



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut
Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK40LT

Ainar Elberg

PORTATIIVSE KÄSIETTENIHKEGA LINTSAE PROJEKTEERIMINE
Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn

2016

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”.....201....a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201....a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

..... allkiri

TTÜ MEHHATROONIKA INSTITUUT
MEHHATROONIKASÜSTEEMIDE ÕPPETOOL
BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE

2016. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Ainar Elberg 134362MAHB (nimi, kood)
Õppekava: MAHB 02/13 Mehhatroonika
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: Noorem-teadur, Märt Juurma (amet, nimi)
Konsultandid: Andrus Kimask, tootmisjuht, 53416779 (nimi, amet, telefon)

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Portatiivse käsiettenihkega lintsae projekteerimine
(inglise keeles) Design of portative manual-feed bandsaw

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Raami projekteerimise lõpetamine	
2.	Rihmülekande projekteerimine ja arvutamine	
3.	Sagedusmuunduri valik, turvasüsteemide projekteerimine	
4.	Juhtimisloogika formuleerimine	
5.	Töö vormistamine ja esitamine	16.05.2016

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:
Olemasoleva 3D mudeli lõpetamine ja selle tugevuse optimeerimine. Rihmülekande projekteerimine ja arvutamine. Sagedusmuunduri ja ohutussüsteemi lisamine, operaatori turvalisuse suurendamine. Masina tööloogika formuleerimine.

Täiendavad märkused ja nõuded: Ei ole.

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt: 16.05.2016 **Töö esitamise tähtaeg:** 20.05.2016

Üliõpilane Ainar Elberg /allkiri/ allkirjastatud digitaalselt kuupäev.....

Juhendaja Märt Juurma /allkiri/ allkirjastatud digitaalselt kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöörde

SISUKORD

EESSÕNA	5
SISSEJUHATUS	6
PÕHIOSA	8
1. RAAMI PROJEKTEERIMISE LÕPETAMINE.....	8
2. RIHMÜLEKANDE PROJEKTEERIMINE.....	15
3. TURVASÜSTEEMIDE PROJEKTEERIMINE	18
4. SAGEDUSMUUNDURI VALIK.....	20
5. SAGEDUSMUUNDURI ÜHENDUSSKEEM	24
6. LINTSAERAAMI HIND	29
KOKKUVÕTE	30
SUMMARY.....	32
VIITED.....	34
LISAD.....	37
LISA 1.....	37
LISA 2.....	37
LISA 3.....	38
LISA 4.....	38
LISA 5.....	39
LISA 6.....	40
LISA 7.....	41

EESSÕNA

Lõputöö teema sain ma enda praktikaettevõttest, Promeco OÜst ning tegemist on tellimustööga, kus klient soovis saada parendatud kvaliteedi ja vastupidavusega lintsakaatrit. Projekt oli mõnda aega ajapuuduse tõttu seismas ning ettevõtte tootmisjuht Andrus Kimask usaldas selle masina projekteerimise lõpetamise minu lõputööks.

Töö teema pakkus mulle huvi kuna sain selle tegemise käigus ennast arendada CAD modelleerimise vallas SolidWorksi keskkonnas. Suur osa tööst seisnebki masina mudeli valmis projekteerimisel ning sellele vastava tehnika valimisel – mootor, ülekanne, sagedusmuundur.

Tallinna Tehnikaülikooli poolne juhendaja on Mehhatroonikainstituudi nooremteadur Märt Juurma. Sooviks tänada ka professor Mart Tamret, kes aitas esialgu veidi ebamäärase teema kokku võtta ja soovitada mulle ülikooli poolse juhendaja.

SISSEJUHATUS

Lõputöö ülesandeks on projekteerida portatiivne käsiettenihkega lintsaag, mis on mõeldud lõikama palkidest puidutooteid alates servamata lauast kuni erinevas mõõdus prussideni. Kasutada saab ümarmaterjali diameetriga kuni 70 cm ning pikkus tavaliselt kuni 6 m, mida saab täiendavate alusraami moodulite abil pikendada. Saag asetseb alusraami rööbastel ning ettenihe toimub operaatori jõul. Kuna saelint liigub väga kiiresti (lindi joonkiirus 35 m/s) ei ole selle lükkamine eriti raske ning liikumise automatiseerimine ei ole vajalik.

Kuna saag tuli ettevõttesse tellimustööna, on turul olemas analoogsete masinate järgi nõudlus. Saag on mõeldud pigem väikeettevõtetele kuid sobib ka suurematele ettevõtetele kes võivad pakkuda kas seadme rendi või kliendi juures saekaatri teenuseid. Samuti ei saa välistada ka kodust kasutamist. Klientuuri poolepealt on Eestis ligi 200 väikeettevõtet kes tegelevad puidu töötlemisega ning baltikumis on selliseid ettevõtteid veidi üle 600. Sinna lisanduvad veel suuremad ettevõtted ning ka kodukasutajad.

Antud saagide analoogide turuhinnad jäävad vahemikku 3500 € – 8000 € sõltuvalt mootori võimsusest, lõigatava palgi maksimaalsetest mõõtudest ning lisavarustusest (elektriline kõrguse reguleerimine, palgi pealetõstevintsid, lisa saelindid ning teritusmasinad).

Toon välja mõned analoogid:

Nimetus	Võimsus	Maksimaalne ümarmaterjali diameeter	Hind
HUD-SON HFE 21 [10]	3,7 kW (5HP)	53 cm	3240 € (3695 \$)
Woodlawn Mills HM126E [9]	5,5 kW	66 cm	3490 €
LOGOSOL LM29 [11]	4 kW	72,9 cm	5820 €
LENNARTSFORS SMB 2155 EL [12]	5,5 kW	70 cm	7592 €

Lõputöö esimene samm minu jaoks oli olemasolevate materjalidega tutvumine – ettevõttest sain pooliku 3d mudeli ning mõned pildid analoogsest masinast, mis aitasid projekteeritavast lintsaeramist paremat ettekujutust saada. See võttis üsna kaua aega kuna ma ei ole isiklikult kunagi sellist seadet oma silmaga näinud ning pildid ei anna täit ettekujutust.

Järgnevalt tuli hakata projekteerima, mis oli algul samuti üsna keeruline. Arvestama pidi sellega, et kõik projekteeritavad detailid tuleb ka valmis toota ning seda mõistliku hinnaga. Soovitav oleks kasutada võimalikult palju standartseid komponente, mida saab osta ning mille omahind on üldjuhul kordades odavam kui ise valmistatud detailil.

Enne projekteerimisfaasi lõpetamist tuli valida ka vastav jõuülekanne, analoogil kasutati sidurimehhanismi. See oli vajalik seetõttu, et kasutatav elektrimootor ühendati sisuliselt otse elektrivõrku, mis tänapäeval ei ole enam vastuvõetav. Seega langes valik sagedusmuunduriga käivitamise ja kiilrihmaga ülekande peale – rihmülekanne on vaikne, töökindel ning sisuliselt hooldevaba. Kuna mootori võimsus oli juba varem paika pandud ei olnud ka seal suurt valikut. Seega tuli mootorile valida sobiv sagedusmuundur mis sobiks ka antud seadme kasutusotstarbega ning mis ei oleks ka ülemäära kallis.

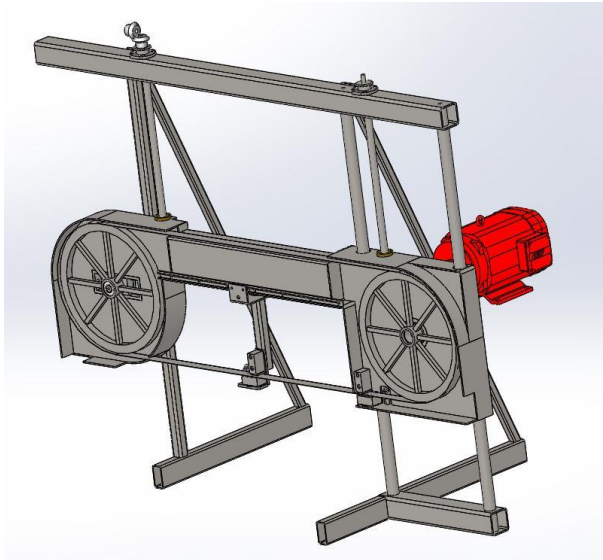
Sagedusmuunduri kasutusele võtmisega saab tõsta ka operaatori turvalisust lisades näiteks hädaseisulülitid. Lisaks sellele tuleb rõhku panna teistele operaatori turvalisusust suurendavatele osadele – liikuvate osade katmine ja näiteks ülekoormuskaitsemed. Viimase etapina tuleb uurida sagedusmuunduri juhtimist ning koostada selle juhtimisskeem.

Lõputöö tegemisel kasutasin suures osas programmi SolidWorks erinevaid versioone, mis keskkonnas toimus 3d modelleerimine ning mehaaniliste koostude loomine.

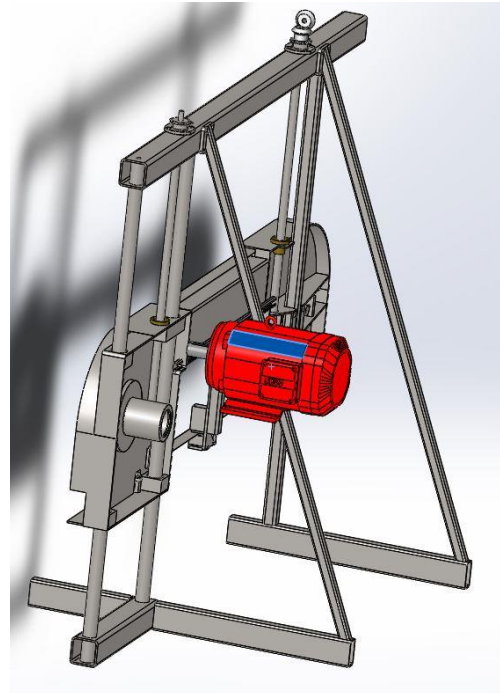
PÕHIOOSA

1. Raami projekteerimise lõpetamine

Lõputöö kõige esimese etapina tuli mul selgeks teha, mis on juba projekteeritud ja mis vajab veel tegemist. Valmis tehtud oli torudest raamitoorik ning selle külge ühendatud lindiraam koos ratastega, kõrguse reguleerimise kuulkravid, mootor ning veel mõned komponendid.



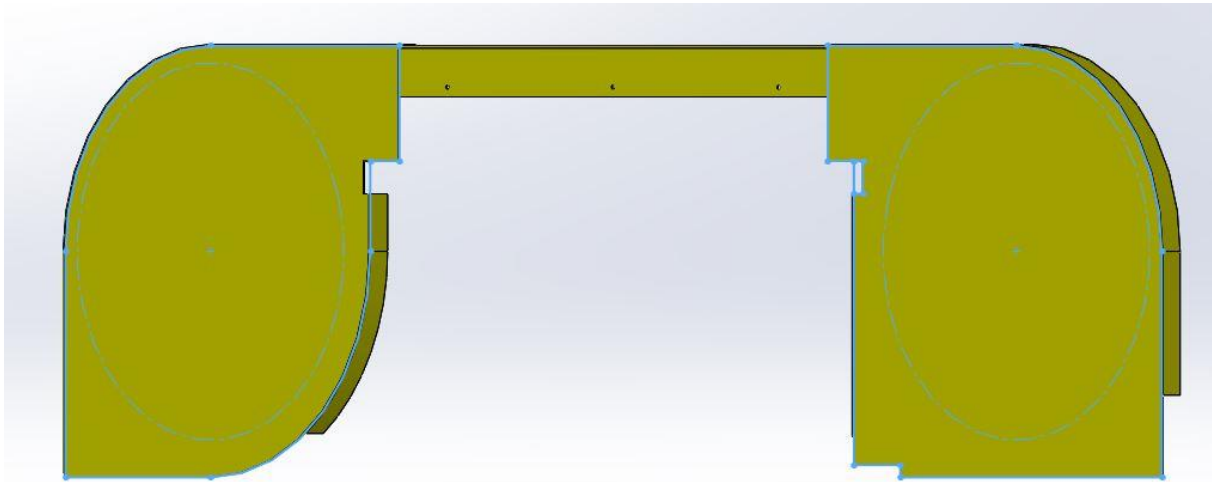
Kuvatõmmis 1.1. Raamitoorik eest



Kuvatõmmis 1.2. Raamitoorik tagant

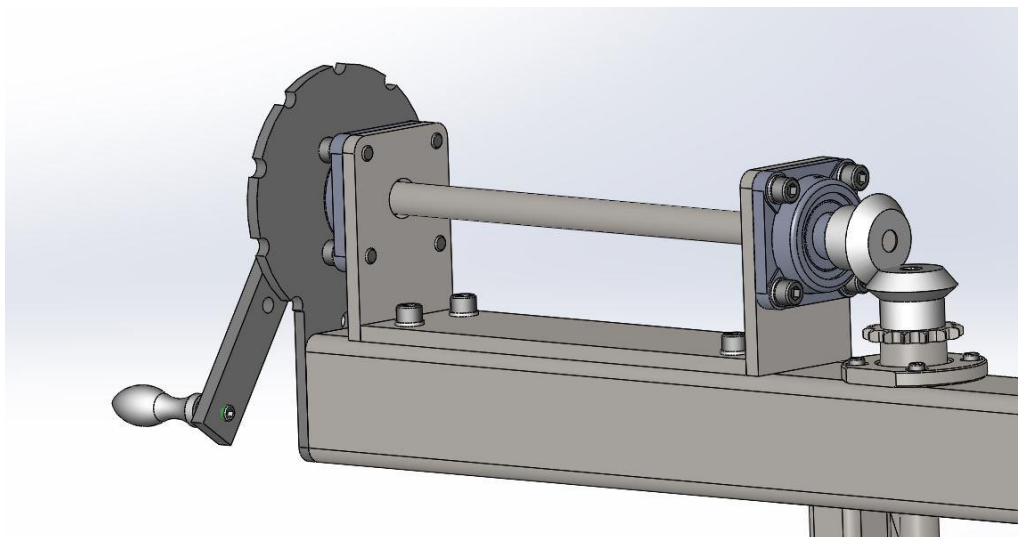
Alustasin modelleerimist lindirataste katetest, kuna need on antud töö seisukohalt väga suure tähtsusega – nimelt hoiavad nad ära esemete sattumist ligi 153 1/s nurkkiirusega pöörleva lindiratta vahele. Katete materjalina kasutan 2 mm paksust terast (S235JRG1). Vasaku ja parema lindiratta koostud koosnevad viiest osast – keskmine plaat ning kaks painutatud ääre katet, mis liidetakse omavahel keevisliitega, samuti on nende külge keevitatud ka hinged (kummalgi kaks), mille abil muutub seadme hooldamine oluliselt lihtsamaks. Keskmine lindikate on sarnaselt lindirataste katetele valmistatud 2 mm paksusest teraselehest ning on sobivaks painutatud.

Lindirataste katted kinnituvad raamile hingede ja kiirkinnititega, et lindirattaid saaks lihtsalt ja kiirelt hooldada ning puhastada. Keskmine lindikate kinnitub tagant ülekatteliitiga ning eest 5 mm ISO 7380 poltidega.



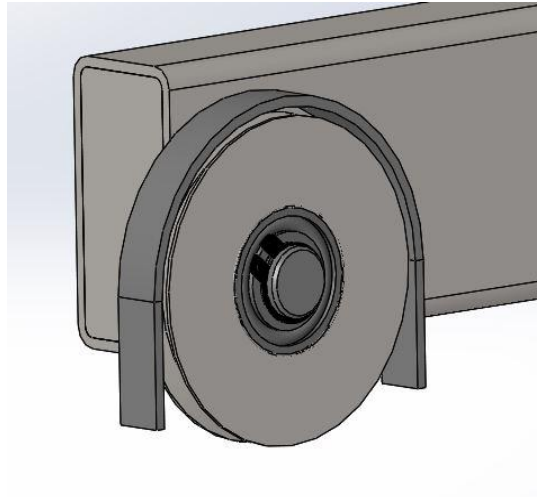
Kuvatõmmis 1.3. Lindirataste katted

Järgnevalt kõrguse reguleerimise ülekanne, operaator reguleerib saelindi kõrgust vänta pöörates ning saab selle lukustada standartsetes puidutoodete mõõtudes. Algselt projekteerisin vända võlli laagrid ise projekteeritud laagripukkidega, painutatud 10 mm terasest (S355J2G3) raamile. See idee osutus aga halvaks - esiteks laagripukkide freesimine on kallis ja teiseks nii paksu terase painutamisel on raske garanteerida kahe 90° peale painutatud tasapinna paralleelsust ning avade kontsentrilisust. Seega tuli üle minna kolmele keevisliitega detailile ning laagriteks valisin välja standardised SNR UCF204 20 mm sisediametriga laagripukid, mis on ainsad sobiva siseläbimõõduga laagripukid kasutatavate koonushammasrataste puhul. Samuti on sobiv ka laagripukkide kinnitusviis. Kinnituvad need omakorda 8 mm DIN 912 poltidega ja DIN 127 vedruseibidega, sarnaselt kinnitub lindiraami kõrguse reguleerimise koost raami külge.



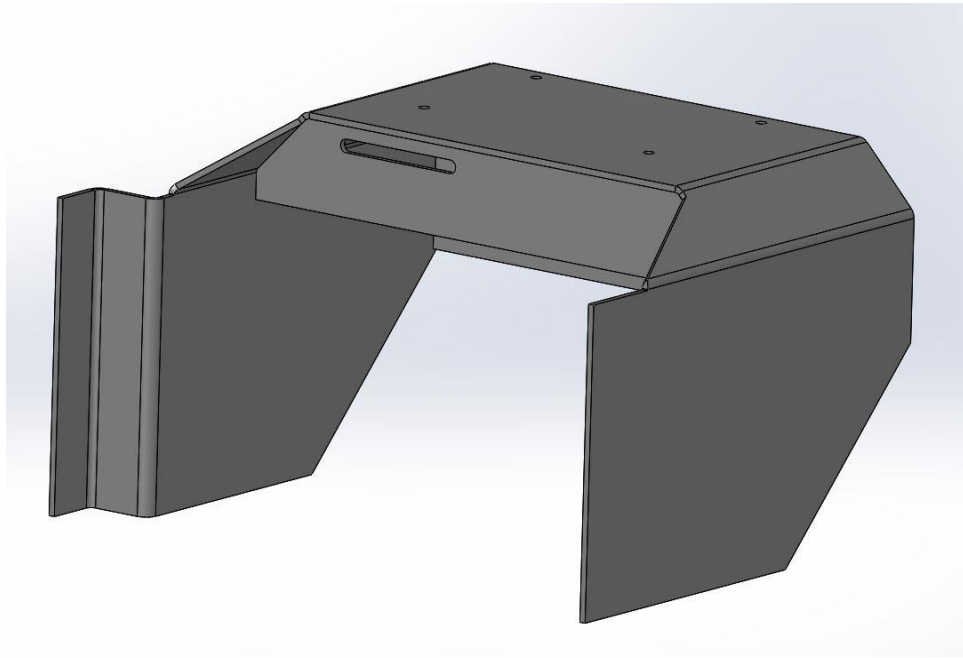
Kuvatõmmis 1.4. Kõrguse reguleerimise ülekanne

Lintsaraam liigub alusraami rööbastel topeltflantsiga 80 mm diameetriga terasratastel. Laagerduses kasutan SKF 6004 [1] laagreid, mis kinnituvad rattale pingistuga D80 H7r6 ja 20 mm diameetriga võllile siirdeistuga ning DIN 471 stopperiga. Ratast katab ka 5 mm paksusest (S355J2G3) terasest kate, mis takistab suuremate esemete sattumist ratta alla.



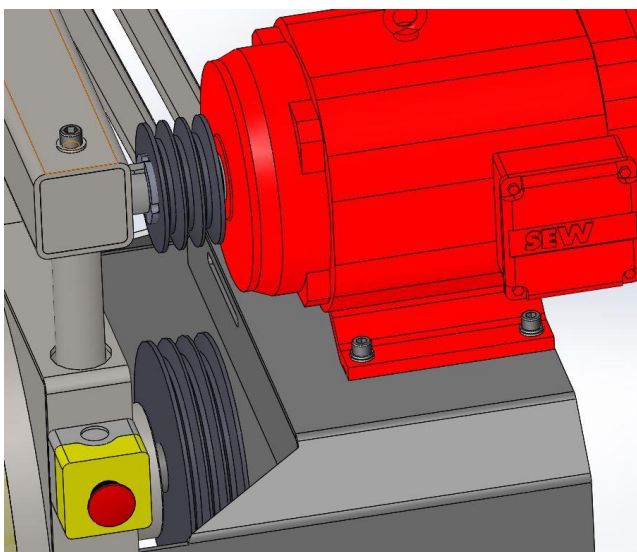
Kuvatõmmis 1.5. Saeraami rattad

Lintsaraami mootori kinnitus koosneb kolmest detailist, mis on omavahel kokku keevitatud. Kõik detailid on projekteeritud 5 mm paksusest teraselehest (S355J2G3). Nendest esimesele kinnitub otseselt mootor ning on selle koostu keerukaim osa. Terasleht on painutatud sobima ümber liugurite ning suurema jäikuse tagamiseks ning ka väikese kaalusäästu jaoks on ülemine osa kitsamaks tehtud. Loomulikult on mootorikinnituse sisse planeeritud keermetatud avad M10. Teine osa on mootorikatte tagapaneel, mis suurendab mootorikinnituse jäikust ning katab mingil määral ka alumist rihmaratast. Kolmas osa on mootorikatte tagapaneeliga üsna sarnane esipaneel, mis on lühem kui tagapaneel ning selles on olemas soon rihma pingutusrulli kinnitamiseks. Mootorikinnituse külge kinnitub ka lindirataste kate ISO 7380 M8 poltidega ning elektrikilp.

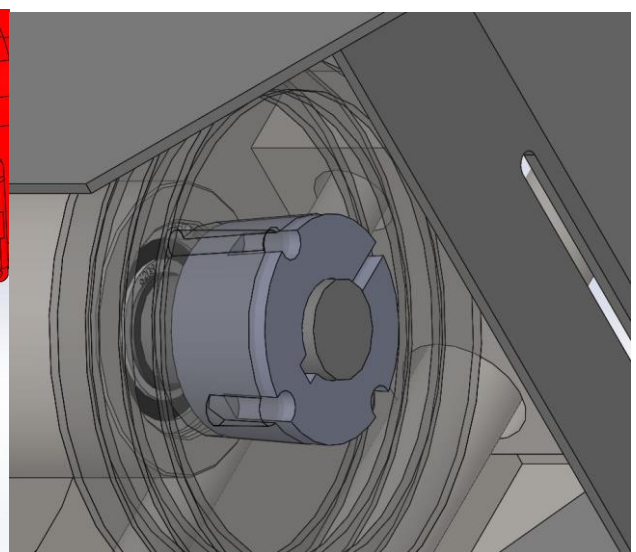


Kuvatõmmis 1.6. Mootorikinnitus

Kiilrihma arvutuste tulemusena kasutan mootori ülekandes rihma A42 koos SPA-100-3-TL1610 ja SPA-200-3-TL2517 rihmaratastega (ptk 2). Veetava ja vedava ratta tsentrite planeeritud vahekaugus on 280 mm. Rihmaratastena kasutan „traceparts“ [13] 3d osade andmebaasist STEMIN koonuspüksiga rihmarattaid. Mootori rihmaratas kinnitub TL1610 püksiga ning veetav ratas TL2517 püksiga. Lindiratta laagerduses kasutan SKF 6208-2Z laagreid [1] mis kinnituvad laagripukki DIN 472 stopperitega ning sarnaselt kinnituvad nad ka võllile DIN 471 stopperitega.



Kuvatõmmis 1.7. Rihmülekanne

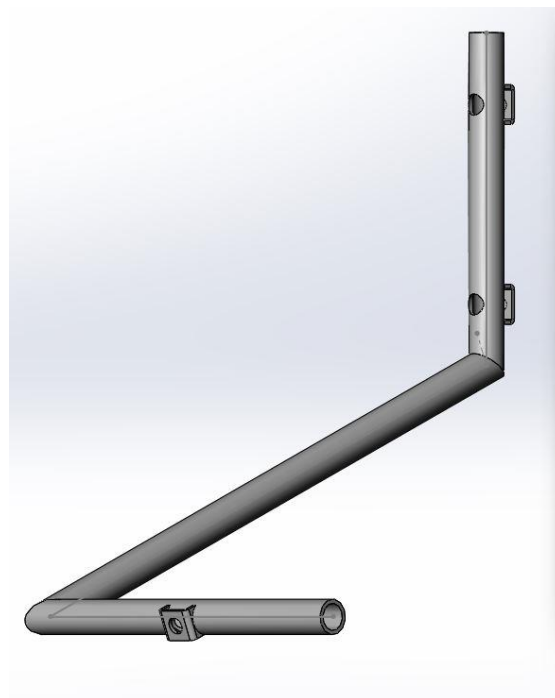


Kuvatõmmis 1.8. Veetava ratta laagerdus

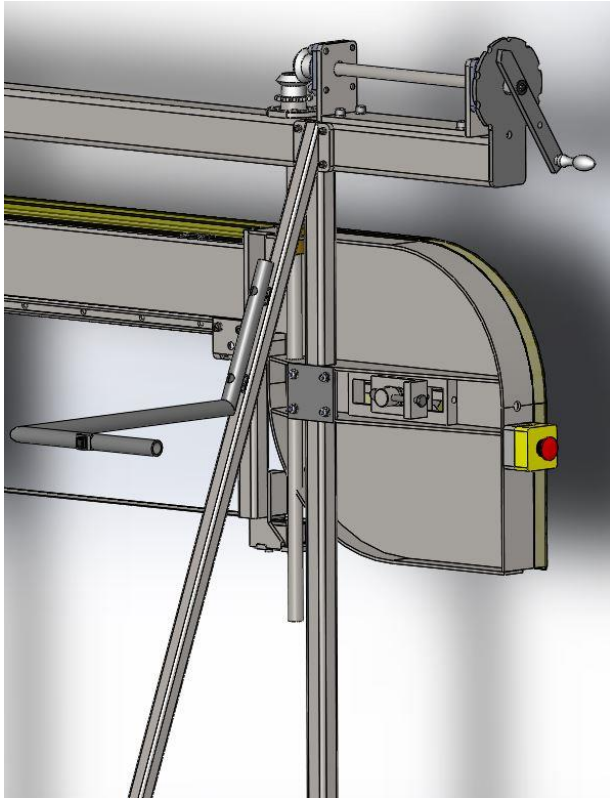
Lisaks suurematele komponentidele tuli muuta ka olemasolevaid raami osi. Tugevdada tuli kahe lindiratta raami vahelist osa, mis analoogidel purunema kippus – seega tegin selle kaks korda paksemast terasest (10 mm). See omakorda tähendas seda, et ümber tuli teha osad lindirataste raami komponendid. Mudelist puudusid raami osade omavahelised poltliited raami ülemise toru juures, need kinnitasin DIN 912 M6 poltedega ning poltide alla ka DIN 127 vedruseibid. Samuti oli puudu lindirataste korpuse vasakpoolne kinnitus, mis hoiab lindiraami seadme küljes. Selle osa jaoks tegin juurde kinnitusplaadi, läbi mille kinnitub lindiraam ISO4017 M8x25 poltide ja DIN 985 mutritega, poldi pea ja raami vahel on veel DIN 127 vedruseib ning mutri all DIN 125 seib.

Käepideme lahendus on lihtne kolmest osast koosnev keevisühendustega 26,9 x 3,2 mm toru, millele kinnitub keevisühendusega kaks klambrit, mis hoiavad käepidet seadme diagonaaltoru küljes ning sarnane klamber mootori käivitusnupu tarvis. Käepide kinnitub läbi klambrite raami külge M8 DIN 912 poltidega, poldi all ka DIN 127 vedruseibid.

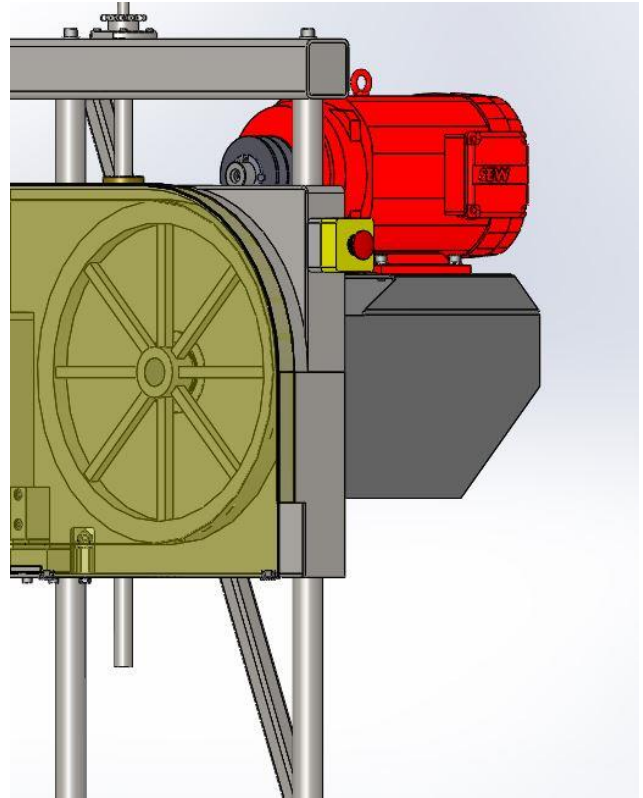
Raamile tuli ära mahutada ka hädaseisu nupud, mida algselt sellele saeraamile projekteeritud ei olnud, seega puudus ka vaba pind nende jaoks. Ümber tuli teha osa mootorikatetest ning ka lindirataste raami osasid. Hädastopi nuppudena kasutan standartseid Lovato LPZP 1A5 pritsmekindla korpusega hädaseisunuppe. Nupud on seadme mõlemal küljel hästi ligipääsetavates kohtades.



Kuvatõmmis 1.9. Saeraami käepideme koost

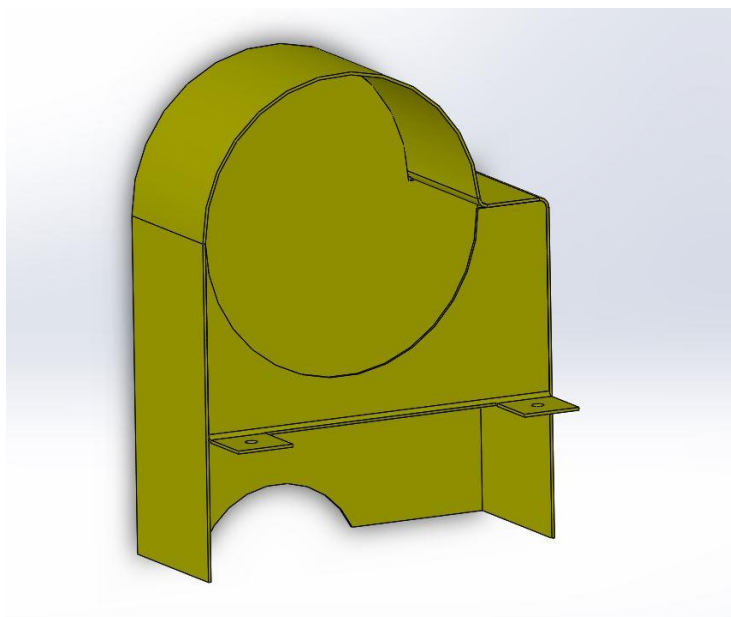


Kuvatõmmis 1.10. Vasak hädaseisunupp, käepide ning raami ühendused



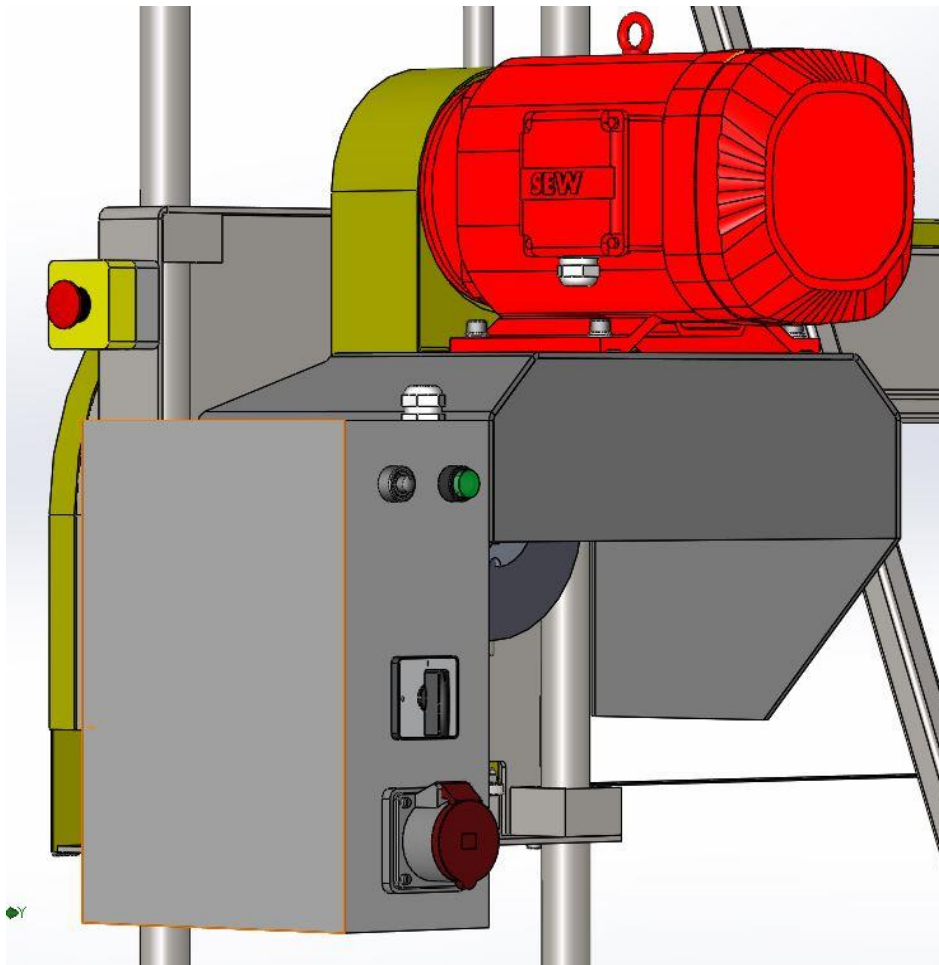
Kuvatõmmis 1.11. Parem hädaseisunupp

Peale rihmülekande projekteerimist (ptk 2) tuli valmis teha ka rihmarattaid ja rihmu varjav kate. Kate koosneb kolmest detailist, kaks otsmist plaati ning painutatud keskmine osa mille külge on otsakatted keevitatud. Kate kinnitub omakorda mootorikinnituse külge M8 ISO 7380 poltidega läbi mootoripoolse plaadi painutatud nurkade.



Kuvatõmmis 1.12. Rihmarataste kate

Peale sagedusmuunduri valikut (ptk 4) sain projekteerida ka elektrikapi mõõtmed. Ettevõtte standardjuppide kataloogis oli mitmes mõõdus kappe, millest valisin kapi mõõtmetega 400x300x155 mm. See kapp jätab täpselt ruumi sagedusmuundurile ja selle juhtmestikule ning ei ole samas ülemäära suur. Kuna seadme operaatoril ei ole vaja igapäevaselt seadmesse läbi klaviatuuri andmeid sisestada siis ei ole väga oluline ka sellele ideaalne ligipääs. Seadme juhtimine toimub elektrikilbi pealt – sinna on toodud nupud lintsaeraami kasutamiseks. Kapi külje ja klaviatuuri vahele jääb vaba ruumi veidi üle 100 mm, mis peaks olema piisav, et sinna vajadusel ligi pääseda.



Kuvatõmmis 1.13. Elektrikilp

2. Rihmülekande projekteerimine

Kiilrihma arvutused tegin I.Penkov-i Masinatehnika MHE0061 harjutustunni konspekti alusel.
[15]

Kiilrihm ülekande arvutamine algab rihma geometria välja selgitamisest. Teada on saelindi kiirus $v = 35 \text{ m/s}$ ning lindiratta diameeter $D = 460 \text{ mm}$. Avaldame nurkkiiruse ω_2 :

$$\omega_2 = \frac{|v| \sin \theta}{|r|} = \frac{35 \cdot \sin 90^\circ}{0,23} = 152,74 \text{ 1/s}$$

Mootori andmelehest [Lisa 3] tuleb välja, et maksimaalselt lubatud kiirus on.

$$2890 \text{ 1/min} \sim \omega_1 = 302,64 \text{ 1/s}$$

Avaldame teoreetilise ülekandesuhte u_t :

$$u_t = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{302,64}{152,74} = 1,98$$

Vedava rihmaratta maksimaalne pöördemoment on 18,2 Nm. Selle pöördemomendi ülekandmiseks on soovitatav kasutada rihma ristlõikega A [Lisa1]. Valitud rihma minimaalne vedava rihmaratta diameeter on 63 mm, valin Alas-Kuuli kodulehelt [2] väikseima saadavaloleva rihmaratta diameetriga $D_1 = 100 \text{ mm}$. Veetava rihmaratta leian arvestades suhtelist libisemist $\varepsilon = 0,015$.

$$D_2 = U_t \cdot D_1(1 - \varepsilon) = 1,98 \cdot 100(1 - 0,015) = 187,15 = 195,03 \text{ mm}$$

Valime veetava ratta diameetri $D_2 = 200 \text{ mm}$.

Avaldame minimaalse a_{\min} ja maksimaalse a_{\max} telgede vahe:

$$a_{\min} = 0,55(D_1 + D_2) + h = 0,55(100 + 200) + 8 = 173 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 2(D_1 + D_2) = 2(100 + 200) = 600 \text{ mm}$$

Mudelit kontrollides valin telgede vaheks $a = 280 \text{ mm}$.

Avaldan rihma pikkuse L:

$$L=2a + \frac{\pi}{2}(D_1+D_2) + \frac{(D_1+D_2)^2}{4a} = (2 \cdot 280) + \frac{\pi}{2}(100 + 200) + \frac{(100+200)^2}{4 \cdot 280} = 1111,6 \text{ mm}$$

Valin standartse rihma pikkuse Alas-Kuuli kodulehelt [3] A42 13x1097 mm, valisin lühema rihma kuna mootori kinnituse paigutust on mudelis parem tuua veetavale rattale lähemale kui viia eemale.

Teoreetiline keskmine ratta läbimõõt D_k :

$$D_k = 0,5 \cdot (D_1 + D_2) = 0,5 (100 + 200) = 150 \text{ mm}$$

Sel juhul telgede vahe a:

$$\begin{aligned} a &= 0,25[L - \pi D_k + \sqrt{([L - \pi D_k]^2 - 2[D_2 - D_1]^2)}] = \\ &= 0,25[1097 - \pi \cdot 150 + \sqrt{([1097 - \pi \cdot 150]^2 - 2[200 - 100]^2)}] = 304,68 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rihma paigaldamiseks ja eelpingestamiseks tuleb ette näha telgede vahekauguse võimalikku vähendamist 0,01L (11 mm) ja suurendamist 0,025L (27,4 mm) ulatuses.

Vedava ratta haardenurk α :

$$\alpha = 180^\circ - 60 \frac{D_2 - D_1}{a} = 180 - 60 \frac{200 - 100}{304,68} = 160,3^\circ$$

Rihma kiirus:

$$v = \frac{\omega_1 D_1}{2} = \frac{302,64 \cdot 0,1}{2} = 15,13 \text{ m/s}$$

Sel juhul ühe rihmaga ülekantav ringkoormus $F_0 = 138 \text{ N}$ [Lisa 2]

Lubatav ringkoormus $[F] = F_0 C_\alpha C_L C_p$, kus:

- C_α - haardenurga tegur;
- C_L - rihma pikkuse tegur;
- $C_p = 1,2$ - töörežiimi tegur - valitud nii et, mootorile ohtlikud löögid läbi libiseks.

$$C_{\alpha} = 1 - 0,003 \cdot (180 - \alpha) = 1 - 0,003 \cdot (180 - 160,3) = 0,96$$

$$C_L = 0,3 \frac{L}{L_0} + 0,7 = 0,3 \frac{1,097}{1,7} + 0,7 = 0,89$$

Kus $L_0 = 1,7$ m – standartse kiilrihma pikkus [Lisa 1]

$$\text{Lubatav ringkoormus } [F] = F_0 C_{\alpha} C_L C_p = 138 \cdot 0,96 \cdot 0,89 \cdot 1,2 = 141,5 \text{ N}$$

Summaarne ringkoormus F_r , kus:

- $\eta_1 \approx 0,95$ – rihmülekanne kasutegur,
- $\eta_2 \approx 0,99$ – laagripaari kasutegur.

$$F_r = \frac{P}{\eta_1 \eta_2} = \frac{5500}{15 \cdot 0,95 \cdot 0,99} = 389,8 \text{ N}$$

Rihmade arv Z :

$$Z = \frac{F_r}{[F]} = \frac{389,8}{141,5} = 2,7$$

Seega saab kasutada kolme A42 rihma koos SPA-100-3-TL1610 ja SPA-200-3-TL2517 rihmaratastega.

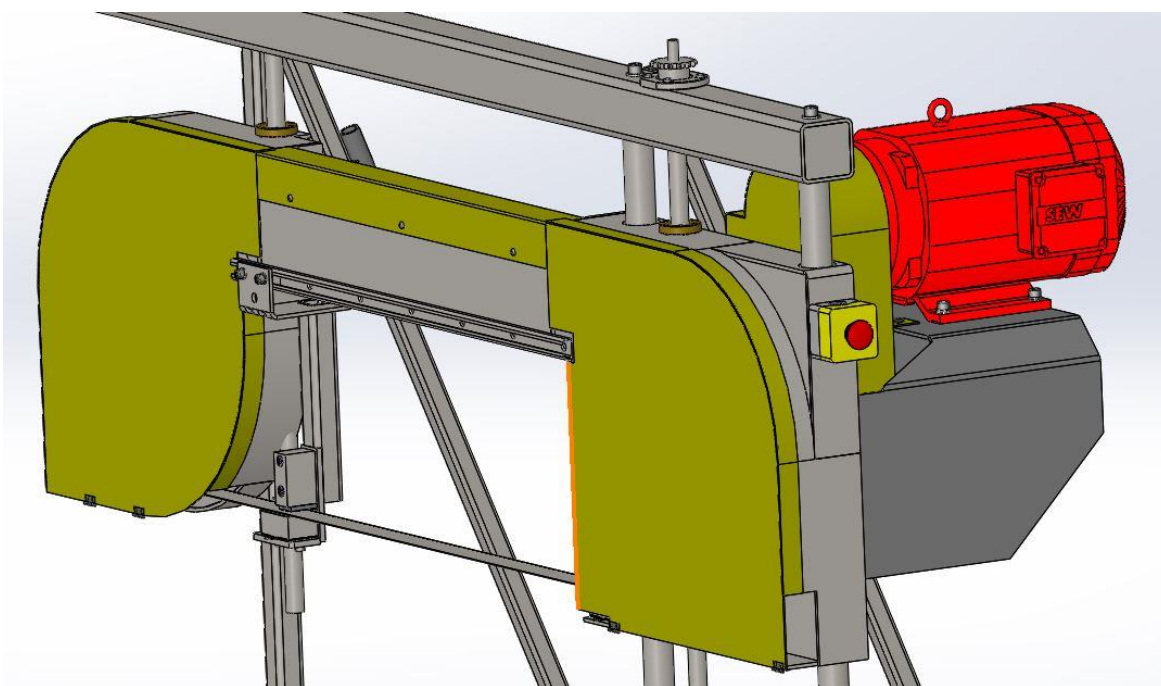
Kontrollisin tulemusi „Gates Design Flex Pro“ tarkvaraga, mis andis samade rihmarataste diameetrite ja tsentrite vahekauguse korral erinevaid rihmavalikuid. „Delta Classic – A“ rihmaga pakkus programm rihmade arvuks 2 ja rihma pikkus A40 (1046 mm). Jään siiski oma arvutustele kindlaks, kuna programm soovitas väga erinevaid lahendusi mis tekitas kahtlust nende õigsuses. Peale selle on arvutuste tulemusena saadud rihmade arv suurem kui programmis, mis peaks tagama suurema töökindluse, kuna ühele rihmale langeb väiksem koormus.

3. Turvasüsteemide projekteerimine

Projekteeritava lintsaeraami näol on tegemist väga ohtliku seadmega, siis peab suurt rõhku pöörama turvalisusele, nii operaatori, kõrvalseisjate kui ka masina enda suhtes. Lintsaeraamil on palju kiiresti liikuvaid osasid sealhulgas saelint, lindirattad ning ka mootor koos rihmarataste ja rihmaga. Seadme turvalisuse tagamine algab peale selle liikuvate osade katmisest, et sinna ei satuks ebavajalikke esemeid ega kellegi näppe. Saeraami rattad pöörlevad kiirusega 152,74 1/s ning oma suuruse tõttu omavad nad ka päris suurt inertsi, seega peavad need olema eriti korralikult kaetud. Projekteerisin lindiratastele 2 mm paksusest lehtterasest katted, mis varjavad rattad täielikult ning peaksid operaatorit kaitsma isegi siis kui lindiratas oma kinnitustest lahti tuleb ja vastu katet puutub.

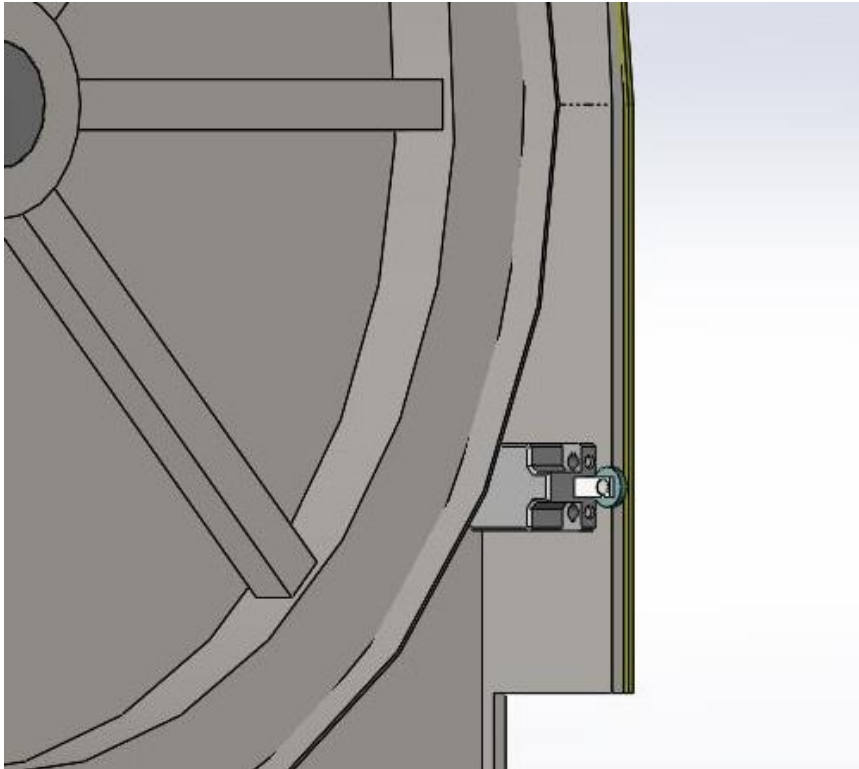
Peamine ohuallikas on siiski kuni 35 m/s liikuv saelint, mis on mõeldud kiirelt ja vaevatult läbi saagima kuni 70 cm diameetriga palke. Saelinti katavad nii lindirataste katted kui ka kahe ratta vahelt ülevalt raami kohalt samuti 2 mm paksusest lehtterasest kate. Linti toestavad seda vedava ratta juurest juhik ning raami keskel olev juhik, mille abil seadistatakse lõigatava palgi või toote laiust. Selle juhiku külge on plaanis lisada väljatõmmatav kate, mis katab tööd mitte tegeva saelindi osa.

Rihmaratasteid ja rihmasid katavad lintsaeraamil külgedelt ja altpoolt mootorikinnitus ning pealtpoolt on sarnaselt teistele katetele kasutuses 2 mm paksune terasest kate.



Kuvatõmmis 3.1. Lintsaeraami turvaelemendid – tähistatud kollasega

Kuna lindirataste katted pakuvad kaitset ainult siis kui nad on korrektselt kinnitatud siis võiks ettevaatusabinõuna lintsaeraamile kinnitada lõpulülitid. Lüliti oleks ühendatud jadamisi hädastoppidega samasse ahelasse ning ei lubaks seadet kasutada kui katted ei ole korrektselt oma kohale kinnitatud ja lüliti alla vajutatud. Lülititena kasutan „General Electric IZMR-B211“ lüliteid, valisin just need kuna tegemist on kompaktsel lülitiga, mis esiteks mahub katte alla ära ning on ka tolmukindel. Lõpulülitid on siis paigaldatud saeraamile nii vasaku kui parema katte kohalolekut kontrollima.



Kuvatõmmis 3.2. GE IMZR-B211 Lõpulüliti lindiratta katte kontrollimiseks.

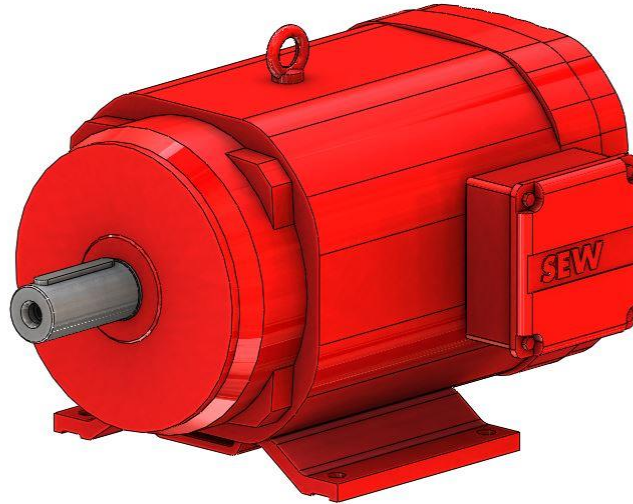
Sagedusmuunduri kasutuselevõttuga saab ära kasutada SEW-Eurodrive DRE132S2 AC mootori suurt plussi milleks on üsna võimekas mehaaniline pidur, mille pöördemoment 40 Nm ületab mootori oma rohkem kui kahekordselt. Seega on otstarbekas kasutada masina seiskamiseks hädaolukorras just seda meetodit, kuna elektroonilised pidurdusviisid ei ole piisavalt kiired ja võimsad. Lintsaee kiireks seiskamiseks on mõlemale küljele lisatud hädaseisunupud (Kuvatõmmised 1.10 ja 1.11), mis peaks juhtima just seda mehaanilist pidurit. Seevastu tavaolukorras on hea kasutada näiteks alalisvoolu sisestusega pidurdamisviisi, mis on enamikesse sagedusmuunduritesse sisse ehitatud.

4. Sagedusmuunduri valik

Asünkroonmootorite kiiruse muutmiseks tuleb muuta mootori sisendvoolu sagedust, seda saab teha muutes inverterist tuleva väljundvoolu sagedust, muutes sellega sünkroonkiirust. Kuid ainult mootori sisendvoolu sagedust vähendades suureneb püsivas elektriväljas voog. See omakorda suurendab mootori pöördemomenti ja voogu põhjustavat elektroovoolu, tuues kaasa mootori kuumenemise. Sama efekt toimib ka vastupidi, suurtel sagedustel väheneb voog ning mootori pöördemoment väheneb. Seega tuleb muuta koos sisendvoolu sagedusega ka pinget, kus maksimaalsele sagedusele jõudes on ka maksimaalne pinge ning kui vähendatakse üht parameetrit väheneb ka teine. Kõige lihtsamal juhul on pinge ja sageduse suhe konstantne $U/f = \text{const}$ ning sellist juhtimisloogikat nimetatakse skalaarjuhtimiseks. Lisaks peaks veel välja tooma, et põhiline on just sageduse kontrollimine kuna juba väike sageduse muutus kutsus esile suuri muutusi mootori pöördemomendis. [22, 23]

Vektorjuhtimine erineb skalaarjuhtimisest põhiliselt selle poolest, et vektorjuhtimisel on kasutuses dünaamilised mootorimudelid. Seega võetakse arvesse mootori elektriabelates toimuvad protsessid ja olekumuutujatena toimuvaid vahelduvvoolu suurusi käsitletakse hetkeväärtustena. Vektorjuhtimise põhiline eesmärk on tagada jõudlus muutuvates kiiruse ja momendi tingimustes. Vektorjuhtimise nimetus on kasutusele võetud seetõttu, et mootori olekumuutujate hetkeväärsusi saab esitleda ruumis pöörlevate vektoritega. [22, 23]

Sagedusmuunduri valikul tuleb lähtuda mootori parameetritest [Lisa, tabel 3], SEW-Eurodrive DRE132S2 puhul on tegemist 2 pooluselise, 3 faasiga asünkroonmootoriga. Lisaks võiks veel mainida, et tegemist on suurendatud efektiivsusega mootoriga, mis vastab efektiivsusklassile IE2. Mootor töötab 400 V nimipingega, nominaalvool on 10 A ning nimivõimsus 5.5 kW.



Kuvatõmmis 4.1. SEW DRE132S2

Muunduri valimisel on tähtis ka koormuse iseloom, antud juhul on koormus muutuv ning sõltumatu mootori kiirusest. Maksimaalset pöördemomenti on vaja ainult saematerjali löikamise hetkeks, ülejäänud hetkedel ei pea mootor töötama täiel võimsusel. Seega võiks kasutada vektorjuhtimist ning hoida oluliselt kokku elektrienergiat.

Järgmine oluline parameeter on sagedusmuunduri kiiruse vahemik, tavaolukorras tuleb kasutada vähemalt 80 % mootori maksimaalsetest pööretest. Vastasel juhul võib mootor ilma lisajahutuseta üle kuumeneda. [23]

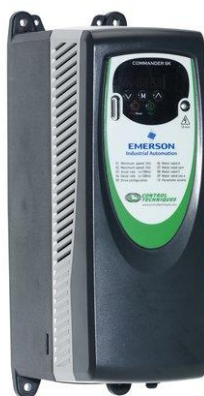
Turvalisuse eesmärgil võiks sagedusmuunduril olema mehaanilise piduri kasutamise võimekus, kuna mootoril on see olemas. Samuti peaks saama ühendada sellega hädaseisunuppe mootori kiireks peatamisest ohu korral. Mootori käivitamine toimub käepidemelt eraldi nupuga ning mootori kiirust peaks saama seadistada potentsiomeetriga ilma sagedusmuundurit ümberseadistamata.

Esimene variant on Control Techniques Commander SK 5.5 kW 400 V (SKD3400550) [16]. Tegemist on mitmekülgse sagedusmuunduriga mis sobib kasutamiseks mitmetes kasutusvaldkondades sh pumpade, konveierite, mikserite ning peaks sobima ka lintsaeraamil kasutamiseks.

Toon välja mõned SKD3400550 tähtsamad omadused:

- asünkroonne vektorjuhtimine või otsene pöördemomendi juhtimine;
- Seadistatavad 4 digitaalset sisendit, 1 digitaalne sisend/väljund, 2 analoogsisendit ja 1 analoogväljund;
- DC sisestus pidurdusrežiim ja regeneratiivne pidurdamine;
- sisseehitatud PLC (programmeeritav loogikakontroller) funktsioonid koos standard loogika-, matemaatiliste- ja ajafunktsioonidega, seadmega kaasas standardtarkvarapakett;
- modbus RTU RS485 läbi RJ45 pistiku;
- suurus D, 115x189x355 mm, 4,7 kg [Lisa 4];
- energiasäästu funktsioonid;
- hind 1136,4 € (uus) – Northen industrial [21].

Samuti on Commander SK seadistamine muudetud väga lihtsaks – kümme olulisemat parameetrit on välja toodud muunduri esikaanele, et neid saaks lihtsalt ja kiirelt muuta seal asuva klaviatuuriga. Lisaks sellele saab kaasas oleva tarkvaraga seadistada parameetrid välisele andmekandjale ja sellega kiirelt seadistada mitmeid muundureid.



Pilt 4.1 SKD3400550 [27]

Kuna kasutatav mootor on SEW toodang siis oleks otstarbekas uurida sama tootja muundureid – MOVITRAC MC07B (055-5A3-4-00) AC 400 V 5,5 kW on SEW mudelivalikus üks lihtsamaid ja kindlasti soodsamaid mudeleid. Tegemist on uuema tüüdi muunduriga, mis on loodud kompaktselt ning modulaarseks kasutusvaldkonnale kohandatavaks. Kasutusvaldkonnad on sisuliselt samad mis eelnevalt mainitud Commander SK muunduril.

Toon välja mõned tähtsamad omadused:

- skalaarjuhtimine;
- DC pidurdamine, limiteeritud regeneratiivpiduramine;
- energiasäästu funktsioonid;
- hind 750 € (kasutatud) -PCB equipment [20];
- suurus 2S, 105x238x325 mm.

Sellega kahjuks kõik lõpeb, kuna tegemist on mudulaarse seadmega puuduvad tal paljud funktsioonid mis on olemas Commander SK muunduril. Näiteks modbus on tellitav lisavarustusena, sama kehtib ka klaviatuuri kohta. Sisseehitatud PLC funktsionaalsus puudub seadmel sootuks ning midagi ei ole mainitud ka kaasa tuleva tarkvara kohta.



Pilt 4.2. SEW MOVITRAC MC07B [18]

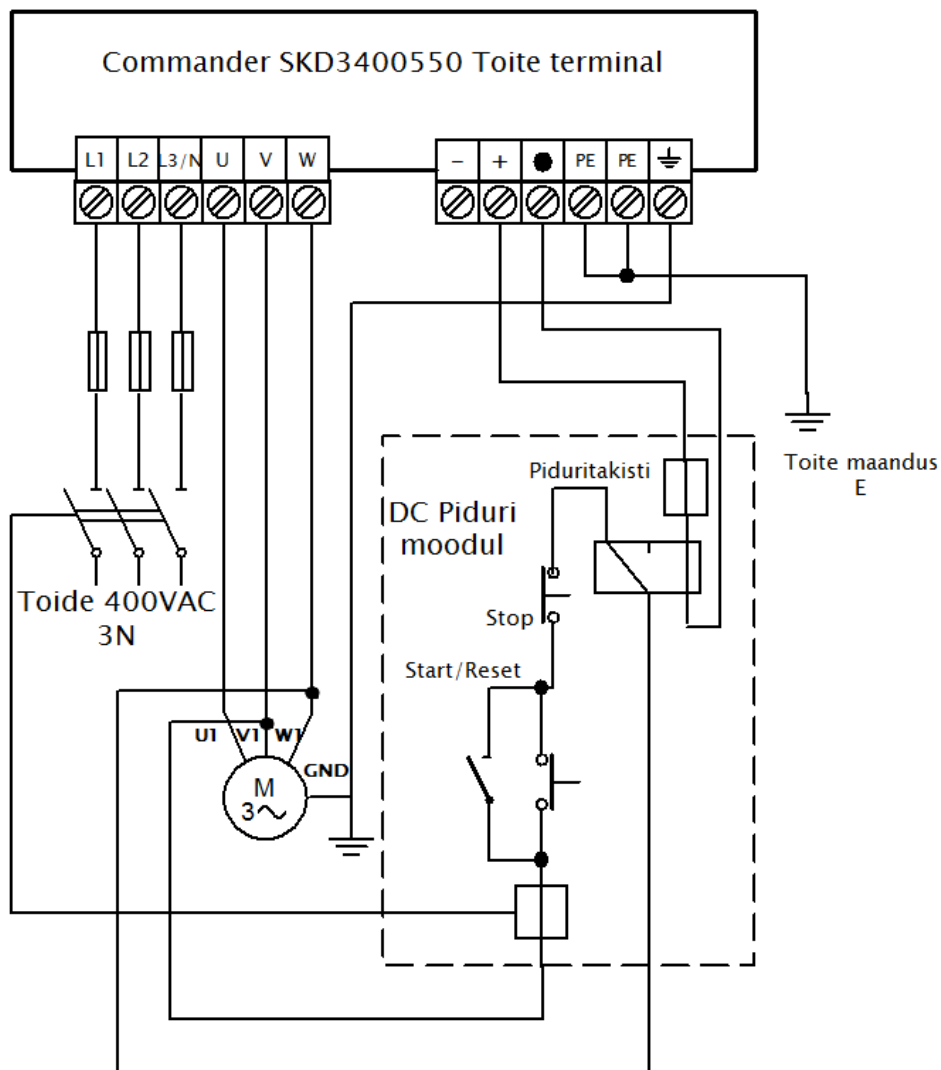
Seega langeb valik Control Techniques Commande SK SKD3400550 kasuks, kuna sellel muunduril on suurem funktsionaalsus – Modbus, PLC funktsioonid ja tarkvarapakett. Samuti saab kasutada vektorjuhtimist mis antud koormamise tüübil on optimaalsem kui skalaarjuhtimine.

5. Sagedusmuunduri ühendusskeem

Enne sagedusmuunduri elektriskeemi koostamist on kindlasti kasulik tutvuda seadme ohtusinformatsiooniga. Kuna muunduri sisend- ja väljundvoolud on kõrged, ning ka pinge on 400 VAC lähedal peaks seadme ühendama kindlasti koolitatud oma ala asjatundja. Toon ka välja olulisemad ohutusmärkmehd:

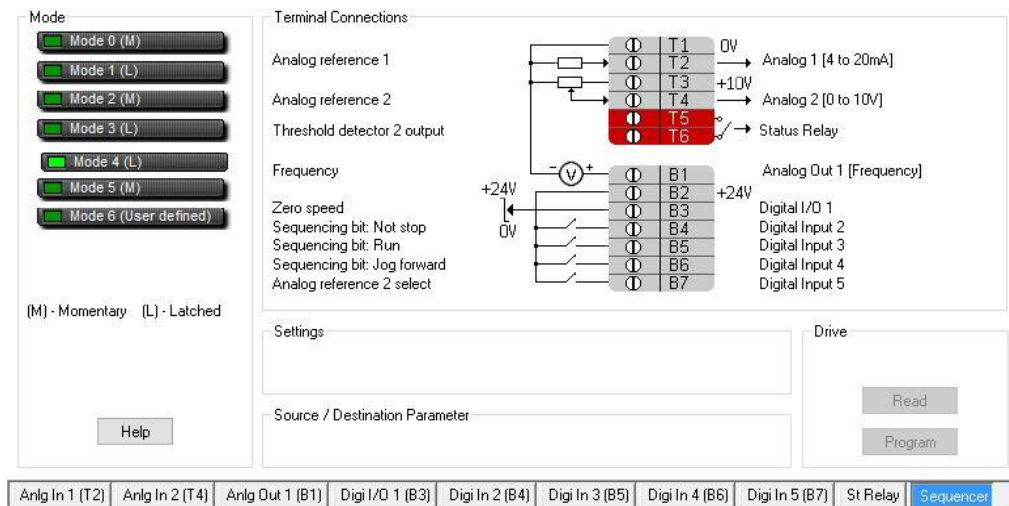
- START ja STOP nuppude peale ei tohi kindel olla, need ei isoleeri seadet vooluvõrgust ning enne seadme juhtmestikuga töö tegemist peab sagedusmuundur kindlasti olema vooluvõrgust lahti ühendatud.
- Sagedusmuundurit tohib kasutada ainult kuivas keskkonnas ning selle ei tohiks rakendada liigseid füüsilisi koormusi.
- Kasutatav elektrimootor peab olema nõuetekohaselt kinnitatud ning väljundvõll peaks olema kaetud.
- Mehaanilise piduri funktsioonid on mõeldud seadme peatamiseks mitte seadme paigal hoidmiseks.
- Mootori parameetrid tuleb sisestada korrektselt, väärade väärtuste sisestamine võib põhjustada laiaulatusliku kahju.
- Elektrilöögi oht on suur seadme sisendkaabeldusel ja elektriühendustes, samuti ka väljundjuhtmetes ja elektriühendustes.
- Sagedusmuunduri sisekomponentidel võib säilida laeng isegi peale selle vooluvõrgust lahti ühendamist.

Koostas in mootori SEW DRE132S2 ja sagedusmuunduri Control Techniques SKD3400550 ühendusskeemi. Sagedusmuundurit toidab 400 VAC tööstusvool, mootor kasutab tähtühendust – pingega 0 -460 VAC, sagedustel kuni 1500 Hz. Lisaks on juures DC piduri mooduli skeem, piduritakisti minimaalne väärtus sellele muundurile on 53 Ω .



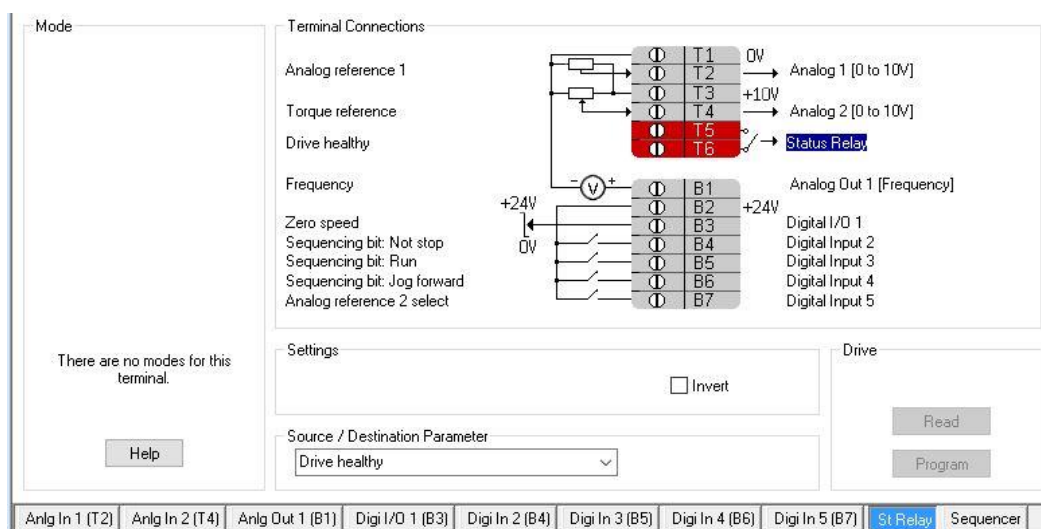
Joonis 5.1 Mootori ja sagedusmuunduri ühendusskeem

Järgnevalt on oluline valida õige sisend-väljund parameetrid, kasutan selleks konfigureerimistarkvara „Control Techniques CT Soft“, kus saab seadistada kõiki kasutatava muunduri parameetreid. Programm pakub terminali seadistamiseks välja viis erinevat eelnevalt salvestatud seadistust, lisaks nendele on veel üks täielikult kasutajale kohandamiseks jäätud valik. Esialgne valik langeb „Mode 4“ peale, kuna seal on digitaalsed sisendid seatud sobivalt. Nimelt on B4 kontaktis, ehk riistvara käivitamises „not stop“ seade, mida saaks kasutada läbi hädaseisu nuppude ja lisaks neile veel „Enable“ nupu. See tähendab seda, et kui vajutada hädaseisunuppu, avaneb selle kontakt ning muundur saab seiskamise signaali.



Kuvatõmmis 5.1 CT Soft, terminali seade 4

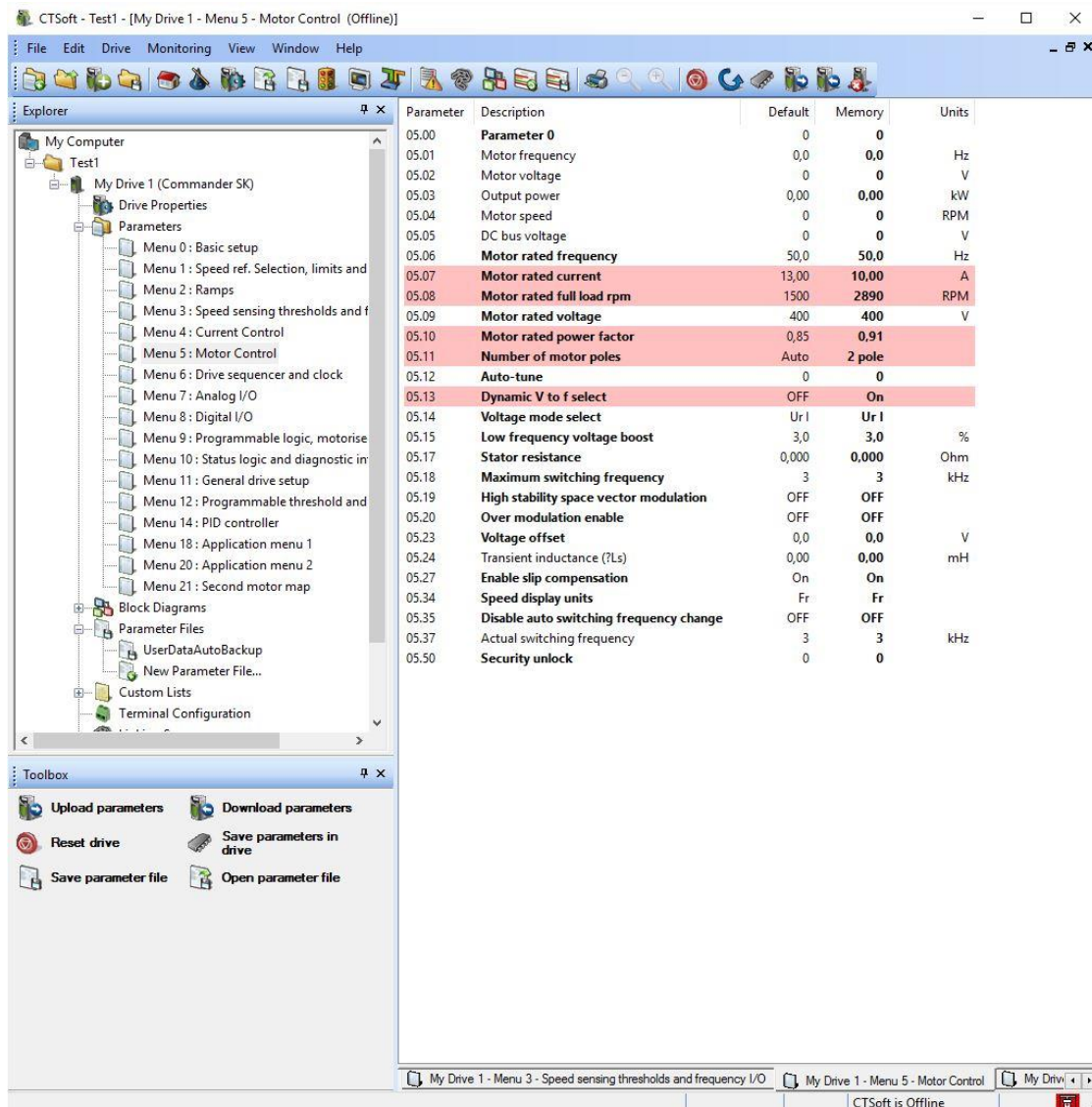
Kahjuks puudub antud konfiguratsioonis kiiruse muutmise seade, seega tuleb luua läbi „Mode 6“ uus seade, mis lubaks potentsiomeetri abil kiirust muuta. Seega muudan terminalis T1 ühenduse potentsiomeetri seadesse mille abil saab kiirust muuta läbi sisendpinge muutmise 0 ja 10V vahel ja T2 relele panen pöördemomendi muutmise sättesse, kuigi esialgu ei ole plaanis seda kasutada kuid annab vajadusel selle võimekuse. Samuti tuleb muuta „Status Relay“ T5 ja T6 konfiguratsiooni, sisestades sinna parameeter „Drive healthy“ – mille abiga saab läbi kontaktori Siemens 3RT1016-1JB42 [30] kasutada elektromehaanilise piduri võimekust. Seega kui sagedusmuundurisse tuleb STOP signaal muutub „Drive healthy“ signaal inaktiivseks ning kontaktor ühendab kontaktid ja elektromehaaniline pidur aktiveerub. B6 ja B7 klemmid võib hetkel tühjaks jätta, kuna neid režiime seadme tavapärasel kasutamisel vaja ei ole. Samuti ei kasuta reaalsuses ka kontakti B4 – nullkiiruse digitaalväljundit.



Kuvatõmmis 5.2 CT Soft, terminali seadistamine

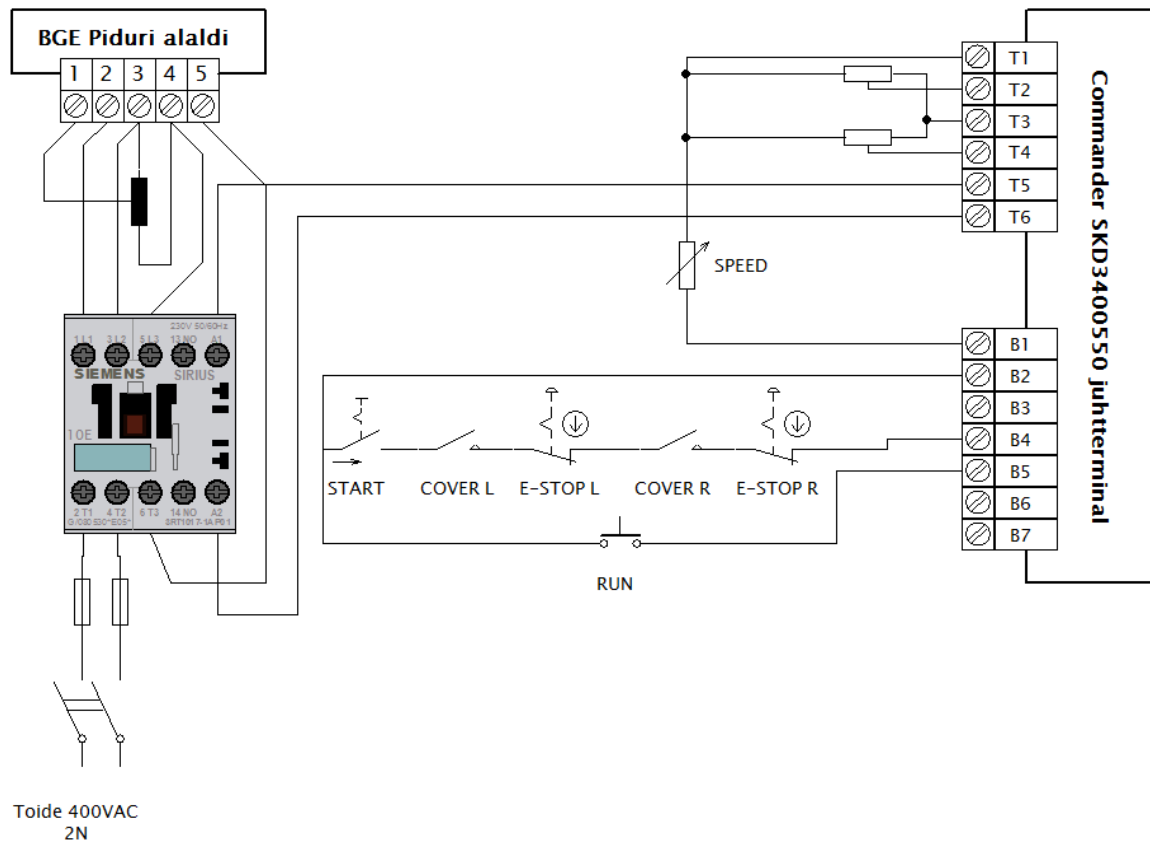
Samuti on oluline sisestada „CT Softi“ tarkvarasse õiged mootori parameetrid mille leiab kas mootori nimeplaadilt või andmelehest [3].

Nagu varem mainitud on hea kasutada vektorjuhtimist energia kokkuhoiu eesmärgil. Seega tuleks aktiveerida ka „High stability vector modulation“ ning „Dynamic V to f select“. Peale nende muutsin veel parameetri „Brake controller enable“ rEL seadele mis aktiveerib pidurikontrolleri läbi varem seadistatud rele väljundi.



Kuvatõmmis 5.3 CT Soft – Parameetrite seadmine

Lähtudes valitud seadistustest koostasin ühendusskeemi.



Joonis 5.1 Sagedusmuunduri juhtterminali ja mootori piduri ühendusskeem

Seadme juhtimine toimub järgnevalt:

1. Operaator ühendab seadme voluvõrku.
2. Lülitab kilbilt sisse voolu.
3. Vajutab „START“ nuppu, mis aktiveerib muunduri.
4. Valib „SPEED“ potentsiomeetrilt kasutatava kiiruse.
5. Käivitab ajami käepidemelt „RUN“ nupu abil, ajam peatub nupu lahti laskmisel.

Ohuolukorras vajutatakse hädaseisu nuppu, mis katkestab „START“ ahela ja kontaktor aktiveerib elektromehaanilise piduri.

6. Lintsaeraami hind

Koostas in hinnangulise tabeli seadme maksumuse kujunemisest, helesinisega tähistatud detailid tulevad tellimustena ning nende hind pole lõplik. Valged read tähistavad Promeco OÜ andmebaasis olemasolevate detailide hinda.

Nimetus	Kogus	Hind	Hind kokku
Katted	4	50	200
Mootorialus	1	65	65
Lindiratta raam V	1	105	105
Lindiratta raam P	1	115	115
Püstraam V	1	45	45
Püstraam P	1	50	50
Raami meh. liitega komponendid	1	70	70
Kõrguse reguleerimis süsteem	1	100	100
Käepide	1	15	15
Rattad	5	11	55
Rattalaagrid	5	2,4	12
Lindiratas V	1	65	65
Lindiratas P	1	60	60
Lindirataste laagrid	4	3,12	12,48
Elektrikapp	1	37	37
Lindi juhikud	2	15	30
Lint	1	30	30
Elektritarvikud(sh nupud ja kaabeldus)	1	60	60
Kinnitustarvikud	1	40	40
Muud komponendid	1	200	200
Detailide viimistlemine	1	250	250
Sagedusmuundur SKD3400550	1	558	558
Mootor DRE132S2	1	1185	1185
Toodetavad detailid			1175
Ostetavad			2184,48
Kokku			3359,48

Kulu	Aeg	Hind	Hind kokku
Projekteerimine ja tootmisjoonised	100	18	1800
Komplekteerimine ja seadistamine	30	15	450
Muud kulud		200	200
Kokku			2450

Tabel 6.1 Lintsaeraami hinnaprognosis

Seadme hinna sisse lisan ka tööjõukulud mida ettevõtte lisaks oma tavapärase töö juures seadme hinnale.

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö teema pakkus välja minu praktikaettevõtte Promeco OÜ tootmisjuht Andrus Kimask, ülikooli poolne juhendaja on Tallinna Tehnikaülikooli Mehhatroonikainstituudi nooremteadur Märt Juurma. Lõputöö seisnes portatiivse käsiettenihkega lintsaeraami projekteerimises. Praktikaettevõttest sain koos teemaga kaasa seadme raami pooliku 3d mudeli ning mõned pildid vanemast analoogseadmest.

Enne projekteerimise alustamist koostasid seadmele väikese turu-uuringu, mille käigus selgus, et seadme sihtgrupis on Eestis ligi 200 väikeettevõtet, kes tegelevad puidutoodete tootmisega. Baltikumis on selliseid ettevõtteid üle 600, seega on klientuur olemas kes võiks olla lintsaeraamist huvitatud. Mainitud ettevõtetele võivad lisanduda veel kodukasutajad ning suuremad ettevõtted, kes saaksid pakkuda kas rendi- või täisteenust koos operaatoriga.

Projekteerimine algas mudeli uurimisest, mis komponendid on valmis ning mis vajab veel tegemist. Selgus, et teha oli palju – olemas oli vaid lindiratastega raam ja mootor. Projekteerimist vajasisid seadme operaatori turvalisust tagavad elemendid nagu näiteks liikuvate osade katted – lindirataste katted, lindi kate ja ka rihmarataste kate. Samuti tuli projekteerida detailide omavahelised kinnitused, mootori kinnitused. Lisaks nendele projekteerisin ka vedava lindiratta laagerdused, saeraami rattad koos laagritega ning palju väiksemaid komponente.

Lisaks sellele tuli projekteerida mootori ülekannet – vanem analoog kasutas keerukat ning iganenud siduri süsteemi. Mootorile ühendati vool peale sisuliselt otse pistikust ning lindiratastele edasi kantavat jõudu ja kiirust reguleeris trossiga sidurimehhanism. Esialgu uurisin ka seda võimalust, kuid selgus et sidur oli eritellimusel tehtud ning liiga kallis.

Seega langes valik sagedusmuunduri peale ja mootori ülekannet läbi kiilrihmade, kuna kiilrihmad jooksevad vaikselt ning on sisuliselt hooldevabad. Sagedusmuundur võimaldab mootorit käivitada pehmelt ning seega kaob vajadus siduri järgi. Lisaks sellele saab sagedusmuunduritega ka operaatori turvalisust tõsta – lisades seadmele näiteks hädaseisu ahela ning ka ülekoormuskaitseid.

Rihmülekande projekteerimine algas rihma arvutustest – esmalt tuli välja selgitada komponentide parameetrid, näiteks saelindi kiirus ja mootori kiirus. Neid sai omakorda kasutada rihmarataste suuruste dimensioneerimisel ning ülekandearvu leidmisel. Järgnesid

telgede vahe arvutused ning rihma arvutused. Rihma arvutuste tulemusena jõudsin järeldusele, et kasutada tuleks kolme „A“ rihma.

Töö viimase etapina võtsin ette enda jaoks kõige raskema osa – sagedusmuunduri valiku ning selle juhtimise uurimise. Tegin palju uurimustööd ning lõpuks valisin välja Control Techniques sagedusmuundur, mille omadused ületasid mootoritootja SEW pakutava muunduri omasid.

Keeruliseks osutus ka sagedusmuunduri andmelehtedest ning juhenditest aru saamine. Seda seetõttu, et varem pole selliste materjalide lugemisega kogemust olnud. Samuti oli valitud muunduril palju erinevaid seadistusvõimalusi mille erinevuste leidmine ja õige seadistuse valimine võttis oma aja. Lisaks sellele ei olnud sagedusmuunduri juhendites

Bakalaureusetöö tegemisel kasutasin 3d modelleerimisel põhiliselt SolidWorks 2016 versiooni kuid vahepeal ka vanemaid versioone. Elektriskeemide tegemiseks otsisin pikalt sobivat tarkvara, proovitud sai erinevaid vabavarana saada olevaid programme ning ka internetikeskkonnas olevad rakendusi kuid head programmi ei leidnudki. Joonised tegin lõpuks ProfiCad keskkonnas, kus oli olemas osaline funktsionaalsus.

Kokkuvõtteks mainiks, et mudel on sisuliselt valmis joonisteks vormistamiseks ning seega ka tootmisesse viimiseks. Esialgsete kalkulatsioonide järgi võiks seadme hinnaks kujuneda 5800 €. Tulevikus tuleks teha kõikide detailide kohta joonised ning ka koostujoonised, mille alusel saaks juppide tootjatelt ja tarnijatelt hinnapakumised võtta ning täpse seadme hinna kokku arvutada. Ettevõttepoolse konsultandi sõnul tasuks sellise seadme tootmine ära.

SUMMARY

Thesis for this Bachelor's degree was proposed by Andrus Kimask, head of production at Promeco OÜ. The title of the thesis is "Design of portative manual-feed bandsaw" and it describes all of the development stages of the bandsaw from market research to final setup of the AC variable speed drive. Thesis was tutored by Märt Juurma, early-stage researcher at Department of Mechatronics in Tallinn University of Technology. The bandsaw is intended to cut logs up to 70 cm in diameter into various products starting from waney edge timber to two-by-fours.

The first stage of the thesis was market research – as the bandsaw was ordered from Promeco OÜ, there is definitely some need for them in Estonia. The main market for those kind of bandsaws should be smaller companies who produce wood products on a smaller scale. There are about 200 companies of that size in Estonia and over 600 in the Baltic countries combined. In addition there are also larger companies which can rent out the sawmills or offer a full service with an operator. And of course there are some home users, who would need this type of saw.

Development of the saw began with study of the incomplete 3d model of the bandsaw, which was supplied with the thesis along with the images of similar bandsaw. As suspected there was a lot to do – the model was a bare frame with band wheels and a motor (SEW DRE132S2) that was not attached to the frame. The modelling began with design of the bandwheel covers – as operator safety is essential part of this bandsaw design.. There are two of them and in between them there is also a cover for the non-cutting part of the blade. Next to come was the engine mounting frame, saw height adjustment module with flanged bearing units. After the belt and pulley dimensioning came the modelling of the driving bandwheel axles and bearings along with covers for the pulleys.

The next stage of the thesis was design of power transmission – in the analogue bandsaw, which images was supplied the saw was driven by electric motor which was supplied directly from the mains. In-between the motor and the bandwheels was a mechanical clutch which was regulated by the operator via cable on the handlebars. As the clutch mechanism was overly expensive and outdated the best option for the electric motor management was a variable speed drive. The main reason is for the use of the variable speed drive is the soft starting ability, operator safety benefits and also power savings coming from vector controlling.

As belts are quiet and almost maintenance free they are an excellent way of power transfer. Dimensioning of the belt and pulleys concluded the use of three size A belts along with SPA-100-3-TL1610 and SPA-200-3-TL2517 pulleys with taperlock bushings.

The final and the most complicated part of the thesis was the selection and study of variable speed drive. Research concluded that best option was the Control Techniques SKD3400550 drive, which had more features at a better price point than motor suppliers SEW drive. Lack of experience at that field made understanding of the device manuals and guides difficult as there were many different connection and programming options available. A lot of options were extremely similar and selecting the right configuration was challenging.

In this Bachelor's thesis I mostly used SolidWorks 2016 3d CAD software along with older versions of the same program. Electrical schematics were made with ProfiCad software, which had some functionality however was not very user friendly however far better than other freely available software or internet apps.

In conclusion, most of the design aspects of the bandsaw are complete and based on the 3d model, the machine could be manufactured. The initial calculation for the price of the machine is 5800 €. Exact price will be calculated after all of the detail and assembly drawings are complete and quotes are asked from suppliers.

VIITED

- [1] SKF laagrid [WWW] <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/stainless-steel-deep-groove-ball-bearings/single-row-stainless-steel/index.html> (01.05.2016)
- [2] Alas-Kuuli kodulehekülg, kiilrihmarattad SPA koonuspuksiga [WWW] <http://www.alas-kuul.ee/spa-koonuspuksiga/> (06.05.2016)
- [3] Alas-Kuuli kodulehekülg, kiilrihmad A [WWW] <http://www.alas-kuul.ee/profiil-a/> (06.05.2016)
- [4] GlobalFastner kodulehekülg, DIN 471 [WWW] http://www.globalfastener.com/product/detail_3620.html (01.05.2016)
- [5] GlobalFastner kodulehekülg, DIN 472 [WWW] http://www.globalfastener.com/product/detail_3624.html (01.05.2016)
- [6] SEW Eurodrive kodulehekülg, Operating instructions [WWW] <http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/21927189.pdf> (04.05.2016)
- [7] SEW Eurodrive kodulehekülg, Connection Diagram [WWW] http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/LC_en-ZS_2010DRConnectionDiagrams_9PD0058.pdf (04.05.2016)
- [8] I. Penkov, 2007, MHE0061 Masinatehnika loengumaterjal, [WWW] <http://www.tlu.ee/~saarsulo/masinaopetus/MHE0061-Loengukonspekt.pdf> (06.05.2016)
- [9] Woodlawn Millsi kodulehekülg [WWW] <http://woodlandmills.eu/product/hm126-electric-portable-sawmill/> (05.04.16)
- [10] HUD-SON kodulehekülg [WWW] [http://www.hud-son.com/products/product-detail/hfe-21-homesteader_\(05.04.16\)](http://www.hud-son.com/products/product-detail/hfe-21-homesteader_(05.04.16))
- [11] LOGSOL kodulehekülg [WWW] <http://www.logosol.ee/lintsaeraamid/lintsaeraam-lm29> (05.04.16)
- [12] Lennartsfors kodulehekülg [WWW] http://lennartsfors.com/images/stories/dokument/Produktinformation_Bandsgverk__Engelska.pdf (05.04.16)

- [13] traceparts kodulehekülg, standard 3d mudelite andmebaas [WWW]
<http://www.traceparts.com/> (06.05.2016)
- [14] A. Sivitski TTÜ lehekülg, Masinaelementide õppematerjal, ISO piirhälbed [WWW]
http://mh.ttu.ee/alina/Masinaelemendid/Masinaelemendid%20I/Harjutused/nadal2%20Istu_syntees_M66teahelad_%20Keermesliited/Harjutustund%20nr%204_Istu%20syntees_M66teahelad/ISO%20piirhalbed.pdf (06.05.2016)
- [15] I. Penkovi TTÜ lehekülg, Masinatehnika õppematerjal, Rihmülekanne [WWW]
[http://mh.ttu.ee/igor/MHE0061%20Masinatehnika%20Avalik/MHE0061%20Oppematerjalid/Harjutus%20EST/\(16\)%20Rihmylekanne.pdf](http://mh.ttu.ee/igor/MHE0061%20Masinatehnika%20Avalik/MHE0061%20Oppematerjalid/Harjutus%20EST/(16)%20Rihmylekanne.pdf) (06.05.2016)
- [16] INVERTER DRIVE kodulehekülg, Control Techniques SKD3400550 [WWW]
<https://inverterdrive.com/group/AC-Inverter-Drives-400V/Control-Techniques-CT-Commander-SKD3400550-5kW-5HP/> (06.05.2016)
- [17] INVERTER DRIVE kodulehekülg, Commander SK Getting Started Guide, [WWW]
<https://inverterdrive.com/file/SK-SizeA-to-D-Start-Up-Guide> (06.05.2016)
- [18] SEW Eurodrive kodulehekülg, MOVITRAC B seeria [WWW] <http://www.sew-eurodrive.com.au/produkt/movitrac-b.htm> (06.05.2016)
- [19] SEW Eurodrive kodulehekülg, MOVITRAC B kasutusjuhend [WWW]
<http://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/20145756.pdf> (06.05.2016)
- [20] PCB equipment kodulehekülg [WWW]
<http://www.pcbequipment.com/detail/24574/24508/sew-mc07b0055-5a3-4-00> (07.05.2016)
- [21] Northen industrial kodulehekülg [WWW] <http://nicontrols.com/uk/skd3400550-55kw-inverter.html> (07.05.2016)
- [22] Asünkroonajamite sagedusjuhtimine, Juhan Laugis, Tõnu Lehtla, 1994 [WWW]
<http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/AAV0040/ASM/> (07.05.2016)
- [23] V.Vodovozov (2012) Electric Drive Systems and Operation : bookboon.com
- [24] INVERTER DRIVE kodulehekülg, Commander SK Advanced User Guide, [WWW]
<https://inverterdrive.com/file/Commander-SK-Advanced-User-Guide> (07.05.2016)
- [25] INVERTER DRIVE kodulehekülg, Commander SK Technical Data Guide, [WWW]
<https://inverterdrive.com/file/Commander-SK-Technical-Manual-Data> (07.05.2016)

[26] [WWW] Elekrikaup kodulehekül, kontaktorid http://www.elekrikaup.ee/kontaktorid-magnetkaivitid-pinge-pooliga-24-110v/5362/kontaktor-3-faasiline-25a-16kw-siemens-3rt1016-1jb42.html?category_id=79 (07.05.2016)

[27] [WWW] Pneutrol Spares kodulehekül, Control Techniques SKD3400550
<http://www.pneutrolspares.com/product-item/p/control-techniques-skd3400550-55kw-3-phase-380-480v-ac-48-62hz-commander-sk-variable-speed-drives-10446/> (19.05.2016)

LISAD

Lisa 1

Kiilrihma standardparameetrite tabel- [15]

Tähistus	b , mm	h , mm	A , mm ²	L_0 , m	L , m	D_{min} , mm	M , Nm
Z	10	6	47	1,32	0,405 – 1,7	50	≤ 30
A	13	8	81	1,7	0,44 – 4,43	63	15 - 60
B	17	11	138	2,24	0,625 – 8,42	100	50 - 150
C	22	14	230	3,75	1,275 – 9,1	200	120 - 600
D	32	20	476	6,0	2,72 – 13,7	300	450- 2400

Lisa 2

Ühe rihmaga ülekantav ringkoormus F_0 tabel. [15]

Tähistus	D_1 , mm	v , m/s					
		5	10	15	20	25	30
		F_0 , N					
Z	71	112	95	81	68	56	
	80	124	107	94	80	66	
	90	134	116	104	86	76	62
	100	140	124	111	98	84	66
A	100	190	160	138	115	91	
	112	210	182	160	137	112	83
	125	230	200	177	155	132	105
	140	246	218	194	172	148	121
	160	264	235	214	190	165	138
B	140	322	270	230	191		
	160	366	315	275	236	196	149
	180	402	351	310	272	230	184
	200	430	379	338	300	257	212
	224	452	405	363	325	282	271
C	224	630	535	463	393	318	235
	250	696	602	530	460	384	302
	280	756	663	590	520	444	383
	315	814	719	647	558	500	416
	355	864	770	700	630	550	470
D	355	1350	1140	990	840	680	513
	400	1510	1300	1150	1000	840	670
	450	1650	1440	1290	1140	980	816
	500	1760	1550	1400	1250	1100	926
	560	1850	1660	1500	1350	1180	1030

Lisa 3

SEW DRE, 2-poolusega 3000 ¹/_{min} mootorite andmeleht, töös kasutatav mootor välja toodud punaste joontega. [6]

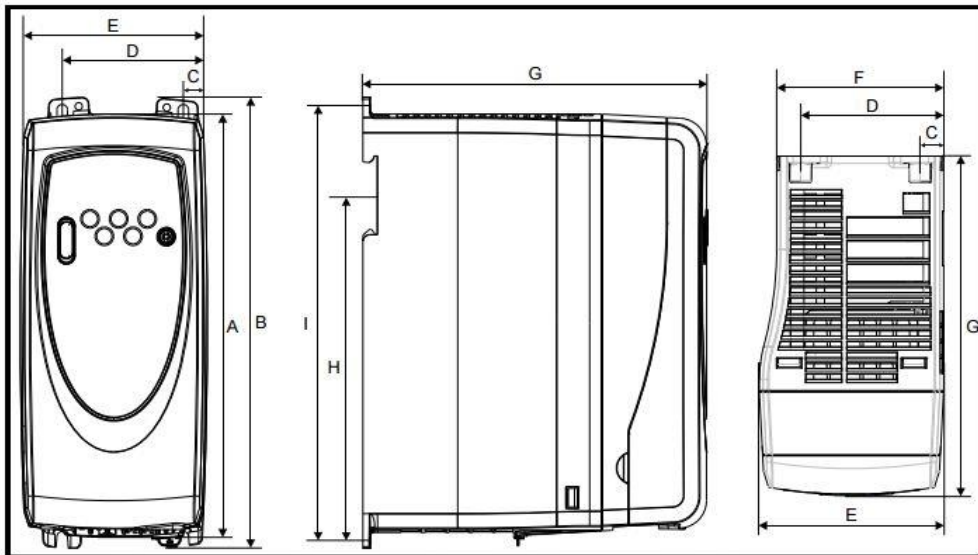
Motor type DRE	P _N [kW]	M _N [Nm]	n _N [1/min]	I _N 400 V [A]	I _N 380 -420 V [A]	cosφ	IE class	η _{75%} η _{100%} [%] ¹⁾	I _Δ /I _N	M _Δ /M _N M _H /M _N	m [kg] ²⁾	J _{Mot} [10 ⁻⁴ kgm ²]
DRE80M2	0.75	2.5	2890	1.54	1.6	0.89	IE2	79.2 79.2	7.9	3.4 3	14.3	21.5
DRE90M2	1.1	3.65	2870	2.2	2.3	0.89	IE2	82.2 81.2	7.2	3.2 3	18.4	35.5
DRE90M2	1.5	5.1	2830	2.95	3.05	0.89	IE2	83.5 81.8	5.9	2.7 2.6	18.4	35.5
DRE100M2	2.2	7.3	2880	4.15	4.3	0.91	IE2	85.6 84.5	8.2	3.8 3.3	26	56
DRE100L2	3	10.1	2850	5.5	5.7	0.93	IE2	87.4 85.6	7.2	3.5 3.1	29	68
DRE112M2	4	13.2	2900	7.5	7.8	0.89	IE2	87.6 86.5	6.3	2.3 2.1	41.5	113
DRE132S2	5.5	18.2	2890	10	10.5	0.91	IE2	88.9 87.4	6.5	2.3 2.1	46.5	146
DRE132M2	7.5	24.5	2910	13.5	14.3	0.91	IE2	89.8 88.5	7.3	2.5 2.3	60	193
DRE132MC2	9.2	30	2935	17.2	17.9	0.87	IE2	89.7 88.8	7.2	2.2 1.9	63	240

1) Efficiency according to IEC 60034-2-1 Ed.1 (2007) / PLL from Residual Losses

2) Applies to foot-mounted motor (DRE.../FL..)

Lisa 4

Commander SK mõõdud joonise ja tabeliga. [17]



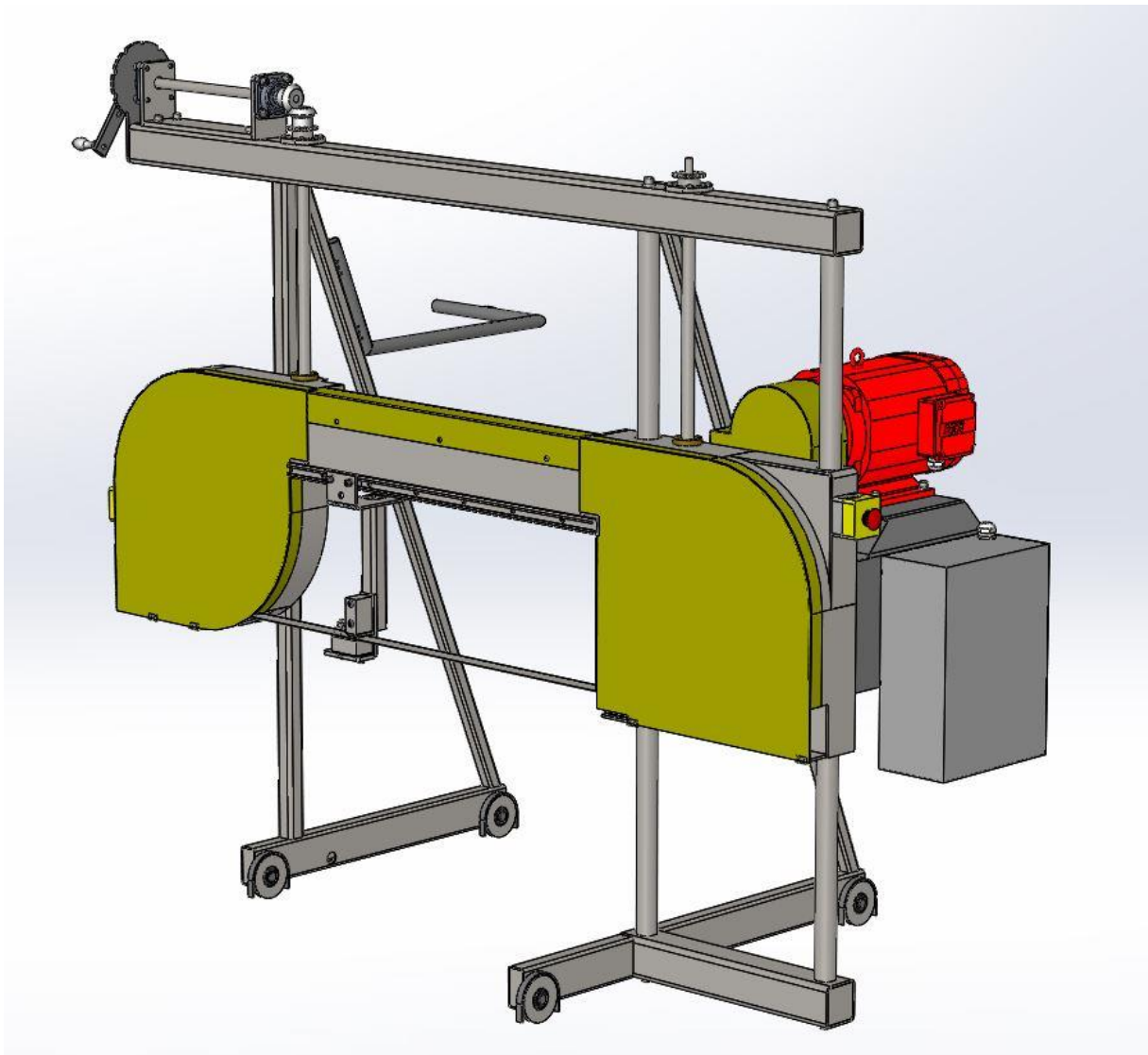
Mounting holes: 4 x M4 holes (size A to C), 4 x M5 holes (size D)

Table 3-1 Commander SK dimensions

Drive size	A		B		C		D		E		F		G		H*		I	
	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
A	140	5.51	154	6.06	11	0.43	64	2.52	75	2.95			145	5.71	104	4.09	143	5.63
B	190	7.48	205	8.07	10.9	0.43	65.9	2.6	85	3.35	77	3.0	156	6.15	155.5	6.12	194	7.64
C	240	9.45	258	10.16	10.4	0.41	81.1	3.2	100	3.94	91.9	3.62	173	6.81			244	9.61
D	300	11.81	335	13.19	14.5	0.57	100.5	3.96	115	4.53			198	7.80			315	12.4

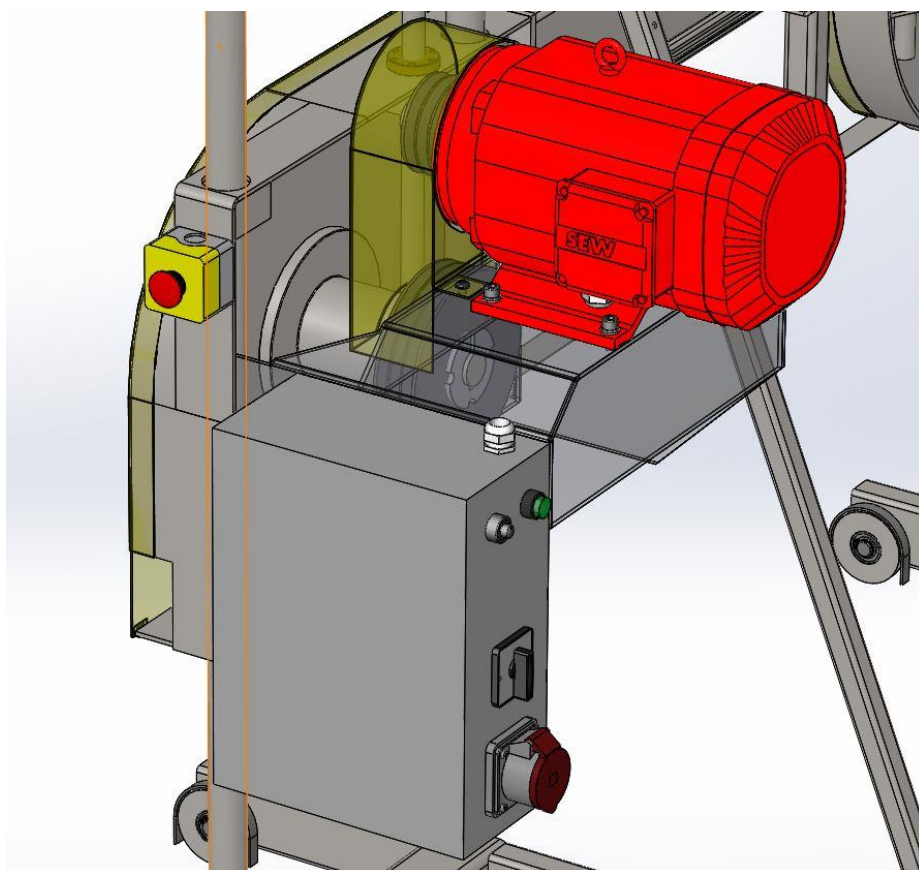
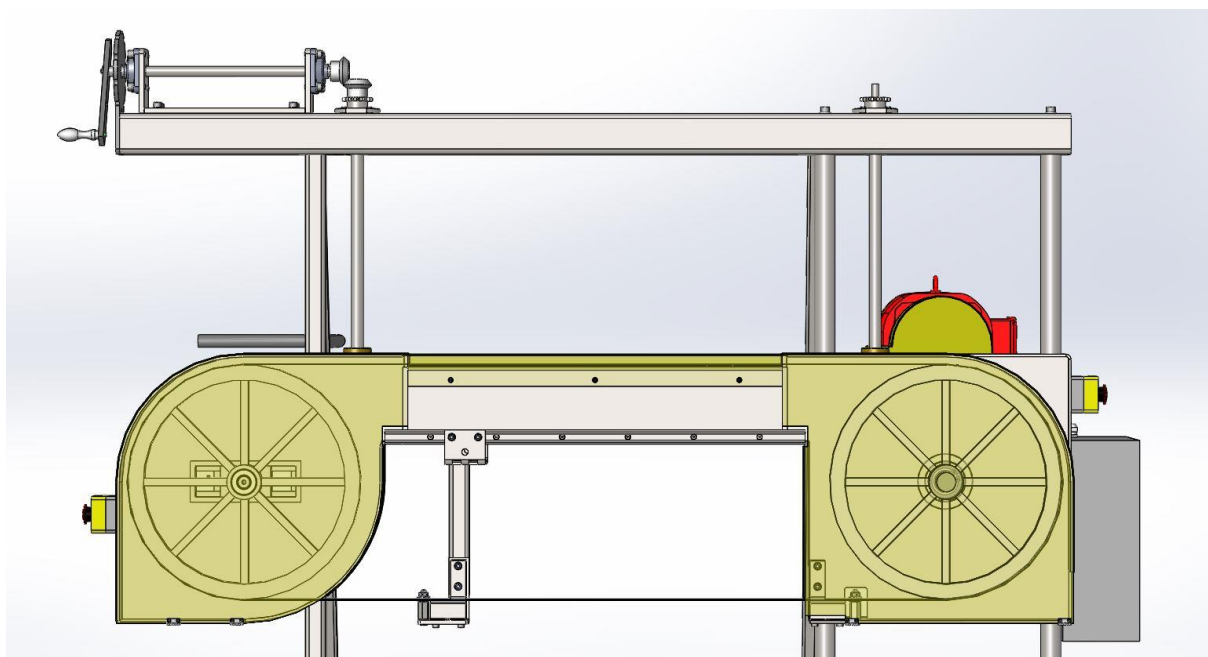
Lisa 5

Lintsaeraami 3D mudel



Lisa 6

Lintsaeraami 3D mudel, katted muudetud läbipaistvaks.



Lisa 7

Lintsaeraami 3D mudel tagantvaates.

