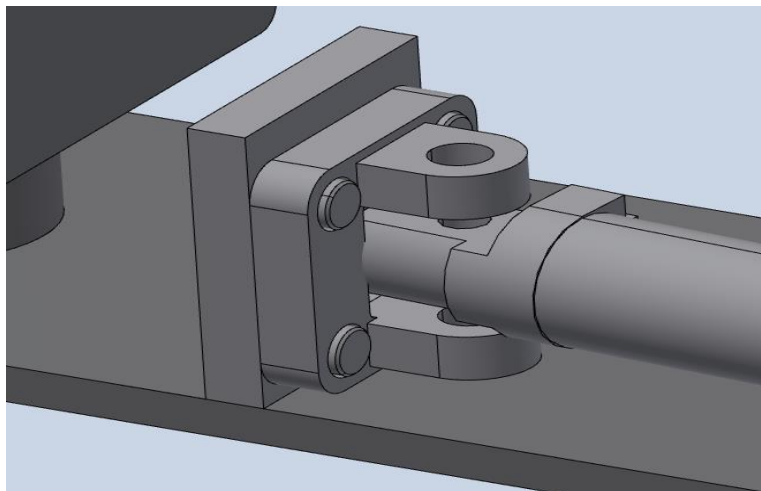
A_1 - Kolvi pindala, 804,2 mm².

F_1 jõud rõhuga 1.17 bar on:

$$F_1 = 1,17 \times 804,2 \approx 94 \text{ N,}$$

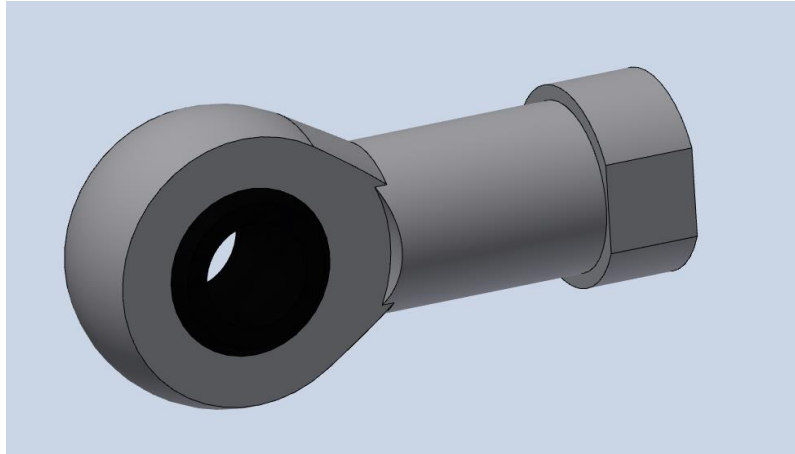
Arvutuste teel leiti, et kahepoolne silinder annab välja liikudes 1,17 bari juures 94 N ning sisse liikudes 81 N.

Silinder kinnitati spetsiaalse klambriga (Sele 4.20) [19].



Sele 4.21 Silindri kinnitus klambriga

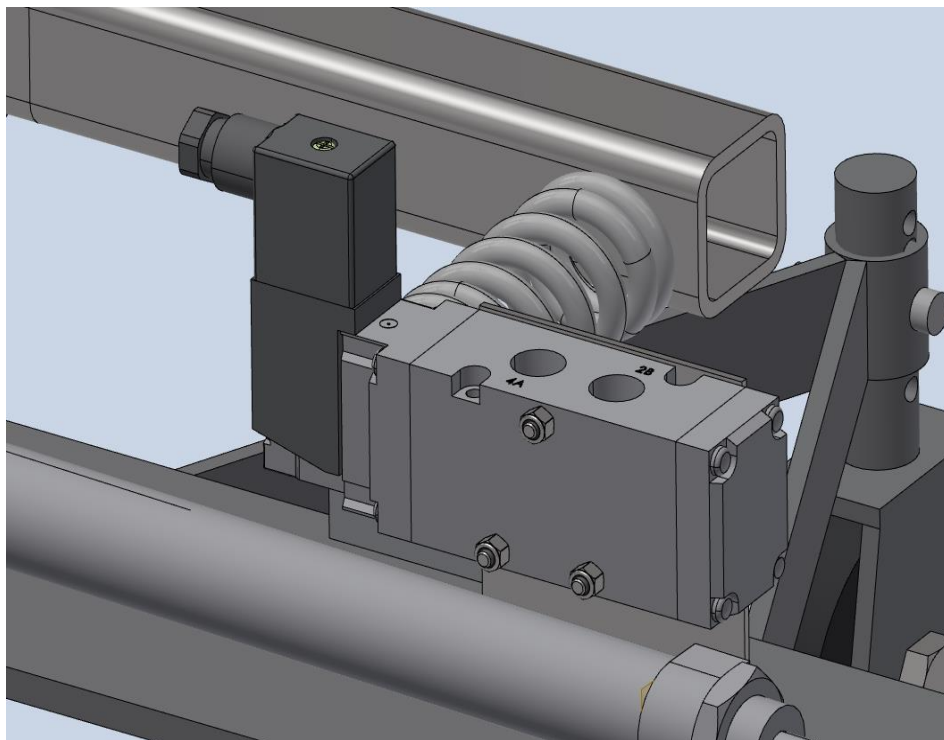
Antud klamber võimaldab silindril liikuda küljelt küljele takistuseta.



Sele 4.22 Silindri varda otsa kinnitus

Silinder on sobilik kuna see on väikse mõõduline, mis ei suurenda niiduki üldist kõrgust ülemäära palju.

Silindri liikumise kontrollimine käib läbi solenoid klapi. Solenoid klapiks valiti 5/2 (Sele 4.23) [20]. Elektrooniline lüliti lisatakse juhi kontrollpaneeli külge, millega saab silindri tööd kontrollida. Iga posti juurde jõudes juht vajutab nupule ning niiduk teeb vajaliku pöörde ümber posti.



Sele 4.23 Solenoid klapp

Solenoid klapp on kinnitatud 2 mm plaadi külge M4 poltidega, sest solenoid klappil on kinnitusavad 4,5 mm suurusega.

4.4.1 Suruõhupaak pnemaatilise silindri jaoks

Penumosilindri jaoks paigaldatakse masinale suruõhupaak, mis töötaks reservuaarina. Töötamise aeg on masinaga kaasas ka väike akukompressor [21], mis hoiab suruõhupaagis rõhku paigas manuaalselt. Kompressor ei oleks koguaeg töös, vaid aktiveeritakse juhi poolt.



Sele 4.24 Aku Kompressor

Antud kompressori (Sele 4.24) maksimaalne rõhk on 15 bari ning on toodud ainult näitena ühest võimalikust variandist, mida saaks kasutada.

Suruõhupaagi mahuks valitakse 10L paak, sest see ei pea olema suur. Paagi maksimaalne rõhk on 15 bar. Väiksemat paaki on mugavam paigaldada ning ei võta liiga palju ruumi.

Kuna teame, et suruõhupaak tuleb 10L, saame välja arvutada ka tsüklite arvu, kui palju jõuab pneumaatiline silinder selle mahuga tööd teha.

Esiolgu leitakse pneumaatilise silindri ruumala V_s (11):

$$V_s = \pi * (d/2)^2 * h, \quad (9)$$

kus d - Silindri diameeter, 32 mm;

h - Silindri käigupikkus, 200 mm.

$$V_s = \pi * \left(\frac{32}{2}\right)^2 * 200 = 160768 \text{ mm}^3 \approx 160,8 \text{ cm}^3,$$

Silindri ruumalaks saadi 160,8 cm³.

Järgnevalt leitakse tsüklite arv N (12):

$$N = V_p / (V_s * (P_1 - P_2)), \quad (10)$$

kus V_p - Suruõhupaagi ruumala, 10L;

V_s - Silindri ruumala, 160,8 cm³;

P_1 - Suruõhupaagis hoitav rõhk, 4 bar;

P_2 - Silindris kasutatav rõhk, 1,17 bar.

Leiame tsüklite arvu (12):

$$N = \frac{10}{(160,8 * (4 - 1,17))} \approx 22,$$

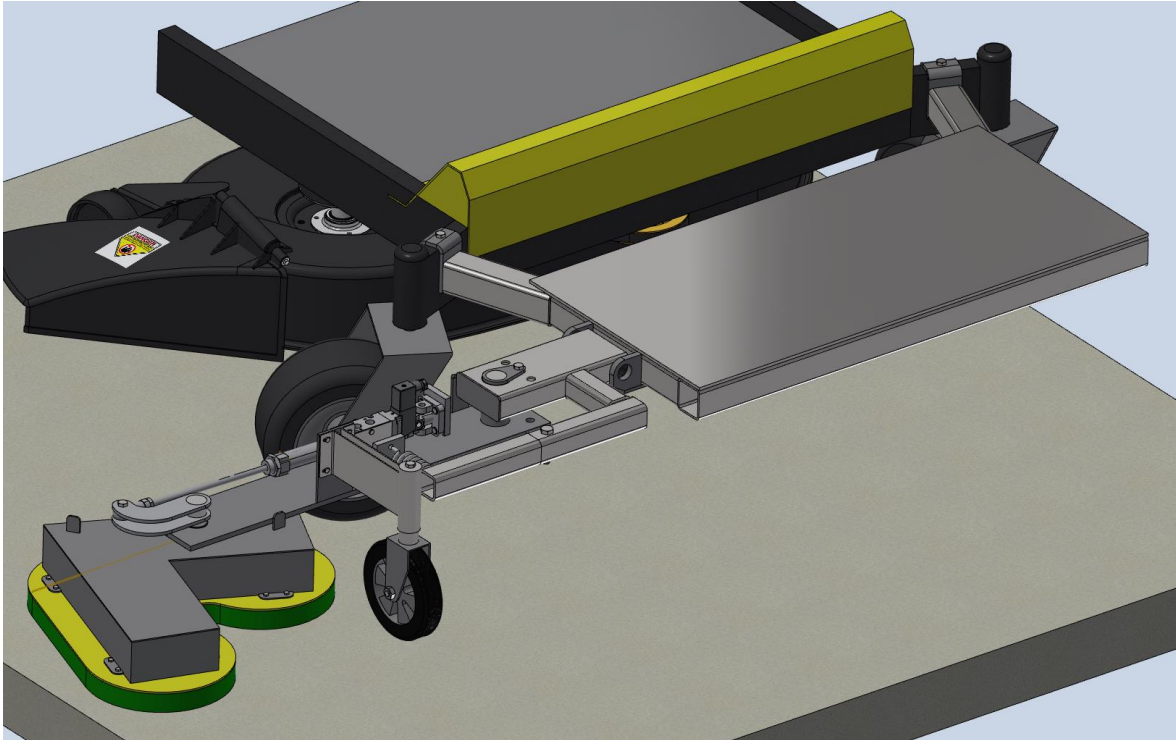
Arvutuste kohaselt saab sooritada 22 tsüklit ennem kui suruõhupaak tühjaks saab ning tekiks vajadus seda uuesti täita.

Õhupaagi külge paigaldatakse rõhuregulaator ja manomeeter. Rõhuregulaatoriga saab reguleerib suruõhu rõhku, mis süsteemi lastakse ning manomeetriga saame täpselt teada kui suur rõhk paagis järgi on.

4.5 Niiduki kinnitus liikumasina külge

Antud alapeatükis keskendutakse seadme kinnitusele masina külge. Masinaks on Cub Cadet rzt-L54 [1] murutraktor. Kuna seade kinnitatakse masinale ette, tuli uurida võimalusi kuidas oleks see seadmele võimalik ette kinnitada. Murutraktoril on põhiraam 100x50 mm nelikanttorust ümberringi.

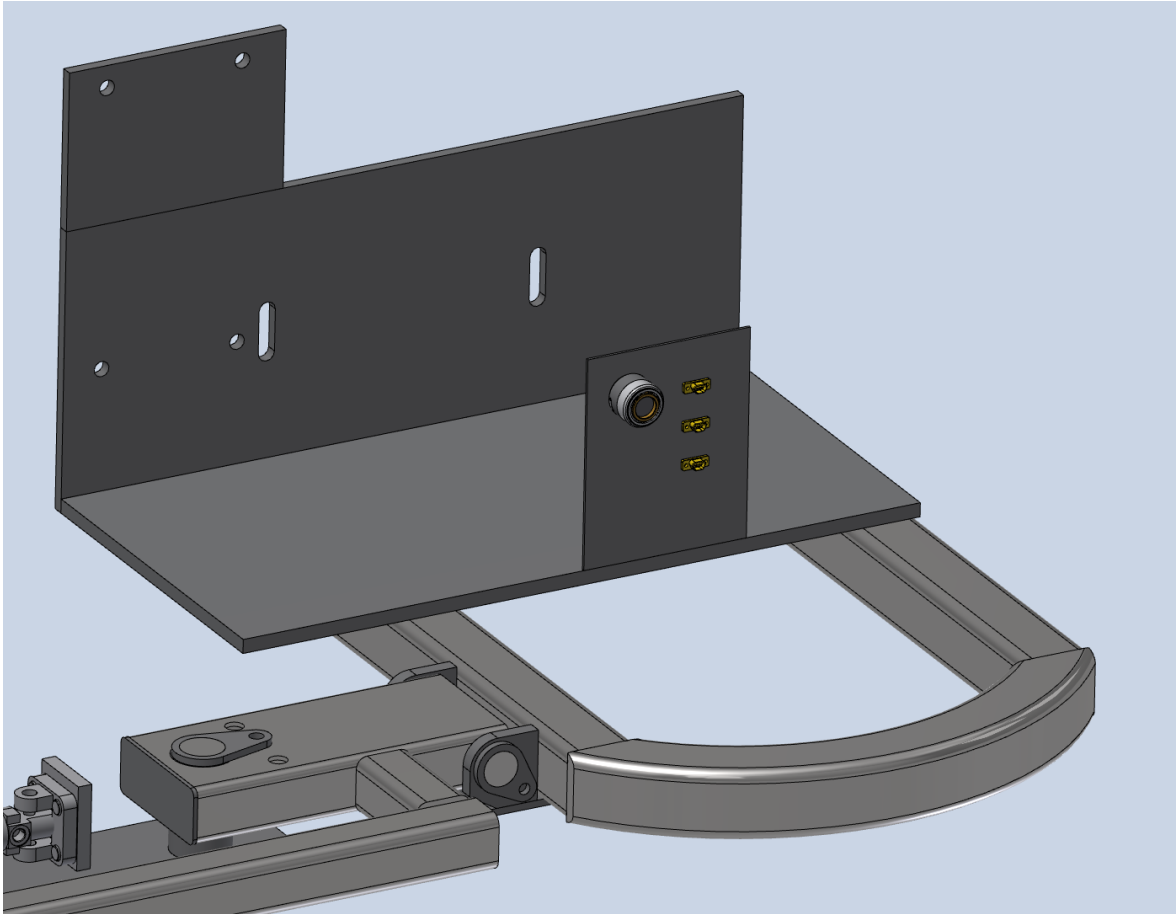
Esimese kavandi (Sele 4.25) ideena oli mõtte teha niiduki ette nelikanttorudest raamistik, mis kinnituks murutraktori külge kahe klambriga. Sealt oleks ühendatud raamistik kahe M8 poldiga. Selle jaoks oleks vaja olnud puurida kaks lisa ava niiduki raami sisse. Antud lahendusvariant oleks piiranud niiduki kasutamist ainult ühe kindla masina peal. Erinevate niidukite esiraami nurga kraadid on erinevad.



Sele 4.25 Esimene idee niiduki kinnitusele

Küll aga on raamil ees olemas kaks poldi kinnitusauku, kus saab kasutada M14 polti. Sinna kinnitades ei peaks tegema modifikatsioone niidukile ning oleks lihtne kinnitada.

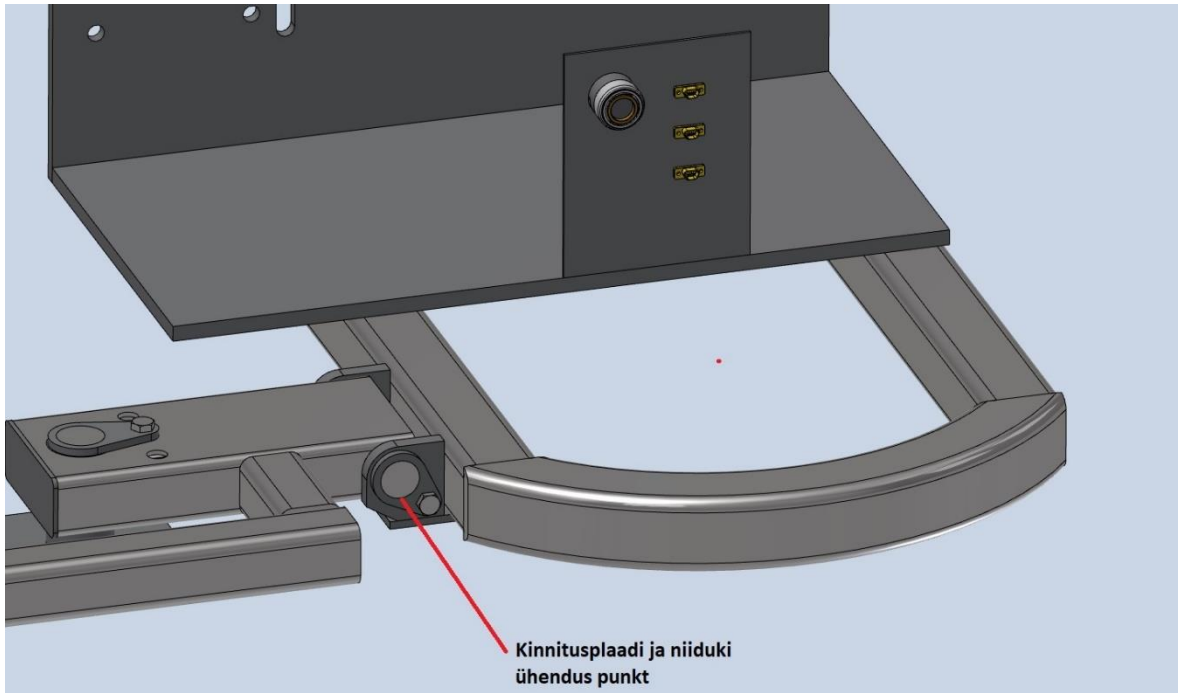
Seadme kinnitamiseks kasutatakse kahte 8 mm paksust lehtmaterjalist plaati, mis on kokku keevitatud. Plaatide külge on keevitatud nelikanttoru mõõtmetega 50x50x4 mm, mille külge kinnitatakse projekteeritav niiduk. Kinnitusplaadid on mõeldud mootori kontrolleri, aku ja suruõhupaagi paigaldamiseks..



Sele 4.26 Kinnitusplaadid niidukile

Sinna külge keevitatakse plaat, kus küljes on elektritarvikute kiirühendus paneel. Plaadil on kiirühendus suruõhupaagi ja pneumasilindri vahel ning mootori ja mootorikontrollerite elektriline pistikute ühendus.

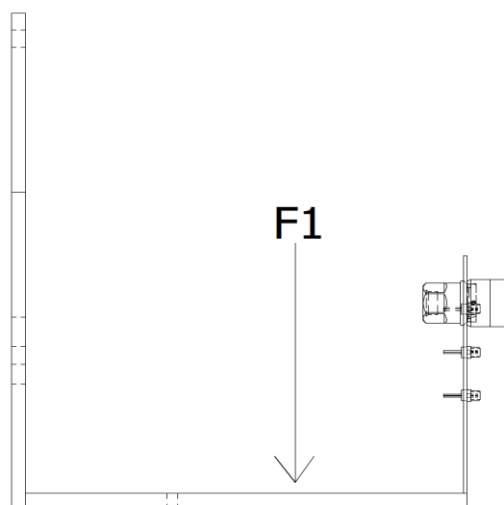
Kinnitusplaadi ja niiduki vahel on ühendus, kus kasutatakse d30 mm võlli. M8 poldi (Sele 4.27) lahtikeeramiseega saab niiduki kinnitusplaadist eraldada, võimaldades paigaldada niiduki kaheks eraldi osaks. See annab võimaluse remontida ainult niiduki lõikeosa, ilma et peaks kinnitusplaati lahti võtma.



Sele 4.27 Ühenduskoht kinnitusplaadil ja niidukil

Niiduk on kinnitatud nelikantoru 50x50x4 mm raamistiku külge kahe 10 mm paksusega lehtmaterjalist kõrva külge. Kõrvade alla on keevitatud tugevnduseks 5 mm paksusega lehtmaterjal. Raamistiku ette on jäetud kaarjas nelikanttoru, et millegi eseme otsasõitmisel oleks tagatud ohutus.

Kuna on teada kogukaal, mis läheb kinnitusplaadi külge, saame arvutuse teel leida kas M14 poldi kinnitused on piisavad hoidmaks kogu seda raskust.



Sele 4.28 Kinnitusplaadi skeem

Mõjuvaks jõuks on määratud F_1 .

$$F_1 = (m_{aku} + m_{kontrollerid} + m_{niiduk}) \times g,$$

kus	m_{aku}	-	Aku mass, 18,5 kg;
	$m_{kontrollerid}$	-	Mootori kontrollerite mass, 3 kg;
	m_{niiduk}	-	Niiduki kogumass, 37 kg;
	g	-	Raskuskiirendus, 9,8 m/s ²

Leitakse kinnitusplaadile mõjuv jõud:

$$F_1 = (18.5 + 3 + 37) \times 9,8 = 573 \text{ N},$$

Vastavalt arvutustele mõjub kinnitusplaadile jõud 573 N.

Kinnituspoltideks on kaks M14 polti 8.8. Valitud poltide voolavuspiir on 640 MPa.

Koormus poldi kohta (13):

$$F_{polt} = F_1 / n, \quad (11)$$

kus n - Poltide arv, 2;

F_1 - Koormus plaadile, 573 N;

Vastavalt valemile (4) leitakse koormus poldi kohta:

$$F_{polt} = \frac{573}{2} = 286,5 \text{ N}$$

Järgmiseks leiame poldi pindala (14):

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2 = \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 153,94 \text{ mm}^2, \quad (12)$$

Järgmiseks leiame nõutava tõmbetugevuse poldi jaoks (15):

$$\sigma_t = F_{polt} / (A \times \sigma_s), \quad (13)$$

kus A - Poldi pindala, mm²

σ_s - Ohutustegur, 4

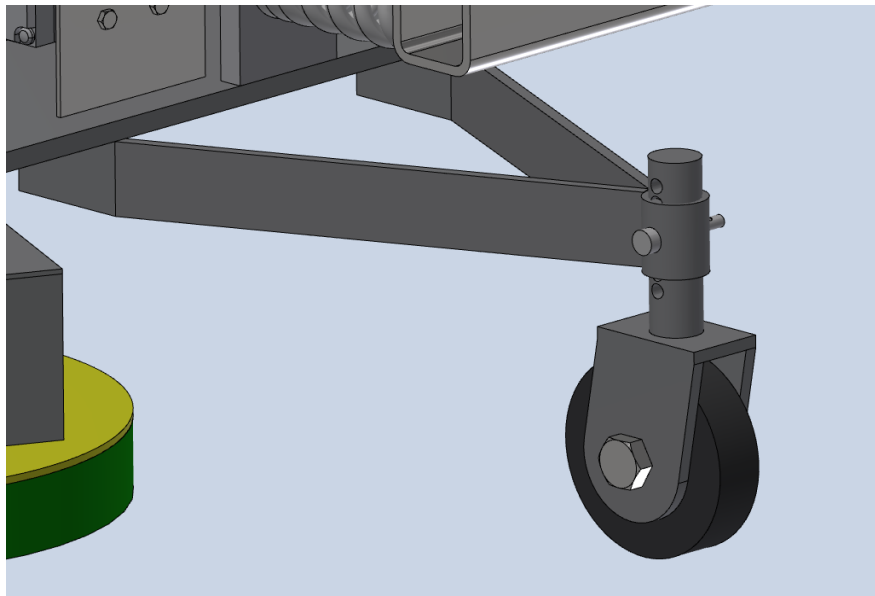
F_{polt} - Poldile mõjuv koormus, N.

$$\sigma_t = \frac{286,5}{153,94 \times 4} \approx 465 \text{ MPa.}$$

Leitud sai, et ühele poldile mõjub koormus 465 MPa, mis on sobiv, sest M14 poldile klassiga 8.8 volavuspiir on 640 MPa.

4.6 Tugiratas niidukile

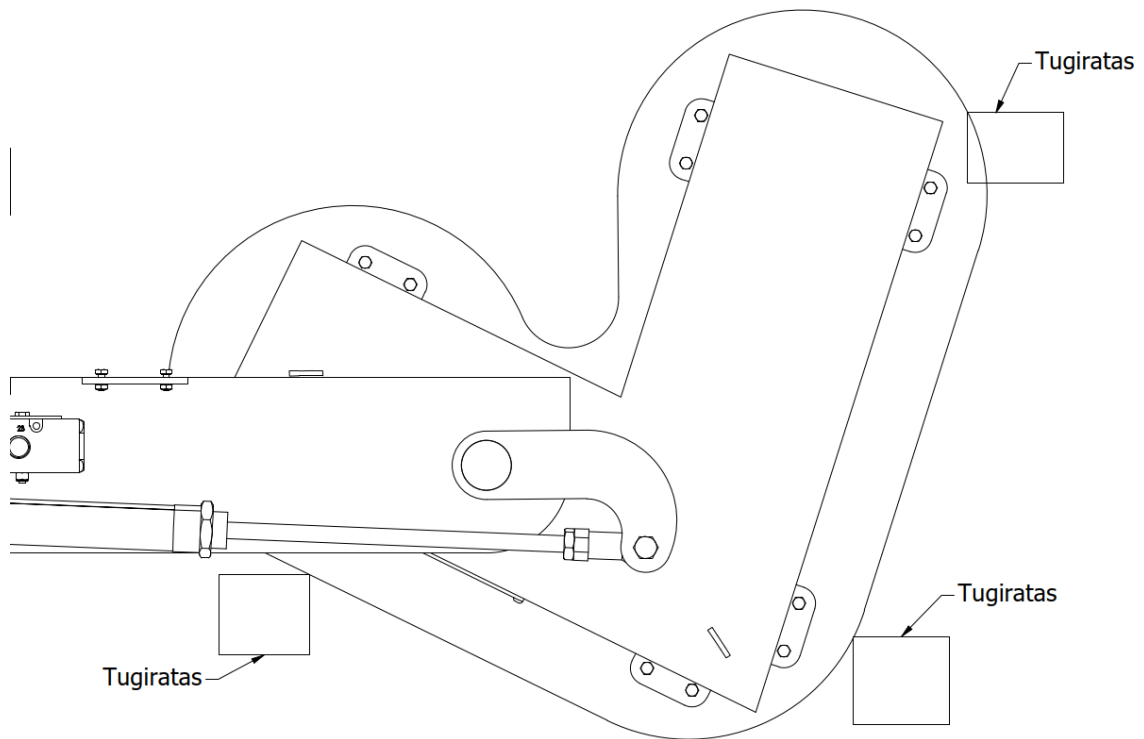
Tugiratta vajadus seisneb selles, et niiduki lõikeosa ei oleks niitmise ajal vastu maad. Tugirattaga saab reguleerida niitmise kõrgust ning kogu niiduki raskus ei ole kinnitusplaadil.



Sele 4.29 Tugiratta koost

Esimese variandina projekteeriti jäiga kinnitusega tugiratas (Sele 4.29), mida oleks saanud reguleerida kiirklambriga. Raamistik oli tehtud 30x5 mm lattidest. Antud lahenduse probleem on aga see, et kui liikuvmasin sõidab läbi augu, tõstaks ta niiduki lõikeosa kõrgemale maapinnast, mistõttu võib niiduki lõikeosa liikuda vastu alumist elektrikarjuse traati ja halvimal juhul selle katki tõmmata.

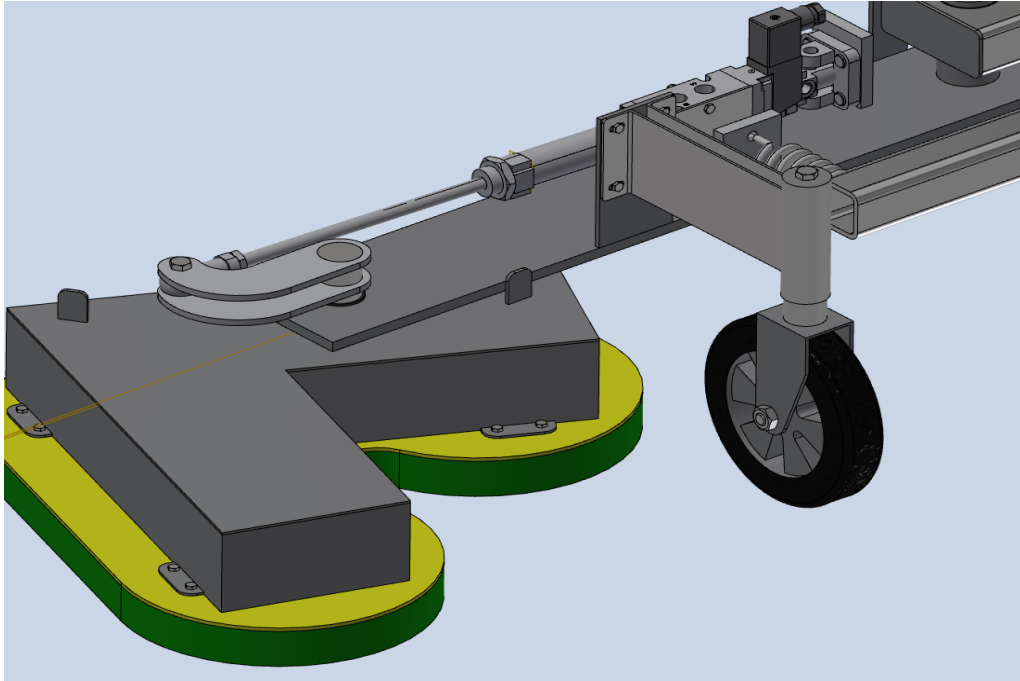
Järgmise lahendusena paigutati tugirattad niiduki lõikeosa ümber (Sele 4.23).



Sele 4.30 Tugirattad lõikeosa ümber

Antud lahendus pole sobilik, sest see suurendaks koormust tõmbevedrule, kuna kolm tugiratast oleksid koguaeg vastu maad. Nendesse asukohtadeesse ei saaks paigaldada ka väga suuri rattaid ning reguleerimise võimalus oleks väga minimaalne.

Järgmise lahendusena võeti kasutusele tugiratas vedru leevendiga (Sele 4.31). Turul on müügil mitmeid erinevaid lahendusi antud tugiratta konstruktsioonile. Valituks osutus tugiratas, mida on võimalik reguleerida kõrguse suhtes 50 mm. Tootja teabe puhul on selle toote maksimaalseks koormuseks 200 kg. Juhul kui liikuvmasin peaks sõitma auku, siis tugiratas leevendab niiduki lõikeosa tõusu liiga kõrgele.

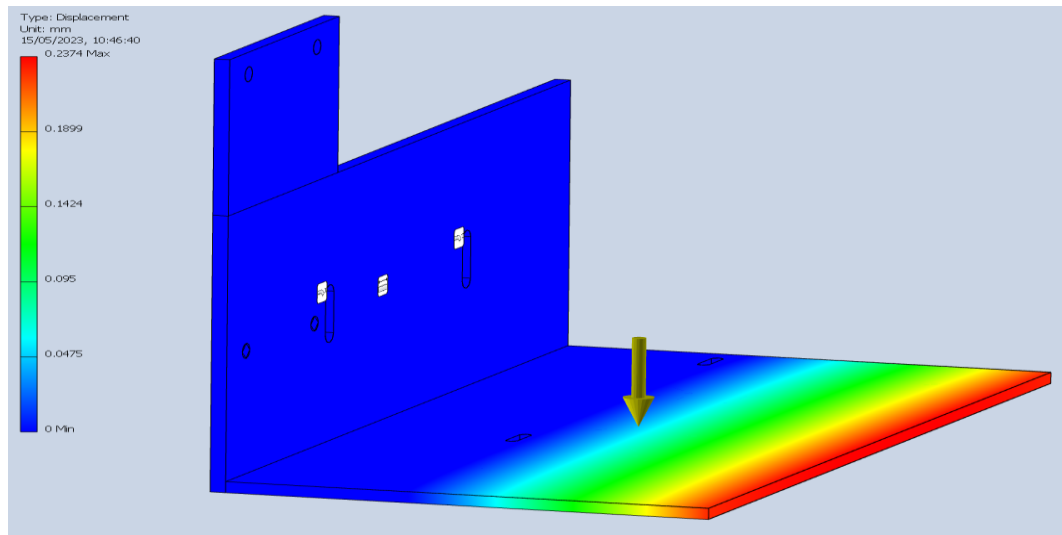


Sele 4.31 Tugiratas vedru leevendiga

Tegemist on ostutootega, mis lihtsustab tootmist, kuna niidukile on vaja külge keevitada ainult kinnitusplaat, kuhu külge tugiratas poltidega kinnitatakse. Kinnitusteks kasutatakse M4 polte, sest tugiratta kinnitusavad on 4.5 mm diameetriga.

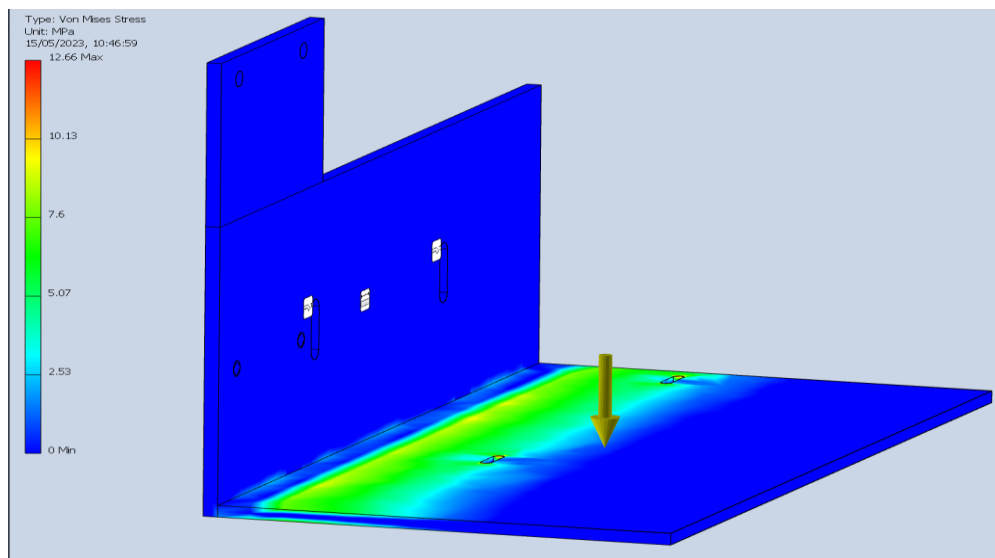
4.7 Tugevus analüüs seadme kinnitusele

Järgnevalt teostatakse FEM analüüs seadme kinnitusplaadile. Lehtmetalli materjaliks on S235JR. Materjali voolavuspiir on 235 MPa. Kontrollitakse maksimaalset pinget ning deformatsiooni. Analüüsis määrati mõjuvaks jõuks detailide kogumass, mis kinnitatakse plaadile ning kogu niiduki mass kui tugiratas ei ole kontaktis maapinnaga. Kinnitusplaadile mõjuv jõud on 573 N.



Sele 4.32 Maksimaalne deformatsioon kinnitusplaadis

Analüüsi tulemusena oli maksimaalne deformatsioon 0,24 mm (Sele 4.31). Maksimaalne pinge oli 6,94 MPa (Sele 4.32).



Sele 4.33 Maksimaalne pinge kinnitusplaadis

Järgmiseks leitakse varutegur (16):

$$S = \frac{\sigma_y}{\sigma_p}, \quad (14)$$

kus σ_y - S235 materjali voolepiir, MPa;

σ_p - Maksimaalne pinge, MPa.

Vastavalt valemile (15) leitakse varutegur:

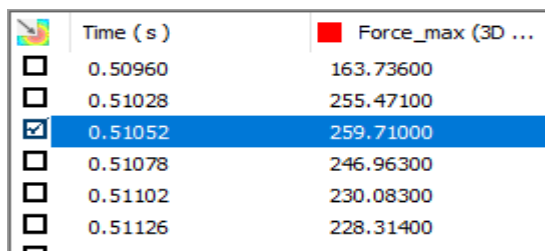
$$S = \frac{235}{6.94} \approx 34.$$

Varuteguriks saadi 34. See on piisav, sest peab arvestama sellega, et masina juht võib kinnitusplaadi servale ka astuda, mis muudaks hetkelist raskust plaadis märgatavalt, olenevalt juhi enda massist.

Teostatud analüüs näitas, et kinnitusplaadid on valitud piisavalt tugevad, et tagada konstruktsiooni tugevus ja kestvus.

4.8 Niiduki kokkupuude karjuse postiga

Lähteülesandes sai välja toodud tõmbejõud (Sele 2.3 ja 2.4), kui tehti katseid elektrikarjuse postidega. Nendeks tulemusteks olid vastavalt 20 kg ja 42 kg. Projekteerimise lõpus saab paika panna ka niiduki kaalu, ning leida, mis jõuga liigub niiduk vastu posti. Selle tulemuse jaoks kasutati Inventor 2023 dynamic simulation moodulit. Liikumiskiiruseks arvestati 1 km/h, kuna posti juurde jõudes peaks juht kiiruse maha võtma, et toimuks kontrollitud niitmine ümber posti. Antud simulatsioonis arvestati ainult sellega, et juht sõidab hooga vastu posti, ning seiskumine toimub alles siis kui niiduk on vastu posti läinud. Tulemuseks saadi maksimaalne pinge 259 N (Sele 4.33).



	Time (s)	Force_max (3D ...)
<input type="checkbox"/>	0.50960	163.73600
<input type="checkbox"/>	0.51028	255.47100
<input checked="" type="checkbox"/>	0.51052	259.71000
<input type="checkbox"/>	0.51078	246.96300
<input type="checkbox"/>	0.51102	230.08300
<input type="checkbox"/>	0.51126	228.31400

Sele 4.34 Inventor 2023 dynamic simulation simulatsioon kui niiduk liigub vastu posti

Tulemus 259 N jääb vahemikku 196 N – 411 N. Projekteeritud niiduk ei vigasta ega liiguta poste paigast, kui neile vastu sõita.

5. MAJANDUSLIK OSA

Antud peatükis keskendutakse niiduki majanduslikule osale. Leitakse projekteeritava seadme omahind. Võimalikult palju tooteid on proovitud otsida ostutooteid, et ei peaks ise juppe tootma.

5.1 Niiduki hinna arvutus

Järgnevalt arvutatakse niiduki omahinna kulu.

Esimeses tabelis(tabel 6.1) on välja toodud kogu materjalikulu hind.

Tabel 5.1 Materjali kulu hind

Nr	Detail	Materjal	Ühik	Hind, eurot/m	Kogus	Summa, eurot
1	Nelikanttoru 50x50x4	S235JR	m	4.25	1.8	7.65
2	Nelikanttoru 40x40x4	S235JR	m	4.05	0.7	2.84
3	Nelikanttoru 100x100x4	S235JR	m	5.68	0.4	2.27
4	Võll h9 ø25	S355J2	m	3.06	0.24	0.73
5	Võll h9 ø30	S355J2	m	4.42	0.08	0.35
6	Võll h9 ø35	S355J2	m	6.21	0.065	0.40
7	Ümartoru ø38*2	S235JR	m	1.5	0.42	0.63
8	Ümartoru ø34*3	S235JR	m	2.29	0.08	0.18
9	Lehtmaterjal 2 mm	S235JR	m ²	10	1.24	12.40
10	Lehtmaterjal 3 mm	S355J2	m ²	15	1.24	18.60
11	Lehtmaterjal 5 mm	S235JR	m ²	20	0.15	3.00
12	Lehtmaterjal 8 mm	S235JR	m ²	25	0.14	3.50
13	Lehtmaterjal 10 mm	S235JR	m ²	62.43	0.45	28.09
					Kokku	81

Eelnevast tabelist(Tabel 6.1) leiti, et kogu materjali kulu niiduki jaoks on 81 eurot.

Järgnevas tabelis(Tabel 6.2) on välja toodud ostutoodete hinnad niiduki valmistamiseks.

Tabel 5.2 Ostutoodete tabel

Nr	Nimetus	Kogus	Hind, tk	Hind kokku, eurot
1	Pneumosilinder Emerson 438	1	63	63
2	Plastlaager	5	2.79	13.95
3	Elektrimootor	3	35	105

4	Mootori kontrollid	3	19	57
5	Aku 36V 70Ah	1	1220	1220
6	Tugiratas	1	39.9	39.9
7	Suruõhupaak	1	70	70
8	Pneumosilindri kinnitused	1	37	37
9	Lülitid	1	12	12
10	Juhtmed	1	20	20
11	Lendterad	1	19.9	19.9
12	Kinnitusvahendid	1	30	30
13	Tõmbevedru	1	48	48
14	Õhu regulaator	1	12	12
15	Pneumatorud	1	35	35
16	Solenoidklapp 5/2 4v410	1	29	29
17	Elektro lüliti solenoidile	1	12	12
18	Õhu toru kiirliide	1	6	6
19	Manomeeter	1	17.2	17.2
20	Pneumosilindri ühendus jupid	1	35	35
			Kokku	1882

Eelnevast tabelist (Tabel 6.2) tuleb ostutoodete kogusummaks 1882 eurot. Väljatoodud summa on koos käibemaksuga.

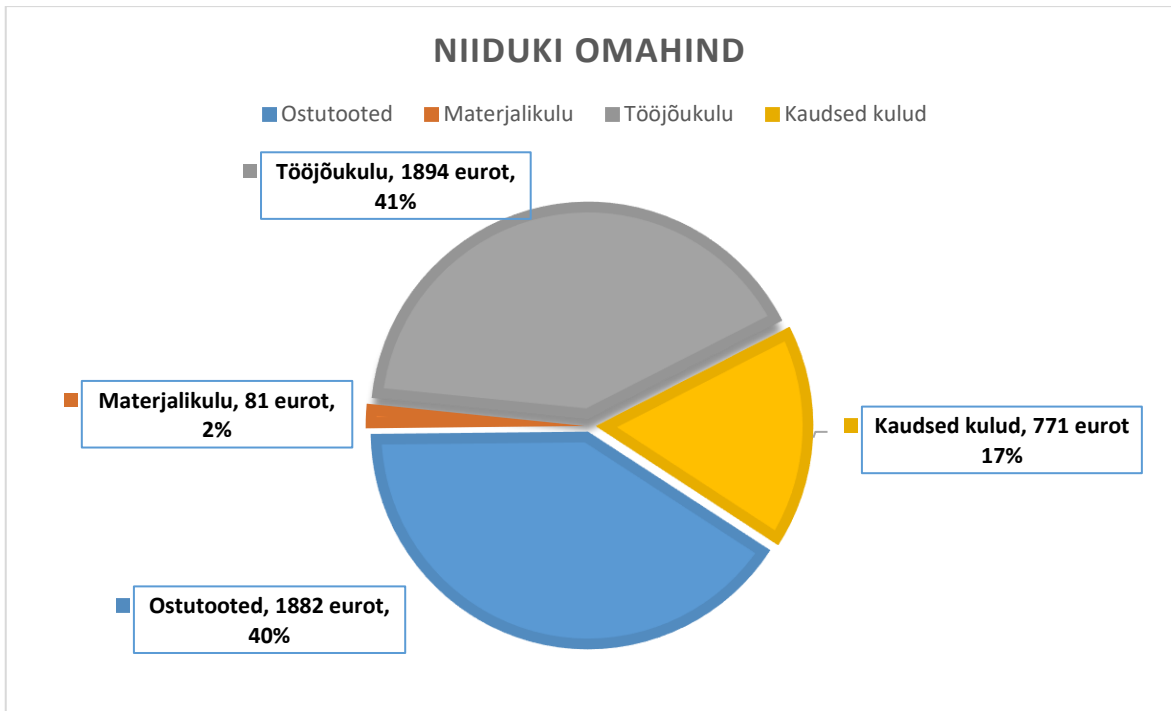
Järgnevas tabelis (Tabel 6.3) tuuakse välja tööjõukulu tabel.

Tabel 5.3 Tööjõukulud

Nr	Töö	Tööaeg, h	Töötunnihind, eurot	Maksumus, eurot
1	Keevitamine	3	58	174
2	Värvimine	1	50	50
3	Montaaž	2	35	70
4	Laserlõikus	1	100	100
5	Treimine ja puurimine	2	50	100
6	Projekteerimine	40	35	1400
			Kokku	1894

Tabelist (Tabel 6.3) selgub, et tööjõukulu kogusumma on 1894 eurot. Tabelis on välja toodud ka projekteerimise peale kulunud aeg ja summa.

Järgnevalt on välja toodud Sele 5.1 peal diagramm niiduki omahinnast.



Sele 5.1 Niiduki omahinna graafik

Kaudseteks kuludeks võeti 20% tabeli 6.1, 6.2 ja 6.3 summast.

Kaudsete kulude summaks tuli $3857 * 0,2 = 771$ eurot.

Kõikidele kuludele väljaarvatud ostutoodetele lisatakse juurde käibemaks 20%.

$((1894*0,2)+1894)+((81*0,2)+81)+((771*0,2)+771) = 3296$ eurot.

Niiduki kogusummaks tuleb seejärel $3296 + 1882 = 5178$ eurot.

Niiduki valmistamise hinnaks tuleb 5178 eurot. See on päris suur summa aga sellest kogusummast projekteerimine läks maksma 1400 eurot ning aku maksab 1220 eurot. Kui need summad välja arvestada, tuleks niiduki hinnaks 2558 eurot. Tootma hakates seda seadet, lisanduksid veel mõningad kulutused hinnale juurde.

Aku hind toodi eraldi välja kuna akut saab vajadusel välja vahetada soodsama vastu, kasutades selleks mitut 12V akut jadaühenduses. Antud projekti raames lähtuti kasutusmugavusest.

Niiduk oleks sobilik inimestele, kes tegelevad loomakasvatusega ning on endale paigutanud vastavalt nõuetele [2] aediku ümber karjamaa.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli projekteerida niiduk, millega on võimalik niita muru elektrikarjuse postide ümber ning kõige alumise elektritraadi alt. Projekteerimisel arvestati etteantud tingimustega ja analüüsiti erinevaid lahendusi.

Analüüsiti võimalikke erinevaid lahendusi ning vastavalt sellele hinnati, milline oleks kõige sobivam variant etteantud nõuetele.

Uuritud sai ka turul müüdavaid seadmeid ning uuritud kas oleks võimalik osta vajalik seade. Turu-uuringu käigus selgus, et kõige otstarbekam on vastav niiduk ise projekteerida, et see vastaks kõikidele nõudmistele.

SUMMARY

The aim of this thesis was to design a lawnmower that would allow for mowing grass around electric fence posts and under the lowest electric wire. The design took into account the given conditions and various solutions were analyzed.

Possible solutions were evaluated and the most suitable option for the given requirements was chosen.

Market-available devices were also researched to determine if it would be possible to purchase the necessary equipment. During market research, it became clear that it would be most feasible to design the lawnmower to meet all requirements.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „Cub Cadet,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.cubcadet.com/en_US/prior-year-models/rzt-l54-kh--cub-cadet-zero-turn-mower/17BRCACA009.html.
- [2] „Loomade kahju ennetamine,” [Võrgumaterjal]. Available: file:///C:/Users/donih/Downloads/Looma_kahjude_ennetamine_A5_WEB.pdf.
- [3] „Rippkaalu info,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://kauppa.rellunkulma.fi/product/20030/kalavaaka-50kg-digitaalinen---era-outdoor>.
- [4] „Greentec RI 80,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://greentec.eu/product/ri-80/>.
- [5] „RasterMaster 360,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rastermaster.nl/en/>.
- [6] „Melker Baltik,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.melkerbaltik.eu/pood/maastikuhooldustehnika/niidukid/kneilmann-postiniiduk/>.
- [7] „Greenstripe Garden Machinery,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://greenstripe.net/View/454293/dr-7-25-all-terrain-tow-behind-trimmer-mower>.
- [8] „Patent US9668410B2,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://patents.google.com/patent/US9668410B2/en?q=\(fence+cutter\)&oq=fence+cutter](https://patents.google.com/patent/US9668410B2/en?q=(fence+cutter)&oq=fence+cutter).
- [9] „Patent US20060026938A1,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://patents.google.com/patent/US20060026938A1/en?q=\(mower+around+post\)&oq=mower+around+post](https://patents.google.com/patent/US20060026938A1/en?q=(mower+around+post)&oq=mower+around+post).
- [10] „Tõmbevedru,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.thespringstore.com/catalog/product/view/id/123627/s/pe177-1500-14299-mw-5000-co-n-in/category/2/?unit_measure=me.
- [11] „Plastik liugelaager,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.igus.ee/product/64?artNr=GFM-2528-21>.
- [12] „Metsakaupmees OÜ,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://metsakaupmees.ee/koik-tooted/loiketera-komplekt-husqvarna-ja-gardena-9tk/>.
- [13] E. Law, „Argentum,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cencepower.com/blog-posts/ac-electric-motors-vs-dc-brushless-motors>.

- [14] „Muru lõikamiseks kuluv jõud,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.researchgate.net/figure/1-Component-Parts-of-the-Mower_tbl1_335146990.
- [15] „Elektrimootor,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.bosinrenda.com/Motor/cate-28.html>.
- [16] „Würth Kinnitusvahendid,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.wuerth.ee/kataloog/74/>.
- [17] „Elektrimootori kontrollid,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tooriistad24.ee/elektrimootori-kontroller-36v-500w/>.
- [18] „ENERprof,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://enerprof.de/en/ebike-batteries/softpacks/36v-10s-batteries/1266/battery-36v-70ah-smart-bms-50a-2.6kwh-up-to-1800-watt-bluetooth>.
- [19] „Emerson Pneumatic Cylinder,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/catalog-cylinders-actuators-iso-standard-series-438-asco-en-4227608.pdf>.
- [20] „Solenoidklapp,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://hpcontrol.ee/elektrozawor-5-2-4v410-1-2-cala-do-silownikow-230v-lub-12v-24v.html>.
- [21] „Õhu kompressor,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://automaailm.ee/hd-kompressor-12v-2-silindriline-karbis-s103-02380>.
- [22] R. G. M. H. R. K. F. N. S. O. H. P. A. S. Ulrich Fischer, Mehaanikainseneri käsiraamat, TTÜ Kirjastus, 2012.
- [23] „Silindri jõud,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.omnicalculator.com/physics/pneumatic-cylinder-force>.

LISAD

LISA 1. Niiduki peakoost

LISA 1. NIIDUKI PEAKOOST

12	1	RR-1001	Manomeeter	0,0	
11	1	Pödrateli- 1		0,5	
10	1	Raami kinnitus		23,7	
9	1	Niiduki põhiosa	Niiduki lõikeosa koost	28,2	
8	1	KL-1003	Suruõhu kiirliide	0,0	
7	1	RR-1002	Rõhuregulaator	0,5	
6	1	DIN 933 - M8 x 10	Polt	0,0	
5	3	EP-1001	Elektrihendus pistik	0,0	
4	1	Aku klamber	S235JR	0,0	
3	1	SP-1001	Suruõhupaak	0,7	
2	1	36V 70 Ah AKU		19,9	
1	3	MK-1000	Mootori kontrollier	0,7	
Pos	Hulk	Tähis	Nimetus, materjal	Mass	Märkus
Teostas: D.Haaspal			Nimetus: Elektrikaruse aluse niiduki koost	Mass: 78,8 kg	Märg: 1/002
Kontrollis:			ISO 2768-mk		1/5
Kinnitas:			Elektrikaruse aluse niiduki koost		
TALTECH			Talvina Tehnikauühisto	Leht: 1 / 1	Formaat: A1
			Elektrikaruse aluse niiduki koost	Niiduki-2-1000	