



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK40LT

Alvar Parvelo

**MULTIFUNKTSIONAALSE LAUA TÄITURSÕLME
PROJEKTEERIMINE**
Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn

2014

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 Ahti Põlderi juhendamisel

“22” mai 2014.a.

Töö autor Alvar Parvelo

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“22” mai 2014 a.

Juhendaja Ahti Põlder

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

BAKALAUREUSETÖÖÜLESANNE

2014 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Alvar Parvelo, 112420
Õppekava: MAHB02/09
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja : nooremteadur Ahti Põlder
Konsultant: doktorant Marti Arak,

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) Multifunktsionaalse laua täitursõlme projekteerimine
(inglise keeles) Design of an actuator device for a multifunctional table

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Seadme funktsionaalsusanalüüs ning juhtalgoritmi koostamine.	14.04.2014
2.	Seadme elektroonika projekteerimine, piisavalt täpse ja ohutu liikumise tagamiseks vajalike sensorite ja juhtkontrolleri valik.	21.04.2014
3.	Seadme mehaanika projekteerimine ning ajamite valik.	21.04.2014
4.	Majanduslike ja ohutusosalaste aspektide ülevaade.	28.04.2014
5.	Bakalaureusetöö vormistamine.	16.05.2013

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Projekteerida voodi lauaplaatide täitursõlm võimalikult kompaktsena nii, et liikumiste käigus ei võtaks voodi lisa ruumi. Tagada täitursõlme töökindlus ning juhtseadmega voodi kasutaja ohutus.

Töö keel: eesti

Kaitsmistaoetus esitada hiljemalt 22.05.2014

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2014

Üliõpilane Alvar Parvelo /allkiri/

kuupäev 25.03.2014

Juhendaja Ahti Põlder /allkiri/

kuupäev 25.03.2014

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
1 SISSEJUHATUS	7
2 TÄITURSÕLME MEHAANILISE LAHENDUSE LEIDMINE JA KOORMUSTE ARVUTUS	10
2.1 Toote multifunktsionaalsuse teostamine	10
2.2 Täitursõlme lahenduse valik.....	10
2.2.1 Täitursõlme mehaaniliste nõuete kirjeldamine	10
2.2.2 Kriteeriumite loetelule vastavate lahendite leidmine ning hindamismatriksi koostamine	11
2.2.3 Parimate lahenduste kirjeldamine ja hindamine.....	12
2.3 Hammaslattidega lahendusvariandi koormuste ja ajami nõuete arvutused	14
2.4 Elektrimootori valik.....	18
2.5 Projekteeritud seade.....	20
2.6 Seadme tugevuse kontroll.....	21
3 SEADME ELEKTROONIKA VALIK JA FUNKTSIONEERIMINE	23
3.1 Mootori kontrolleri valik	23
3.2 Seadme elektroonika töökindluse tagamine	24
3.3 Projekteeritava seadme elektriskeem.....	25
3.4 Mootorikontrolleri tööoperatsiooni vajalike parameetrite arvutamine.....	27
4 SEADME OPERATSIOONI KIRJELDAMINE JA JUHTIMISE TEOSTAMINE	30
4.1 Seadme operatsiooni kirjeldus.....	30
4.2 Mootorikontrolleri juhtimine	31
4.3 Mootori juhtimine.....	32
4.4 Käivitustsükli juhtimise plokkskeem ja tõrgete kuvamine	33
4.5 Seadme juhtimise peatsükkel.....	35
5 OHUTUSALASTE JA MAJANDUSALASTE ASPEKTIDE ÜLEVAADE.....	37

5.1	Kasutaja ohutuse tagamine	37
5.2	Seadme kahjustumise vältimine	37
5.3	Projekteeritud seadme majanduslik hinnang	38
	KOKKUVÕTE.....	40
	SUMMARY	42
6	Kasutatud kirjandus	44
7	LISAD	48
	LISA 1 Käigukruvi koormusarvutuste ja ajami pöördemomendi arvutused.....	48
	LISA 2 Hammasratta dimensioneerimine	52

EESSÕNA

Sisend kirjutada lõputöö multifunktsionaalset mööblit käsitleval teemal tekkis töö autori soovist omada ja kasutada toodet, millesse oleks integreeritud mitme erineva mööblieseme funktsioonid. Rakendades multifunktsionaalsust oma elukohas, on võimalik elamispinda efektiivsemalt kasutada ning seeläbi suurendada valikuvariante nii uue elukoha otsimisel kui ka olemasoleva elukoha kujundamisel.

Elades peamiselt väikese pindalaga korterites, on oluline möbleerida elamispind röhudes ruumi kokkuhoiule. Rakendades elukohas multifunktsionaalset mööblit, väheneb nõutava elamispinna suurus, tänu millele on võimalik uue elukoha valikul eelistada väiksemaid kortereid. Väiksemate korterite puhul on majanduslikud kohustused nagu küttekulud ja üür väiksemad. Sellest tulenevalt võib järeldada, et multifunktsionaalse mööbli kasutamine vähendab kaudselt elamiskulusid.

Otsus projekteerida toode, mis integreeriks nii laua kui ka voodi funktsioone, tulenes autori elustiilist bakalaureuse õpingute ajal. Õpingute edukaks sooritamiseks on hädavajalikud mööbliesemed laud ja voodi. Seejuures on nimetatud esemed tõenäoliselt ühed suuremad korteri elamispinda kasutatavad mööbliesemed. Seega omaks toote, mis on võimeline täitma nii laua kui voodi funktsioone, kasutamine kõige suuremat kasu elamispinna kokkuhoiul. Projekteeritava multifunktsionaalse toote kasutusvõimaluste arv ei piirdu ainult kahe funktsiooniga, kuna plaanis on lisada veel teisi funktsioone.

Võimaldamaks multifunktsionaalsele lauale projekteeritavate lisa-funktsioonide rohkust, tuleb antud töös projekteerida täitursõlm võimalikult kompaktselt. Selle saavutamiseks pole aga võimalik rakendada suurte jõuõlgadega ja hoobadega liikumissüsteeme. Väikeste kasutatavate jõuõlgade tõttu on käsitsi toote kasutatava funktsiooni muutmine raskendatud ning on vajalik kasutada elektriajameid.

Multifunktsionaalse laua projekteerimisel on esmatähtis kasutaja ohutus. Antud töös projekteeritav täitursõlm liigutab elektrienergia abil toote osasid, mille dimensioonid on küllaltki suured. Sellest tulenevalt tuleb järgida täitursõlme projekteerimisel nii elektriga kui ka liikuvate osadega seotud ohutusnõudeid.

1 SISSEJUHATUS

Mööblieseme, millele projekteeritakse täitursõlm, peamiseks ülesandeks on elamispinna kokkuhoid. Tootesse on integreeritud laua ja voodi funktsiooni. Antud toote projekteerimist alustatakse töö teema pealkirjas mainitud täitursõlme projekteerimisega, mille abil toimub kasutatava funktsiooni selekteerimine. Töös ei käsitleta meetodi valikud, kuidas toimub selekteerimine. Kasutatav meetod on varasemalt valitud vastavalt kogu multifunktsionaalse laua kontseptsioonile.

Projekteeritavat seadet peab olema võimalik eemaldada toote küljest nii, et säiliks ülejäänud toote funktsioonid. Vastava kinnitussüsteemi loomine pole antud töö eesmärk, kuid millega tuleb seadme täitursüsteemi projekteerimisel arvestada.

Täitursõlme projekteerimisel arvestatakse tulevikus lisatavate funktsioonidega ja seadmetega. Nii täitursõlme mõõtmed kui ka täitursõlme poolt liigutatavate objektide trajektoorid, tuleb nii lahendada, et multifunktsionaalse laua poolt kokkuhoitud elamispind oleks maksimaalne. Lisaks peab täitursõlm olema ka kompaktne toote dimensioonide suhtes, et lisa seadmete paigaldamine oleks võimalikult lihtne. Võimalike tulevikus projekteeritavate lisa seadmete ja funktsioonide hulka võivad kuuluda:

- Tootesse integreeritud helisüsteem,
- Tootesse integreeritud monitor,
- Väike hommikusöögi või rüperaali laud,
- Kompaktsete riulite ja sahtlite süsteem,
- Voodi ja laua kõrguste reguleerimis süsteem.

Peamised tingimused, mida projekteeritav seade peab täitma on kasutajaohutus, töökindlus ja kasutusmugavus. Seadme ohutus tagatakse piisava tugevusega konstruktsiooni loomises ja seadme opereerimise sellise juhtimisega, mis vähendab maksimaalselt riske kasutajale. Seadme töökindlus tagatakse piisava tugevusega konstruktsiooni loomisega ja vastavalt kasutatavatele elektrilistele parameetritele elektroonika valikuga. Seadme kasutusmugavuse tingimus täidetakse võimalikult lihtsa kasutaja poolse kontrollitava süsteemi projekteerimisega ja piisavalt heade seadme operatsiooni omaduste tagamisega.

Tooteid, mille eesmärgiks on elamispinda kokku hoida, sidudes vähemalt kahe erineva mööblieseme funktsiooni, on küllaltki palju. Loomaks paremat pilti konkureerivatest toodetest, teostati otsing kasutades otsingumootorit Google.

Peamised otsingu käigus leitud laua ja voodi funktsioone ühendavad tooted olid seinvoodid. Asendis, kus seinvoodit saab kasutada kui voodit, asub lauaplaat voodi all. Juhul kui voodi tõstetakse vastu seina, liigub lauaplaat hoobade ja liigendite abil kaasa säilitades samal ajal oma maapinnaga paralleelse asendi [1] [2] [3] [4].



Sele 1.1 Multifunktsionaalsed seinvoodid

Disainibürood BLESS ja Studio NL on projekteerinud huvitavamaid lahendusi kui seinvoodid. Studio NL tootel on võimalik liigutada lauaplaati toote voodi osa kohalt voodi küljele, et tagada magamisel privaatsus. Toode on mõeldud kontorites kasutamiseks, mis puhul kasutaja privaatsuse tagamine on oluline. BLESS'i voodi muutub lauaks kui selle madratsikasti pöörata ümber madratsikasti keskosas paikneva pöörlemistelje [5] [6].



Sele 1.2 Studio NL (vasakul) ja BLESS (paremal) laud-voodid

Ainuke toodetest, mis kasutab elektrimootoreid, oli Studio NL kontori laud-voodi. Tõenäoliselt pole teised tooted motoriseeritud ja automatiseeritud majanduslikel põhjustel. Mootorite kasutamine tõstab tunduvalt voodi hinda ja selle tõttu vähendab ostujõuliste klientide arvu.

Kõikide uurimuse käigus leitud ühe inimese laudvoodid olid ligikaudu sarnaste dimensioonidega nagu antud töös käsitletav multifunktsionaalne laud. Seevastu tunduvad kõik uurimise käigus leitud tooted küllaltki kohmakad. Vähestel toodetel oli lisaks laua ja voodi funktsioonidele veel lisa funktsioone. Tihti oli seinvoodite puhul lisatud mõni üksik riiul või paigaldatud külgedele mõni sahtlite boks, kuid need funktsioonid valdavalt suurendasid toodete dimensioone ning selle tõttu polnud ruumi kokku hoidmiseks väga efektiivsed. Uurimuse käigus leitud toodete, mis kasutasid madratseid, mille suurus oli sarnane antud töös oleva madratsikasti suurusega, hinnad algasid 2000 eurost.

Projekteeritava täitursõlme seadmega sarnanevad enim seadmed, mida kasutatakse monitori peitmiseks. Monitor peidetakse et säilitada toa kujunduslikku ühtsust. Uurimuse käigus leiti kahte erinevat tüüpi seadmeid, mis erinevad peamiselt monitori peite kohast. Vastavalt tüübile peidetakse monitor kas voodi jalutsisse või voodi alla. Mõlemat tüüpi seadmed kasutavad lineaarelekttrimootoreid.

Seadmete, mis tõstavad monitori voodi jalutsist välja, hinda on raske määrata, kuna neid ei müüda eraldi vooditest. Küll aga on müügil eraldi voodi alt monitore välja tõstvad seadmed. Antud seadmed on võimelised tõstma monitore massiga kuni 30 kg ning sooritavad piirasendite vahelise liikumise küllaltki kiiresti. Antud toodete hinnad sisaldavad tõenäoliselt ka tõstetavate monitoride hindasid, kuid on endiselt väga kallid. Selliste toodete hinnad algavad 3000 dollarist [7].



Sele 1.3 Monitore tõstvad seadmed

2 TÄITURSÕLME MEHAANILISE LAHENDUSE LEIDMINE JA KOORMUSTE ARVUTUS

2.1 Toote multifunktsionaalsuse teostamine

Multifunktsionaalse lauda on võimalik kasutada nii voodi kui lauana. Multifunktsionaalne laud koosneb kolmes suuremast detailist: madratsikast, lauaplaat ja lauajalad. Meetod, kuidas toimub muudetakse voodi lauaks või vastupidi, on varasemalt valitud. Toote lauaks või voodiks muutmise teostamiseks analüüsiti erinevaid lahendusi.

- 1) Madratsikasti pööratakse ümber oma keskse telje 180° ning lauana kasutatakse madratsikasti põhja.
- 2) Madratsikastile liiguvad mööda siine mitu segmenteeritud lauaplaadi osa sarnaselt garaaži ustele.
- 3) Madratsikastile tõstetakse voodi otstest kaks lauaplaati.
- 4) Madratsikasti pikematelt külgedelt liigutatakse neljaks või rohkemaks segmenteeritud laua osad madratsikastile.
- 5) Madratsi kasti alt liigutatakse hoobadega madratsikastile lauaplaat.

Valituks osutus 3. lahendus, kuna antud lahenduse abil hoitakse piisavalt palju ruumi kokku. Lahendus on modulaarne ülejäänud multifunktsionaalse laua osade suhtes ning seega vajadusel eemaldatav ja eraldi müüdav üksiku seadmena. Lisaks ei tekita lauaplaadi poolitamine kaheks osaks märkimisväärset probleemi, kui lauda kasutatakse käsitsi kirjutamiseks või joonestamiseks.

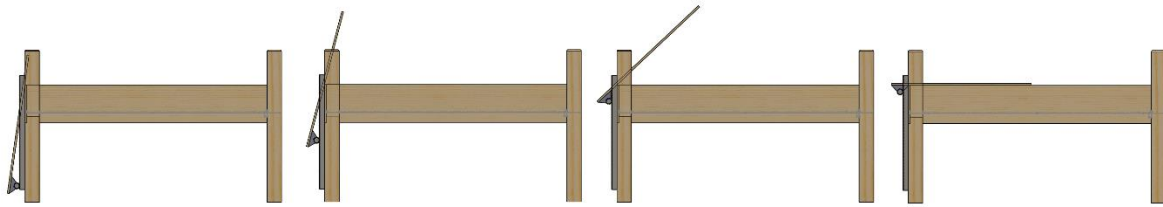
2.2 Täitursõlme lahenduse valik

Täitursõlme lahenduse valik viiakse läbi etapiliselt. Erinevad etapid lõpliku lahendi leidmiseks on: probleemi püstitamine, nõuete ja kriteeriumite sõnastamine, lahendite genereerimine ja parima lahendi valimine.

2.2.1 Täitursõlme mehaaniliste nõuete kirjeldamine

Toote, millele täitursõlmega seadet projekteeritakse, mõõtmete peamistes määrajaks on voodi madrats laiusega 900 mm, pikkusega 2000 mm ja kõrgusega 150 mm. Projekteeritav seade ei tohi suurendada märkimisväärselt toote dimensioone ja kasutamiseks mõeldud vaba ruumi. Lisaks peab toote madratsikasti alune osa on jäetud tühjaks, et sinna projekteerida võimalikus ulatuses seadmeid, sahtleid ja panipaiku. Selle tõttu on soovitatav, et antud töös projekteeritav

seade ei kasutaks ruumi, mis paikneb madratsikasti all. Projekteeritav seade liigutab toote lühematelt külgedelt lauaplaadid madratsi kasti peale. Sele 2.1 illustreerib üksiku lauaplaadi liikumist madratsikastile.



Sele 2.1 Lauaplaadi liikumine

Toote kasutuskeskkonnaks on korter või elumaja, mille tõttu on tähtsad toote vaikus ja puhtus. Antud kriteeriumi tõttu loobutakse hüdro- või pneumoajamite kasutamisest. Seega kõik täitursõlme teostamiseks genereeritavad lahendusvariandid peavad kasutama elektriajameid.

2.2.2 Kriteeriumite loetelule vastavate lahendite leidmine ning hindamismatriksi koostamine

Kriteeriumite loetelu: töökindlus, ohutus, vastupidavus, fikseeritav kahes lauaplaadi piirasendis, stabiilne, käsitsi liigutatav, väheste õlitatavate pindadega, lihtsasti peidetav või hea välimusega, lihtsasti koostatav, kerge

Vastavalt nõuetele ja kriteeriumitele genereeriti järgmised lahendid.

- 1) Käigukruvi liigub koos lauaplaadiga. Käigukruvi asub mutter, mille pöörlemise tulemusena liigutatakse keermelatti. Mutri positsioon on fikseeritud.
- 2) Lauaplaadi liikumine teostatakse mutrite abil, mis liiguvad mööda käigukruve. Elektrimootoritega antakse kinemaatiline energia käigukruvidele.
- 3) Lauaplaadi liikumine teostatakse mutrite abil, mis liiguvad mööda käigukruve. Elektrimootoritega antakse kinemaatiline energia mutritele.
- 4) Lauaplaadi liikumine teostatakse hammasrattaste abil, mis liiguvad mööda lauajalgadele kinnitatud hammaslatte.
- 5) Hammaslatt või hammaslatid on kinnitatud lauaplaadile. Hammaslatti liigutab hammasratas, mis on fikseeritud madratsikasti külge.
- 6) Lauaplaad on seotud vedava hammasrattaga. Hammasratas liigub mööda hammaslatti, mis on kinnitatud madratsikastile. Hammaslatt on täisnurkse kujuga.

- 7) Lauaplaadi liigutamiseks kasutatakse elektrilisi silindreid, mille üks ots on kinnitatud madratsikasti külge ning teine ots on kinnitatud lauaplaadiga ja liigub mööda siine.
- 8) Lauaplaadile või madratsikastile on kinnitatud lineaarelektromootorid.

Tabel 2.1 Probleemilahendusmeetodi hindamismatriks

Kriteeriumid	Kaal	Lahendusvariandid							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Väikesed gabariidid	5	2	3	3	3	2	2	3	5
Lihtsus	3	2	4	3	3	2	1	1	3
Väike hind	3	5	4	4	3	3	2	2	1
Hea töökindlus	4	3	4	3	5	3	3	3	2
Suur väljundjõud	4	4	5	5	3	2	4	4	3
Suur liikumiskiirus	2	2	3	3	4	4	4	5	4
Hea kasutusmugavus	3	2	3	3	4	2	3	1	5
	SUMMA:	69	90	83	85	59	64	65	80

Kõik matriksi kriteeriumid on positiivse olemusega ehk lahendusvariandi hinne „5“ näitab, et vaadeldavat kriteeriumi täidab lahend hästi. Lahendusvariandi hinnete summa on vastavate hinnete ja kaalutegurite korrutiste summa.

Parimateks lahenditeks osutusid.

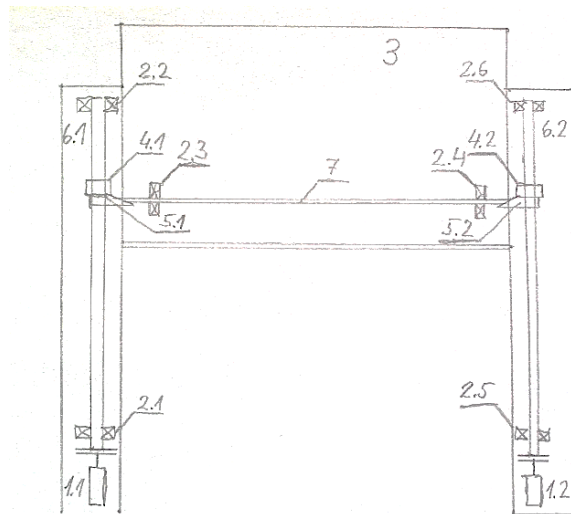
- Fikseeritud telgedega käigukruvid, mis koos elektrimootoritega kinnituvad lauajalgade külge.
- Hammaslattidega lahend, kus elektrimootorid kinnituvad lauaplaadile ja hammaslatted kinnituvad lauajalgadele.

Mõlemat lahendust hinnatakse konkreetsemate parameetrite alusel järgnevas peatükis. Koostatakse mõlema lahenduse skitseeringud (Sele 2.2 ja Sele 2.3), mille abil valitakse parim täitursõlme teostamiseks sobilikum lahendus.

2.2.3 Parimate lahenduste kirjeldamine ja hindamine

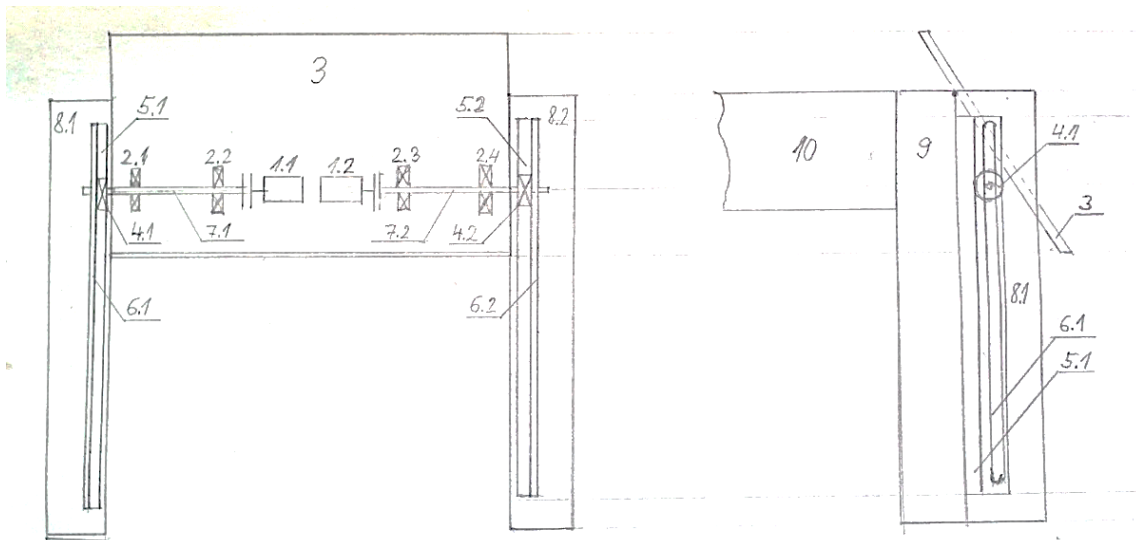
Sele 2.2 näitab käigukruvidega lahendusvariandi detailide paiknemisi. Käigukruvid 6.2 ja 6.1 on seotud lauajalgadega, mille tõttu muutuvad lauajalgade mõõtmed. Elektrimootorid 1.1 ja 1.2 koos vajaminevate ülekandesüsteemidega kinnituvad lauajalgade põhja. Käigukruvide mutrid 4.1 ja 4.1 on kinnitatud konstruktsioonidega 5.1 ja 5.2 võlli külge, mis on laagriplokkidega 2.3

ja 2.4 kinnitatud lauaplaadile 3. Käigukruvide positsioon lauajalgades fikseeritakse laagritega 2.1, 2.2, 2.5, 2.6.



Sele 2.2 Käigukruvidega lahendusvariant

Sele 2.3 on hammaslatid 5.1 ja 5.2 kinnitatud lauajalgade külge metallprofiilide 6.1 ja 6.2 abil. Metallprofiili on freesitud soon, mille abil fikseeritakse hammasrattaste 4.1 ja 4.2 hambumine hammaslattidega. Hammasrattad asuvad võllidel 7.1 ja 7.2. Võllid on fikseeritud lauaplaadi 3 suhtes laagrite 2.1, 2.2, 2.3 ja 2.4 abil. Samuti on elektrimootorid 1.1 ja 1.2 kinnitatud lauaplaadile. Elektrimootorite pöörlemine kantakse võllidele üle sidurite abil.



Sele 2.3 Hammaslattidega lahendusvariant

Tabel 2.2 Parimate lahenduste hindamine

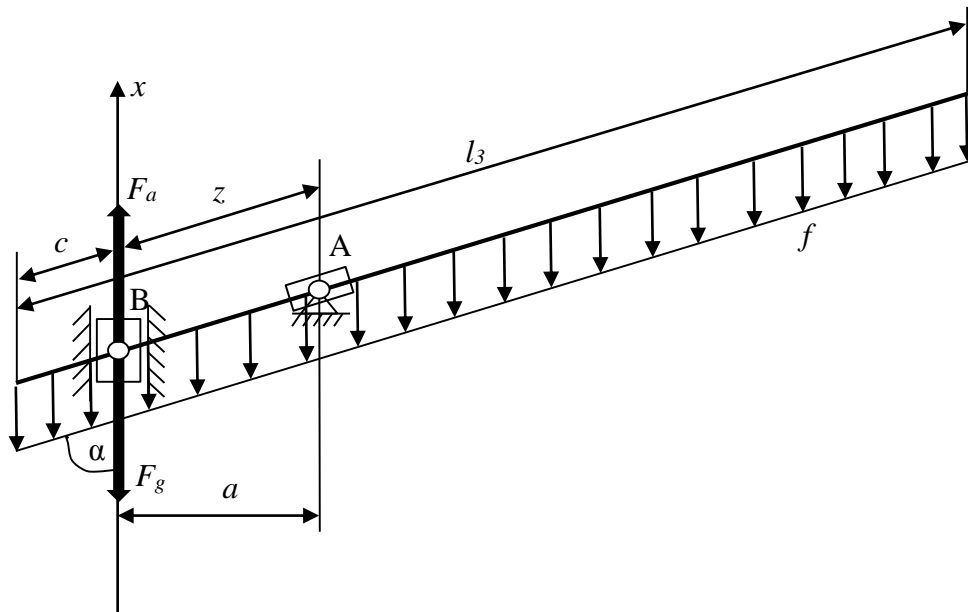
Hinnatav omadus	Hammaslattidega lahendus	Keermelattidega lahendus
Käsitsi liigutamise võimalus	+	-
Määrimise vajadus	+	+
Suur liikumiskiirus	+	-
Suur ülekantav jõud	-	+
Väikesed gabariidid	-	+
Ei vaja lisa reduktorit	-	+
Lihtne ühendada lauaplaadiga	+	-
Ülekande suur kasutegur	+	-
Ei vaja lisa konstruktsioone	-	+
Väike hind	-	+

Käigukruvidega lahendusvariant omab vähem negatiivseid külgi kui hammaslattidega lahendusvariant. Arvestades, et käigukruvid peavad olema isepidurdavad, et teostada liikumist elektrimootorite abil, pole võimalik lauaplaadi käsitsi liigutamine. See võib tekitada ohtliku või ebamugava olukorra kasutaja jaoks. Lisaks on isepidurduva käigukruvi kasutegur tunduvalt väiksem kui hammaslatiga ülekandel. See tõttu on hammaslatte kasutatav lahendusvariant sobilikum projekteeritava täitursõlme teostamiseks.

2.3 Hammaslattidega lahendusvariandi koormuste ja ajami nõuete arvutused

On võimalus, et teatavates lauaplaadi asendites, tekivad küllaltki suured jõuõlad, mille tõttu võib täitursüsteemilt nõutavad väljundjõud olla suured. Juhul kui eelnev oletus osutub tõeseks, tuleb kasutada hammaslattidega lahenduse puhul lisa reduktoreid, mille puhul võib olla käigukruvidega lahendusvariandi kasutamine majanduslikul otstarbekam. Kahtluse tõttu arvutati koormused ka käigukruvidega lahendusvariandile ning on toodud lisas (0).

Kõik tugevusarvutused on teostatud kasutades varuteguri väärtust $[S] = 2$. Varuteguri väärtus on valitud järgnevatel põhjustel: ebapiisava varuteguri puhul pole oht seadme kasutajale väga suur, seadme kahjustumise puhul ei ole rahalised kaod kuigi suured ning seadme konstruktsioonis ei kasutata hapraid materjale.



Sele 2.4 Hammaslattidega lahenduse staatiline süsteem

Täitursüsteemile mõjuva lineaarse staatilise koormuse (F_a) arvutamisel on valitud lauaplaadi materjaliks kasepuust mööblivineeri (tihedusega $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$). Hammaslatid asuvad lauajalgadest $a=50 \text{ mm}$ kaugusel. Hammaslatti kaugus lauaplaadi servast on $c=50 \text{ mm}$. Pikkused a ja c on valitud hinnanguliselt ning võivad muutuda sõltuvalt elektrimootorite, hammaslatti ja –rataste valikust ning paigalduspositsioonist. Täitursüsteem liigutab punkti B mööda x -telge. Punkt B asukohast sõltub nii nurk α , kui ka pikkus z ja seega ka nõutav jõud F_a .

Kasutatava materjali paksuseks valitakse tootja poolt pakutav standardmõõt $l_1=10 \text{ mm}$. Paksuse valik teostati, et materjali külge oleks võimalik kinnitada konstruktsioon, mis seob lauaplaadi täitursüsteemiga. Lisaks tuleb lauaplaadi paksuse valikul vältida lauaplaadi läbivajumist [8].

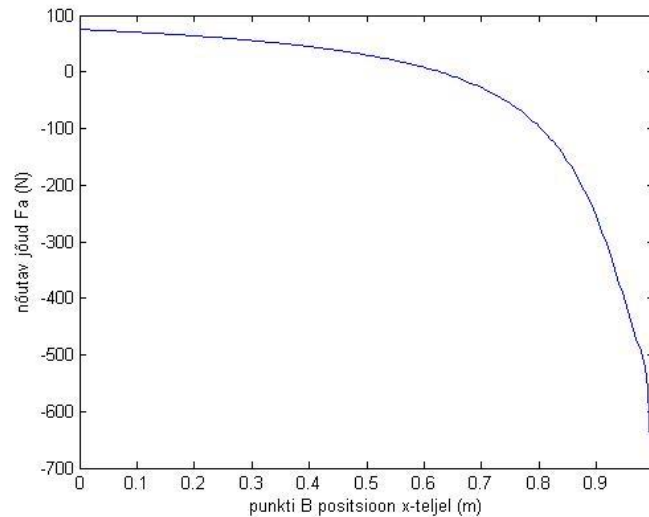
Vastavalt lauaplaadi dimensioonidele leitakse Sele 2.4 kujutatud joonkoormus $f = 63,80 \text{ N/m}$. Staatilise süsteemi puhul on moment ümber punkti A võrdne nulliga ($M_A = 0$). Kirjutades välja M_A kui mõjuvate jõudude ja nende jõuõlgade korrutiste aritmeetilise summana, on võimalik sealt avaldada täitursüsteemilt nõutav väljundjõud F_a . Vastavalt valemile (2.1) koostatakse nõutava jõu sõltuvuse punkti B positsioonist x -teljel graafik.

$$F_a = \frac{\left(m_t \cdot g \cdot a + \frac{(l_3 - c - z)^2}{2} \cdot f \cdot \sin(\alpha) - \frac{(c+z)^2}{2} \cdot f \cdot \sin(\alpha)\right)}{a} \quad (2.1)$$

m_t – täitursüsteemi mass,

l_3 – lauaplaadipikkus ($l_3 = 1100 \text{ mm}$),

g – gravitatsiooni kiirendus.

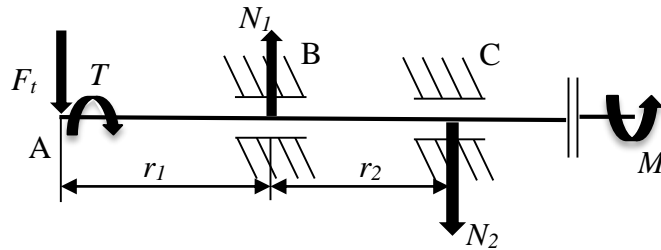


Sele 2.5 Nõutava jõu sõltuvus positsioonist x-teljel graafik

Hammaslattidega täitursüsteemilt nõutava jõu suurim absoluutne väärtus on $F_a = 660$ N, seega ühel hammaslati teljel mõjuv jõud on võrdne $Q = 330$ N. Hammaslati telje all mõeldakse hammaslati kesk-tasapinnal asuvat telge, mis läbib igat hammaslati hammast hamba poolkõrgusel. Edaspidi nimetatakse antud töös seda telge täitursüsteemi liikumisteljeks ehk x -teljeks.

Lisades on toodud valikulisele hammasrattale teostatud tugevusarvutus hamba paindele. Arvutuse järgi võib väita, et metallilisest materjalidest valmistatud hammasrattad täidavad tugevustingimuse ka väga väikese hamba laiuse puhul. Arvestades, et hammasratta radiaal koormus on tangentsiaal koormusest tunduvalt väiksem, pole radiaal koormuse järgi samuti otstarbeks valida hammasrattast. Selle tõttu teostatakse valik vastavalt hammasratta võlli avale nii, et hammasratta läbimõõt ja väljundpöördemoment oleksid minimaalsed [9]. Eeldades, et kasutatav täitursüsteem ja selle konstruktsioon sarnaneb (Sele 2.3) kujutatavaga, on võimalik koostada tugevusarvutuseks vajalik arvutuskeem ning leida nõutav võlli läbimõõt.

Ülekanne elektrimootorilt võllile, millel asub vedav hammasrattas on teostatud siduri abil. Võllil paiknevad kannavad punktides B ja C radiaalkuullaagrid. Punktis A asub võllil valitav vedav hammasrattas. Võlli abil kantakse elektrimootori pöördemoment $M = 6,6$ Nm vedavale hammasrattale, kus mõjub vastu pöördemoment T . Lisaks mõjub võllile mõjub eelnevalt leitud telgkoormus $F_t = 330$ N, mille vastu mõjuvad laagrite telgtoereaktsioonid N_1 ja N_2 . Kaugused $r_1 = 50$ mm ja $r_2 = 300$ mm on valitud hinnanguliselt.



Sele 2.6 Võlli tugevuse arvutusskeem

Arvutusskeemilt on näha, et väändepinged on konstantsed üle kogu võlli ja suurim paindemoment mõjub võllile punktis B. Seega asub suurim ekvivalentkoormus punktis B ($M_{ekv}=17,92 \text{ Nm}$), mis võrdub paindemomendi ja väändemomendi ruutude summa ruutjuurega [10].

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{ekv} \cdot [S]}{\pi \cdot \sigma_y}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 7 \cdot 2}{\pi \cdot 355 \cdot 10^6}} = 0,738 \cdot 10^{-2} \text{ m} \approx 8 \text{ mm} \quad (2.2)$$

σ_y – on materjali tõmbetugevus,

$[S]$ – nõutav varutegur

Valitav hammasratas [11] on C40 terasest järgmiste parameetritega:

- läbimõõt $d=18 \text{ mm}$,
- võlli ava läbimõõt $d_a=8 \text{ mm}$,
- hammasratta moodul $m=1,5$,
- hammasratta hamba Laius $b=17 \text{ mm}$

Hammasrattale valitakse sama hamba laiusuga ja sama hamba mooduliga hammaslatt, mille kõrguseks on 17 mm. Vastavalt vedava hammasratta parameetritele arvutatakse ajami väljundpöördemoment, väljund pöörlemissagedus ja väljundvõimsus. Arvutatavad parameetrid on väljundiks ühele hammaslatile.

- Väljundpöördemoment $M = 2,97 \text{ Nm}$.
- Väljundpöörlemissagedus $\omega = 3,70 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \approx 36 \text{ rpm}$.
- Väljundvõimsus $P = 11 \text{ W}$.

Järgneva tabeli koostamisel on käigukruvidega lahendusvariandi andmed toodud lisades peatüki 0 all.

Tabel 2.3 Lahenduste võrdlus

	Hammaslattidega lahendus	Keermelattidega lahendus
Nõutav pöördemoment M , Nm	2,97	1,91
Nõutav pöörlemissagedus ω , Hz	0,6	5,67
Nõutav väljundvõimsus ühele mootorile P , W	~13,75	67

Hammaslatiga lahenduse puhul on ühele elektrimootorilt nõutav väljundvõimsus hinnanguline kuna pole täpselt teada hammasülekande ja valitavate reduktorite kasutegurid. Kuna lahendusvariantide nõutav pöördemoment ei erine märkimisväärselt, valitakse täitursõlme lahendus vastavalt nõutavale võimsusele. Arvestades kummagi lahendusvariandi arvutustulemusi, on hammaslattidega lahendusvariandi valik õigustatud.

2.4 Elektrimootori valik

Toode, millele projekteeritakse lauaplaati liigutav täitursüsteemi, kasutab toitenä seinakontaktist saadavat ühefaasilist vahelduvvoolu toitepingega 230V ja sagedusega 50 Hz. Selle tõttu pole praktiline kasutada kolmefaasilisi vahelduvvoolumootoreid.

Ühefaasiliste vahelduvvoolumootorite kasutamine pole eelistatud kuna ühefaasiliste mootorite juhtimiseks kasutatavad mootorikontrollerid on kallimad ja keerukamad kui alalisvoolu mootorite juhtimiseks kasutatavad mootorikontrollerid. Lisaks on nõutava võimsusega ühefaasilised vahelduvvoolu mootorid tunduvalt kallimad ja väiksema kasuteguriga kui sama võimsusega alalisvoolumootorid [12].

Mootori valiku juures on piiravaks parameetrik pigem mootori pöördemoment kui pöörlemissagedus. Samm mootorite väljundpöördemoment on rohkem piiratud kui teist tüüpi alalisvoolu mootoritel. Lisaks taotletakse tavaliselt samm mootorite kasutamisega suuremat positsioneerimistäpsust. Arvestades, et lauaplaadi liikumisel on vaid 2 fikseeritud asendit, mille tagamine on tunduvalt lihtsam mehaaniliste piirajatega, pole samm mootorid eelistatud [13].

Harjadeta alalisvoolu mootorite eelised ilmevad rakenduses, kus on nõutud suurt täpsust, minimaalselt müra, kõrget efektiivsust ning pikaajalist katkematut tööd. Projekteeritava seadme

puhul pole ükski neist omadustest kriitilise tähtsusega. Lauaplaati tõstev mootor alustab mõlemast lauaplaadi piirasendist liikumist staatilise koormuse all. Eelistatuimaks variandiks on seega harjadega alalisvoolumootorid, mis suudavad arendada suuremat pöördemomenti käivitamisel ja madalatel kiirustel kui harjadeta alalisvoolumootorid [14].

Kuna mootoritelt nõutav võimsus pole väga suur, on odavam kasutada ühe lauaplaadi tõstmiseks ühte mootorit ning ülekande süsteemi, millega jagada mootori pöördemoment kaheks kummalgi hammaslatil liikuvale hammasrattale. Sellise lahenduse puhul on võimalik kokku hoida nii mootori kui ka mootori kontrolleri hinna. Elektrimootor tuleks valida koos reduktoriga, kuna nõutav pöörlemissagedus väike ning nõutav pöörlemismoment. Mootori ja reduktori laius ja kõrgus ei tohiks olla suuremad kui 80 mm ning mootori pikkus võiks olla väiksem kui 200 mm.

Arvestades eelnevaid kriteeriumeid ning peatükis 2.3 arvatud mootori parameetreid valiti tootja Motortec alalisvoolumootor PM6013-PL5259i [15]. Tegemist on püsिमagnetitega alalisvoolumootoriga, mis sisaldab planetaarülekannet ülekandesuhtega 47:1. Mootori sisendpingeks on 24V ning nominaal voolutugevus on 2,8 A. Mootori nominaal väljundparameetrid on järgmised:

- Väljundvõimsus: $P = 33\text{W}$,
- Väljund pöörlemissagedus: $\omega = 0,75\text{ Hz}$,
- Väljund pöördemoment: $M = 7,01\text{ Nm}$

Elektrimootor kinnitatakse lauaplaadi külge kinnitusnurga abil. Mootori pöördemoment kantakse vedavaid hammasrattaid ühendava võlliga kasutades hammasrihma. Kuna elektrimootori väljundpöördemoment pole piisavalt suur, tuleb hammasrihmarattad valida nii, et mootori võlli ja vedavate hammasrataste võlli vahel oleks ülekandesuhe 1:1.

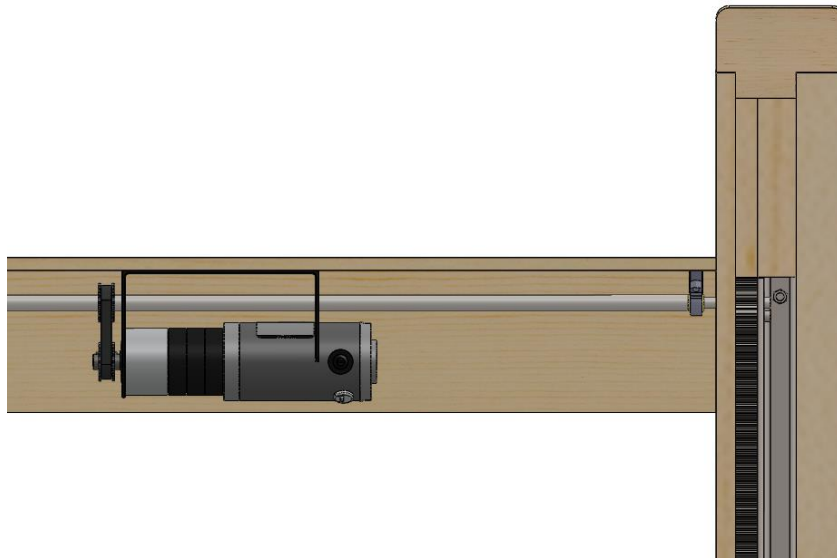
Hammasrihma kasutamine võimaldab eraldada elektrimootori hammaslattidest ja lauajalgadest nii, et sinna ei mõjuks elektrimootori vibratsioonid. Samuti peaks kinnitama elektrimootori lauaplaadiga nii, et lauaplaati ei kanduks elektrimootori vibratsioonid. Antud probleem on aga pigem oletuslik. Seega on võimalik, vibratsioonid ei valmista märkimisväärseid probleeme multifunktsionaalse laua kasutajale ega tekita tõrkeid tootes. Probleemi täpne lahendamine on alles võimalik valmis toote testimisel.

2.5 Projekteeritud seade

Seadme projekteerimiseks kasutati Solidworks 2014 tarkvara. Projekteeritav seade koosneb 3 suuremast osast.

- Jalad, mille sees asetsevad hammaslatid ja konstruktsioon, mille abil garanteeritakse hammaslattice ja hammasrataste hambumine.
- Lauaplaat, koos elektrimootori kinnituste ja elektrimootorit kaitsva puitplaadiga.
- Elektrimootor, koos hammasrataste, rihmarataste ja võlliga.

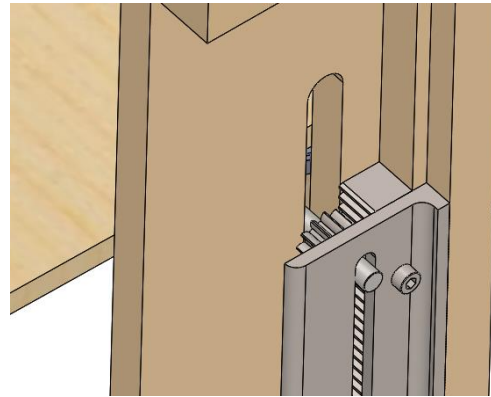
Antud projekteerimise eesmärk on täpselt määrata hammaslattice, elektrimootori ja hammasrataste paiknemine. Täitursõlmega seadme kinnitamine multifunktsionaalsele lauale ja disainimine pole antud töös esmatähtsad. Nimetatud tegevused jäetakse tähelepanuta, kuna ülejäänud toote detaile ja detailide koostu ei eksisteeri ning projekteeritakse tulevikus.



Sele 2.7 Lauaplaadi fikseerimine täituri jalaga



Sele 2.8 Mootor koos kinnituse ja ülekandega



Sele 2.9 Hammasratta sidumine hammaslatiga

Projekteeritud seadme koostamine on küllatki reaalne ning ei esine märkimisväärseid probleeme detailide dimensioneerimisel. Kahe lauaplaate liigutava seadme lisamine multifunktsionaalsele lauale ei suurendanud algselt seatud toote laiust. Seadme projekteerimise alguses eeldati, et toote pikkus suureneb 100 mm ühe seadme kohta ehk kokku 200 mm. Antud eeldusest ei suudetud kinni pidada peamiselt elektrimootori dimensioonide tõttu. Projekteeritud seadmetega toote pikkus suurenes 250 mm võrra.

Projekteeritud seadme esmasel analüüsil on täheldada kahte võimalikku probleemi. Esimeseks probleemiks on võlli ja vedavat hammasrattast fikseeriva soone pindade vaheline hõõrdumine. Täitursüsteemi positsiooni suuremate väärtuse puhul liikumisteljel, on võlli ja võlli soone vahel suurem toereaktsioon. Kuna võll teostab liitliikumist, on nii võlli kui ka soone kulumine põhjustatud nii sirgjoonelisest liikumisest tulenevast hõõrdumisest kui ka pöördliikumisest tulenevast libisemisest. Antud probleemi oleks võimalik lahendada lisades võlli ja soone vahelise laagerduse. Laagerdusega eemaldatakse libisemise ja hõõrdumise koosmõju ning seega vähendatakse kummagi detaili kulumist.

Teiseks projekteeritud täitursõlme probleemiks on võlli laagrite ja laagripukkide asendi reguleerimine. Antud konstruktsiooni juures on võimalik laagripukke liigutada vaid ühe laagripuki positsiooni telje suhtes. See võib tekitada olukorra, kus võllile mõjub lisa koormus ning ei täideta tugevustingimusi.

2.6 Seadme tugevuse kontroll

Sele 2.4 kujutatud staatilise süsteemi abil on võimalik endiselt iseloomustada projekteeritud täitursõlme. Raskusjõud F_g on lauaplaadiga seotud kehade (mootor, laagrid, hammasrattad, võll, mootori kinnitus, mootorit varjav puitplaat, rihmarattad) raskusjõudude summat, mis

mõjub kehade ühisest raskuskeskmest. Kaugus $c = 35$ mm iseloomustab kehade raskuskeskme kaugust lauaplaadi servast, olgu $r_2 = 50$ mm raskuskeskme kaugus lauaplaadist ja $r_1 = 35$ mm vedava hammasratta tsentri kaugus lauaplaadist. Madratsikasti serva kaugus liikumisteljest on $a = 83$ mm. Momentide tasakaaluvõrrandist avaldatakse nõutav liikumisteljel mõjuv lineaarkoormus, arvestades konstruktsiooni eripärasid. Vastavalt valemile (2.3) koostatakse F_a graafik.

$$F_a = \frac{\left(m_t \cdot g(z + y_1 + 0.0135 - y_2) + \frac{(z+y_1+0.0485)^2}{2} \cdot f - \frac{(l_3-z-y_1-0.0485)^2}{2} \cdot f\right) \sin(\alpha)}{a} \quad (2.3)$$

m_t – täitursüsteemi mass, $m_t = 3,584$ kg,

y_1 – vedava hammasratta tsentri kauguse lauaplaadist projektsiooni lauaplaadile pikkus

$$y_1 = r_1 \cdot \tan(\alpha),$$

y_2 – täituri massi raskuskeskme kauguse lauaplaadist projektsiooni lauaplaadile pikkus

$$y_2 = r_2 \cdot \tan(\alpha),$$

f – lauaplaadi joonkoormus,

l_3 – lauaplaadi pikkus,

z – kaugus madratsikasti lauaplaati toetavast servast mööda lauaplaati kuni x -teljeni,

a – vedava hammasratta tsentri kaugus madratsikastist,

α – nurk lauajala ja lauaplaadi vahel.

Sele 2.5 abil on võimalik kirjeldada uut F_a graafikut. Uus graafik on kujult samasugune nagu vana, kuid erineb x -telje ulatuse poolest, kuna hammasratta paigutus vähendas liikumise pikkust x -teljel. Uuel graafikul on maksimaalne absoluutne nõutav jõud väiksem tänu täitursüsteemi paiknemise (a pikkus) ja lisa raskustele nagu mootorit varjav puitplaat. Nõutav maksimaalne suurim jõud on $F_a = 261$ N.

Kuna koormused on vähenenud, ei ole vajalik teostada tugevustingimuste kontrolli. Samuti vähenes elektrimootorilt nõutav võimsus. Uue mootori valik on tarvilik, kuna nõutav jõud vähenes 2,52 korda. Otsustati kasutada sama elektrimootorit, millele valitakse väiksema ülekandeteguriga planetaarülekanne. Planetaarülekanne valitakse ülekandeteguriga, mis on samuti 2,52 korda väiksem kui eelmine ülekandetegur. Uueks planetaarülesandeks valiti mudel PL5219iP, mille ülekande tegur on 19:1. Ülekandetegur on ligikaudu 3 korda väiksem eelnevast ülekandetegurist (49:1), kuna uue ülekande kasutegur on suurem [16]. Uue ülekandega mootori väljund parameetrid on: väljundvõimsus $P = 39$ W, nominaal pöörlemissagedus $\omega = 2,30$ Hz ja nominaalpöördemoment $M = 2,63$ Nm.

3 SEADME ELEKTROONIKA VALIK JA FUNKTSIONEERIMINE

3.1 Mootori kontrolleri valik

Mootori tööd juhitakse juhtkontrolleri taimeriga ja positsioonilülitite abil. Positsiooni lülitite P3 ja P4 abil parandatakse taimeriga hinnatud positsiooni viga ning signaliseeritakse pidurduste algust. Lõpülülititega P1 ja P2 signaliseeritakse juhtkontrollerile liikumisoperatsiooni õnnestumist. Sellise positsiooni tagasisidestava süsteemiga puudub vajadus kasutada seadme juhtimiseks tunduvalt kallimaid vahendeid nagu kiirendusandurid või enkooderid.

Kasutatavate lülititega jaotatakse liikumistelje ulatus kolmeks osaks. Vastavalt liikumissuunale toimub kahes osas kolmest maksimaalse kiirusega liikumine ning kolmandas osas fikseeritud parameetritega pidurdamine. Iga osa ulatuse pikkus pole kuigi suur, mis vähendab positsiooni hinnangu liigse vea teket. Eeldades, et maksimaalne viga jääb lubatud väärtuse piiresse, on põhjendatud kulukamate tagasiside vahenditest loobumine. Seega jäetakse kontrolleri valikust välja suletuid tagasiside ahelaid kasutavad mootorikontrollerid

Tänu hinnangute võimaliku ebatäpsusele ja puudulike tagasisidet teostavatele vahenditele, pole majanduslikult otstarbekas valida suurte sisendite arvuga ja arvutusvõimsusega mootorikontrollerit. Mootorikontrolleri valiku piisavus on määratud vajalike elektrimootori töörežiimidega. Mootorikontrolleriga peab olema võimalik teostada sujuvat mootori käivitamist ja pidurdamist, kuna täitursüsteem alustab liikumist positsioonidelt, kus mõjuvad märkimisväärsed staatilised koormused. Mootorikontroller peab võimaldama mootori tööd mõlemal pöörlemissuunal.

Alalisvoolumootori mähiste takistus muutva kontrolleri kasutamine pole võimalik, kuna kasutatav mootor on valitud vastavalt nõutud väljundvõimsusel ning mootori takistuskontrolliga muudetakse aga osa mootori võimsusest soojuseks [17].

Diverter mootorikontrolleriga juhitakse mootori kiirust kasutades madala muudetava takistusega šunti. Šundi abil suunatakse teatav osa mootori toitevoolust mootori mähistest eemale, tänu millele langeb mootori väljundpöörlemoment ning tõuseb väljundpöörlemissagedus. Arvestades, et täitursõlme lahendusvariandi oli kõige kriitilisemaks mootori väljundparameetriks arendatav pöörlemoment, ei ole võimalik seda langetada. Sarnaselt mootori juhtimine mähiste takistuse muutmisel, tekivad lisa kaod mootori voolu mootorist eemale juhtimisega [17].

Arvestades pideva tagasisidestatuse puudumist ning teiste püsिमagnetitega alalisvoolumootori juhtimisvõimaluste puuduseid, teostatakse valik mootorikontrollerite hulgast, mis kasutavad H-silda. H-silda kasutavate kontrollerite peamisteks eelisteks on nende töökindlus, lihtsus, madal hind ja väikesed võimsuskaod [18] [19].

Kontrolleri valiku kõige tähtsamateks parameetriteks on maksimaalne väljundvõimsus. Mootorikontrolleri väljundparameetrid valitakse kasutatava alalisvoolumootori parameetrite järgi. Et tagada mootori võimalik kiiruste ulatus, peab mootorikontrolleri maksimaalne väljundpinge olema suurem kui 24 V. Tagamaks mootori operatsiooni võimalikku maksimaalset pöördemomendi, peab mootorikontrolleri maksimaalne väljundvool olema samas suurusjärgus kui mootori *brakedown current* ($I_{bc} \approx 13 \text{ A}$) [20].

Valiti tootja Pololu h-sillaga mootorikontroller. H-sild on ehitatud IPD036N04L transistoritest. Mootorikontrollerisse on integreeritud voolusensor ACS714x20A. Kontrollerit juhitakse kahe PWM signaaliga, mille maksimaalne sagedus ulatub kuni 20 kHz. Kontrolleri väljundparameetrid on kuni 40V väljundpinged, kuni 20 A pidevat väljundvoolu [21] [22] [23]. Antud kontrolleri väljundparameetrid on suuremad kui antud rakenduses nõutud parameetrid. Selle kontrolleri valik on peamiselt majanduslikult põhjendatud kuna kontroller sisaldab ka voolu sensorit, mis teistel sarnastel kontrolleritel puudub [24]. Lisaks polnud leitud väiksemate väljundparameetritega kontrolleritel võimalus kontrollida pidurdusintensiivsust [25].

3.2 Seadme elektroonika töökindluse tagamine

Projekteeritava täitursüsteemi elektroonika töökindluse ja kasutaja ohutuse tagamiseks on kasutusel mitmeid kaitselüliteid. Peakaitseülitiks on elumaja või koreteri elektrikapi lühisvoolu kaitselüliti. Lisaks kaitseb seadet kasutatava toiteploki lühisvoolu kaitselüliti. Toiteploki valiku tegemine ning seega toiteploki kaitselülite parameetrite kirjeldamine pole antud töös võimalik, sest eeldatavasti ühendatakse ka multifunktsionaalse laua lisa funktsioone täitvate seadmete alalisvoolu tarbijad ning tulevikus valitav juhtkontroller toiteploki väljundisse. Mootorikontrollerisse on samuti integreeritud kaitselüliti, mis kaitseb elektrimootorit nii lühisvoolude, alapingete kui ka liigse temperatuuri eest.

Elektriohutuse ja elektroonika kaitse teostamiseks tuleb dimensioneerida projekteeritava seadme elektri juhtide ristlõike pindalad. Ristlõike pindala leitakse vastavalt juhi pikkusele, pingestatussele ning juhti läbivale voolutugevusele. Kriitilisemad dimensioneeritavad juhid kannavad voolu toiteplokist mootorikontrollerisse ja mootorikontrollerist elektrimootorisse.

Antud toitekaableid läbib lühiajaliselt ligikaudne maksimaalne vool väärtusega 13 A. Toitekaablite dimensioneerimiseks kasutatakse valitud elektrimootori nominaalvoolutugevust $I_n = 2,8$ A. Eeldusel, et mootorikontroller koos toiteplokiiga asub multifunktsionaalse laua madratsikasti keskel, on toitekaablite ligikaudne pikkus 3 m. Kaablite pingestatus on võrdne toiteploki väljundpingega 24 V. Kaabli ristlõike pindala dimensioneerimiseks kasutatakse võrgutarkvara [26]. Tulemuseks saadi toitekaablite ristlõik pindalaks $1,5 \text{ mm}^2$.

Lisaks tuleb leida selline juhtmete kinnitussüsteem, et juhtmed, mille abil transporditakse elektrivool mootorikontrollerist elektrimootorisse ei satuks lauaplaadi liigutamisel hammaslati ja hammasratta vahele.

Elektrimootorit ja mootori kontrollerit ühendavad toitekaablid viiakse lauaplaadi küljes olevale mootorile läbi seadme jala. Selleks on vajalik lauajala ja seadme hammaslati konstruktsiooni vahele paigutada ava, läbi mille jooksevad toitekaablid. Toitekaablid paigutatakse kaablilinti, et toitekaablid ei satuks hammaslati ja hammasratta vahele. Kaablilindi teine ots on kinnitatud lauaplaadi külge. Kasutatakse toitekaablite kaitseks kaablilinti, mille kõrgus on 7 mm ja painderaadius 15 mm [27].

3.3 Projekteeritava seadme elektriskeem

Peatükist 4.1 on välja toodud järgmised vajaminevad lülitid ja indikaatorlambid:

- Surunupp S1, millega toimub mootorite käivitamine,
- Lõpulüliti P1, millega antakse signaal esimese piirasendi kohta,
- Lõpulüliti P2, millega antakse signaal teise piirasendi kohta
- Indikaatorlamp L1, mis indikeerib kasutusluku olekut,
- Indikaatorlamp L2, mis indikeerib viga või ohtu seadmes.
- Lüliti P3, millega antakse signaal piirasendile P2 lähenemise kohta
- Lüliti P4, millega antakse signaal piirasendile P1 lähenemise kohta
- Voolusensor, mille abil teostatakse mootori juhtimist.

Surunupu S1 paigutus sõltub kogu toote konstruktsioonist. Tõenäoliselt asub surunupp S1 mõnel lauajalgadest. Mõlemad indikaatorlambid L1 ja L2 asuvad surunupu S1 läheduses.

Lõpulüliti P1 on kinnitatud vedavate hammasrataste võlli suunava soone juurde nii, et esimeses piirasendis oleks lüliti sulgetud. Lõpulüliti P2 on kinnitatud madratsikasti küljele nii, et lauaplaat sulgeks mehaaniliselt lüliti kui lauaplaat asub madratsikastil. Lüliti P3 Paikneb

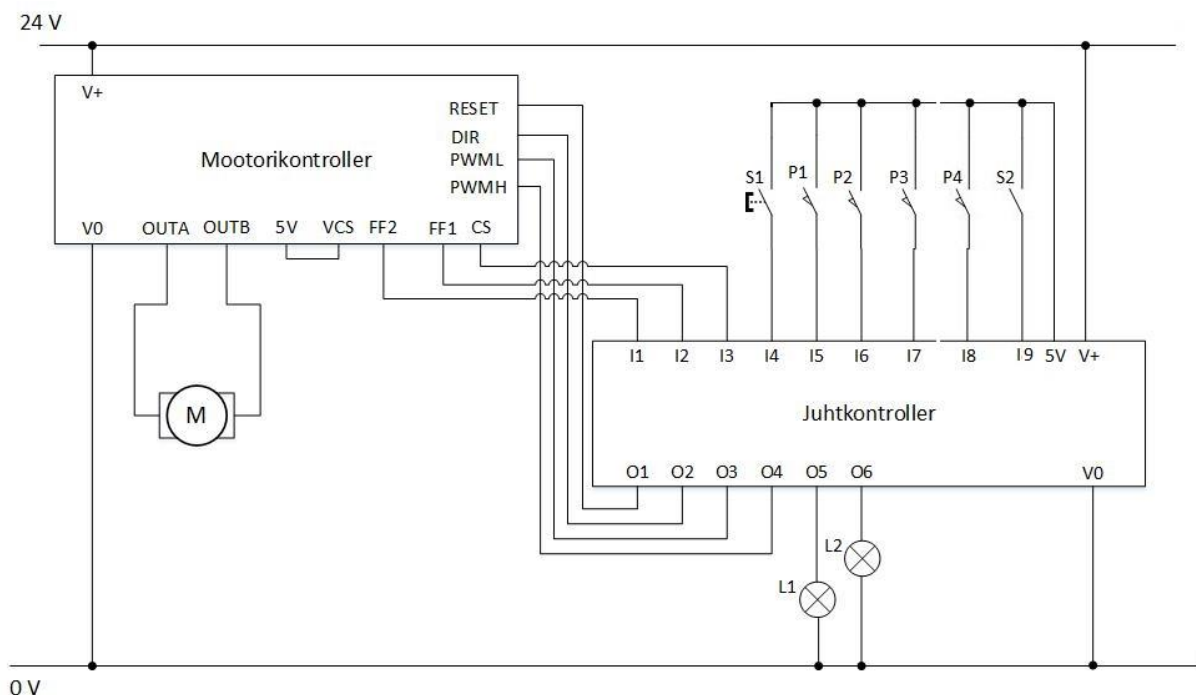
madratsikasti lühemal küljel nii, et lauaplaadi liikumisel P3 lülituks liikumistelje positsioonis, kus täitursüsteemilt nõutav jõud on võrdne nulliga ($x_{P3} = 668$ mm).

Lüliti P4 kinnitatakse projekteeritava täitursüsteemi jalga sellisele kõrgusele, et lülitumisel oleks võimalik mootoreid pidurdada vastavalt kaugusele, kus asub lõpulüliti P1.

Tabel 3.1 Lülitite valik

Valitav lüliti	Valitud lüliti tootekood	Lülituse teostamise viis	Viide
S1	P9MPLVGD184492	Surunupuga	[28]
P1	914CE1-3G	Surunupuga	[29]
P2	914CE1-3G	Surunupuga	[29]
P3	914CE1-31	Rullikuga surunupuga	[29]
P4	914CE1-31	Rullikuga surunupuga	[29]

Loetletud lülitite ja kasutatavate elektroonika komponentide alusel koostatakse elektriskeem.



Sele 3.1 Seadme elektriskeem

Sele 3.1 näidatud juhtkontrolleri väljundid O1, O2 on 5 V pingega vastavalt mootorikontrolleri lubatud sisendite pingele. Väljundid O3 ja O4 on PWM tüüpi signaalid. Lüliti S2 asub

juhtkontrolleriga elektrikilbis. Lüliti S2 abil toimub mootorikontrolleri lühisvoolu tõrkesignaali eemaldamine.

Kuna juhtkontrollerite väljundid O1 ja O2 on 5 V loogikaga, on tõenäoliselt ka kõik teised juhtkontrolleri väljundid ja sisendi 5 V loogikale ehitatud. Seega tuleb valida juhtkontroller, millele oleks 5 V pingega väljund või kasutada alalisvoolu konverterit, et ühendada lülitid juhtkontrolleri sisenditesse. Elektriskeemi on teostatud lülitite ühendamine kasutades juhtkontrolleri 5 V väljundit.

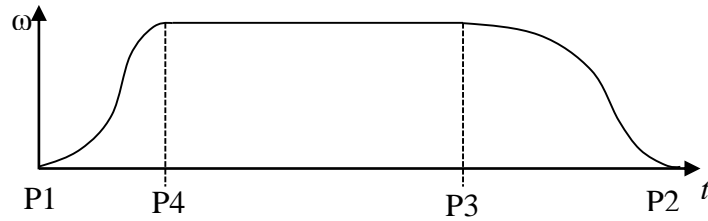
Kontrolleri Väljund 5V kasutatakse kontrollerisse integreeritud voolutugevuse sensori toiteks. Sensori väljundi CS ulatus, mille juures on tagatud voolutugevuste täpsus on -20 A kuni 20 A. Sensori tundlikus toetemperatuuril on 100 mV/A

3.4 Mootorikontrolleri tööoperatsiooni vajalike parameetrite arvutamine

Mootorikontrolleri juhtimine toimub juhtkontrolleri taimeriga abil. Taimeriga loetakse teostatud liikumise hetk, millele arvutatakse vastav hinnanguline positsioon. Positsioon liikumisel on võrdne nulliga piirasendis P1 ning liikumisel lõpus piirasendis P2 on positsiooni väärtus $x_{P2} = 960$ vastavalt hammaslati pikkusele. Arvutatud hinnangulise positsiooni järgi leitakse nõutava jõu väärtused (Sele 2.5). Vastavaid väärtusi kasutatakse, et omistada positsioonile mootori mähiseid läbiva voolu tugevus..

Eelnevalt on mainitud, et seadme liikumis ulatus liikumisel on jaotatud kolmeks osaks ning igale osale on omistatud vastavalt mootori pöörlemissuunale töörežiim. Võimalikud töörežiimid sõltuvad liikumissuunaks ning jagunevad kolmeks: kiirendus, pidurdus ning ühtlaseks liikumiseks. Päripäeva pöörlemissuuna puhul toimub liikumine piirasendist P1 asendisse P2, mille puhul oleks liikumisrežiimide järjekord: kiirendamine, ühtlane liikumine ja pidurdamine. Vastu päeva toimuva pöörlemissuuna puhul on liikumisrežiimide järjekord vastupidine.

Mootori pöörlemissagedust iseloomustavad s-kujulised kiiruse graafikud. S-graafikute üldine funktsiooni üldkuju on $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$. Pidurdus töörežiimis omab funktsioon maksimaalset väärtust režiimi alguses ning kiirendusrežiimis töörežiimi lõpus. Graafiku maksimaalne väärtus on võrdne mootori nominaal pöörlemissagedusega ($\omega_n = 14,44$ rad/s). Nõutava kiiruse graafik on koostatud vastavalt ajale (Sele 3.2).



Sele 3.2 Pöörlemisageduse sõltuvus ajast

Taimer ja kiirusgraafiku alusel hinnatakse täitursüsteemi positsiooni x -teljel. Positsiooni hinnangu viga sõltub mootorikontrolleri juhtimistäpsusest ning juhtkontrolleri taimer täpsusest. Positsiooni hinnangu viga summeerub liikumise jooksul. Et vähendada positsiooni hinnangu viga omistatakse positsiooni hinnangu väärtuseks lülite P4 ja P3 lülitumisel vastava lüliti positsiooni väärtus. Hinnangu väärtus arvutatakse juhtkontrolleris järgmise valemi järgi.

$$\tilde{x}_n = \tilde{x}_{n-1} + \int_{t_{n-1}}^{t_n} \omega(t) dt \quad (3.1)$$

\tilde{x}_n – positsiooni hinnangu väärtus,

\tilde{x}_{n-1} – eelneva positsiooni hinnangu väärtus,

t_n – aeg positsiooni hindamisel,

t_{n-1} – aeg eelneva positsiooni hindamisel.

Koostatakse erinevate täitursüsteemi positsioonide staatilisest koormusest tulenevate volutugevuste maatriks L . Koostatav maatriks on 2-mõõtmeline, mille mõõtmed on määratud positsiooni hinnangutega ning täitursüsteemi liikumissuunaga. Olgu maatrikis ridade arv võrdne kahega ning veergude arv võrdne diskreetsete positsiooni hinnangute arvuga liikumistelje ulatuses. Maatrikis veeruelemendid on vastand märgilised, kuna nõutavast liikumissuunast sõltub volusuund mootoris. Oletades, et koostatava maatriksi rida koosneb n elemendist, saab jaotada liikumistelje ulatuse võrdelt iga elemendi vahel ning leida vastavalt elemendi positsiooni väärtusele vastav volutugevuse väärtus [13].

$$L_{n,m} = (-1)^m \cdot \frac{F_a \cdot d}{2 \cdot k_T} \quad (3.2)$$

$L_{n,m}$ – maatriksi n elemendi väärtus,

F_a – täiturseadme positsioonile vastav nõutava jõu väärtus mööda liikumistelge (2.3),

d - vedava hammasratta läbimõõt,

k_T – elektrimootori pöördemomendi konstant.

Sarnaselt staatiliste koormuste voolutugevuste maatriksile koostatakse dünaamiliste koormuste vastavate voolutugevuste maatriks D. Dünaamilise voolutugevuse maatriks on 2-mõõtmeline. Maatriksi ridade arv on määratud täitursüsteemi liikumissuunaga. Maatriksi veergude arv on võrdne L maatriksi veergude arvuga. Dünaamilised koormused mootoris sõltuvad liigutatavatest kehadest koosneva süsteemi inertsmomentidist ja pöörlemiskiirenduse väärtusest. Maatriksi D element arvutub järgmiselt [13].

$$D_{n,m} = (-1)^m \cdot \frac{J \cdot \frac{d\omega}{dt}}{k_T} \quad (3.3)$$

J – seadme liikuvate osade summaarne inertsmoment,

$\frac{d\omega}{dt}$ – täitursüsteemi nõutav kiirendus.

Arvutatud dünaamilistest ja staatilistest koormustest tulenevaid voolutugevuste summat kasutatakse voolutugevuse sensori väljundiga võrdlemiseks. Võrdlustulemuse alusel määratakse, kas täitursüsteemi liikumine on ohtlik või ohutu.

4 SEADME OPERATSIOONI KIRJELDAMINE JA JUHTIMISE TEOSTAMINE

4.1 Seadme operatsiooni kirjeldus

Seadme ainukeseks ülesandeks on liigutada lauaplaat ühest piirasendist teise. Olgu esimene piirasend (*P1*), kus lauaplaati asub madratsikasti küljel ning teine piirasend (*P2*), kus lauaplaat asub madratsikastil.

Projekteeritava täitursõlmega seadme kasutamine peab olema võimalikult lihtne. Selle tõttu peab olema lülitite arv, mis on vajalik seadme operatsiooniks, võimalikult väike. Lauaplaatide liigutamiseks ühest piirasendist teise kasutatakse surunuppu (*S1*). Surunupu *S1* esmasel vajutamisel eemaldatakse seadmelt kasutuslukk. Seadme kasutuslukk on tarkvaraline ohutus tagav muutuja. Surunupu *S1* teisekordsel vajutamisel käivitatakse läbi mootorikontrolleri lauaplaadi liigutamiseks kasutatav elektrimootor. Kui surunupu *S1* vajutust, millega toimub elektrimootori käivitamine, ei toimu teatava aja jooksul pärast kasutusluku eemaldamist, rakendatakse taas kasutuslukk ning mootorite käivitamiseks on uuesti vaja kahte surunupu *S1* vajutust. Juhul kui lauaplaat asub staatiliselt ühes piirasenditest ning on eemaldatud kasutuslukk ja juhtkontroller ei tähelda seadme operatsioonis võimalikke tõrkeid, süttib indikaatorlamp *L1*, et anda kasutajale märku kasutusluku puudumisest ning võimalusest käivitada mootorid. Aktiivne kasutuslukk keelab juhtkontrolleril kõikide signaalide lugemise peale lüliti *S1* signaali ning mootorikontrolleri tõrkesignaalide.

Lauaplaadi lahkumisel kummastki piirasendist, rakendatakse taaskord kasutuslukk, et vältida tahtmatut lauaplaadi liikumise katkestamist. Lauaplaadi liikumist on võimalik katkestada kahel viisil. Esimene meetod on kasutada surunuppu *S1*. Vajutades surunuppu *S1* kaks korda, esmalt et eemaldada kasutuslukk, teine kord et anda signaal katkestamiseks. Liikumise katkestamisel toimub lauaplaadi liikumine tagasi eelnevasse piirasendisse.

Teine meetod lauaplaatide liikumise katkestamiseks on lauaplaatide liikumise füüsiline takistamine. Antud meetod on rakendatud seadmele, et kaitsta erinevaid lauaplaadi liikumise trajektorile ette jäänud objekte. Liikumist segava objekti tõttu suureneb lauaplaadi liigutamise koormus. Suurenenud koormuse tõttu muutub voolutugevus elektrimootori mähistes. Mootorite mähiste voolu võrreldakse antud positsioonis oleva normaalse voolutugevusega. Juhul kui võrreldavad voolutugevused erinevad piisavalt, sooritatakse tagasiliikumine eelnevasse piirasendisse. Kui tagasi liikumine on samuti takistatud eelnevalt takistava objekti läheduses,

katkestatakse vool elektrimootorisse. Teine liikumise katkestamine annab märku mõne liikuva detaili takerdumisest või kahjustumisest ning voolu katkestamine on seega õigustatud, et vältida elektrimootori või mootorikontrolleri kahjustumist. Antud meetodi abil toestatakse ka kasutaja kaitset kuna lauaplaadi liikumissuunda saab sama meetodi alusel käsitsi muuta. Arvestades, et liikumise käsitsi peatamiseks võiks piisata ligikaudu 30 N suuruse jõu avaldamisest lauaplaadi liikumissuuna vastu, pole võimalik, et seadme kasutajale tekiks füüsilisi vigastusi. Liikumise katkestamisel ja tagasilikumise sooritamisel või elektrivoolu katkemisel mootoritesse, süttib indikaatorlamp L2. Indikaatorlamp L2 annab kasutajale märku tekkinud veast või liikumise katkestamisest. Mitmekordsel järjestikusel katkestamisel suureneb hinnatava positsiooni viga, mille tõttu võib seadme planeeritud liikumiste teostamine olla võimatu.

Seade peab lõpetama kõik lauaplaatide liikumised sujuvalt. Selleks saadakse pidurdusrežiimi signaal positsiooni lülilt P3 või P4. Vastavalt P3 ja P4 positsioonile toimub mootori ehk ka lauaplaadi liikumiskiiruse sujuv vähendamine. Antud nõue on vajalik täita, et vältida toote kahjustumist ja liigset müra piirasendisse jõudmisel.

4.2 Mootorikontrolleri juhtimine

Mootori juhtimiseks kasutatakse PWM signaali, millega reguleeritakse mootori pöörlemissagedust. Juhtsignaali DIR abil valitakse juhitava mootori pöörlemissuund. PWML on PWM tüüpi kontrolleri sisendsignaal, millega määratakse pidurdusrežiimi tüüp või *coasting* režiim. PWMH on PWM tüüpi kontrolleri sisendsignaal, millega määratakse mootori pöörlemise parameetrid. OUT A ja OUT B on kontrolleri viigud, mis ühendatakse elektrimootoriga. Teostatava operatsiooni tulbas on CW mootori päripäeva pöörlemissuund mootorile ja CCW vastu päeva mootori pöörlemissuund [21].

Tabel 4.1 Mootori kontrolleri tõeväärtustabel

PWML	PWMH	DIR	OUT A	OUT B	Teostatav operatsioon
H	H	L	GND	V+	CW
H	H	H	V+	GND	CCW
L	H	X	GND	GND	Pidurdus
H	L	X	V+	V+	Intensiivne pidurdus
L	L	X	Z	Z	<i>Coasting</i>

Mootori kontrollid sisaldab ka tõrkeloogikat, millega kaitstakse nii kontrollereid kui ka mootorit kahjustumast. Erinevad tõrked, mida kontrollid on võimeline tuvastama on: lühisvool, ülekuumenemine ja alapinge. Tõrgete teavitamiseks on kontrollidel kaks väljundit: FF1 ja FF2. Vastavalt nende väljundite olekule on võimalik kindlaks teha tõrke olemasolu ja selle tüüp [21].

Tabel 4.2 Tõrgete tõeväärtustabel

FF1	FF2	Tõrke kirjeldus	Mootorite väljundite deaktiveerimine
L	L	-	Ei
L	H	Lühisvool	Jah
H	L	Ülekuumenemine	Ei
H	H	Alapinge	Jah

Alapinge tekkimise puhul kõrvaldatakse tõrge kui pinge väärtus on tõusnud piisavalt. Juhul kui kontrollis või mootoris tekib lühisvool, tuleb tõrke mootorite aktiveerimiseks anda kontrollile *reset* signaal [21].

PWMH ja PWML signaalide töötükli (*duty cycle*) väärtus on protsentuaalne väärtus, mis kirjeldab protsendiliselt, kui suurt osa mootorikontrollerile antavast elektrilisest võimsusest antakse elektrimootorile. PWMH ja PWML töötükli väärtus peab olema selline, et tagada Sele 3.2 kujutatud mootori pöörlemisajade sõltuvus ajast. Kiirendava mootori töörežiimi puhul on PWMH signaali töötükli väärtus pidevalt võrdne 100% ning PWML töötükli väärtus tõuseb sujuvalt 0% kuni 100%. Ühtlase liikumise teostamiseks on mõlema PWM signaali töötükli väärtused võrdsed 100%. Pidurdavas töörežiimis muutub PWMH signaali töötükli väärtus 100% kuni 0% ning PWML väärtus hoitakse konstantsena 100%.

4.3 Mootori juhtimine

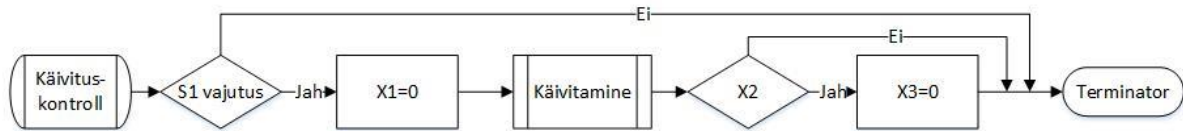
Mootori töötamise ajal viiakse läbi olekutekontroll. Olekutekontroll seisneb voolugevuste võrdlemises ning surunupu S1 vajutuse kontrollis. Võrreldavad voolugevused on voolusensori väljund ja L ning D maatriksi vastavate elementide summa. Maatriksitest loetakse

element leitakse positsiooni x alusel, mille hindamine toimub vastavalt peatükis 3.4 kirjeldatule.



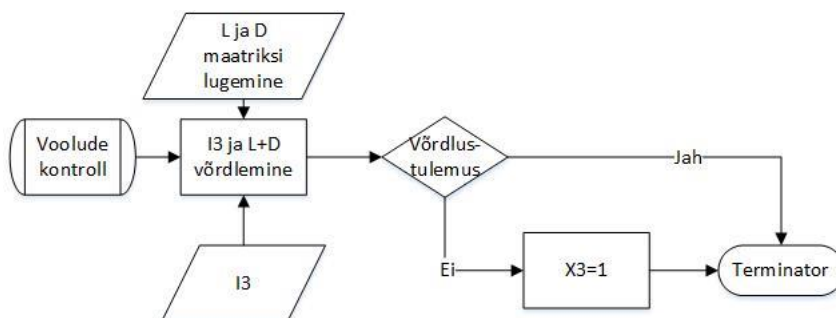
Sele 4.1 Olekute kontrolli

Käivituse kontrolliks loetakse S1 lüliti, mille vajutuse puhul oodatakse teist S1 vajutust, et anda signaal mootorite pöörlemis-suuna muutuse kohta. Kui signaali ei anta piisava aja jooksul liigutakse tsüklis edasi voolutugevuse kontrolli.



Sele 4.2 Käivituse kontroll

Voolude võrdlemiseks loetakse voolusensori väljund väärtus juhtkontrolleri sisendis I3 ning leitakse vastavalt positsiooni hinnangule L ja D matrikis element ja selle väärtus. Toimub matriksite elementide summa võrdlemine voolusensori väljundiga. Juhul kui võrreldavad omavad sarnaseid väärtuseid, liigutakse voolude kontrollis välja. Mitte võrsete voolude korral antakse selles muutuja X3 väärtuse muutmisega teada, Antud väärtust kasutatakse hiljem, et muuta mootori pöörlemis-suund.



Sele 4.3 Voolude kontroll

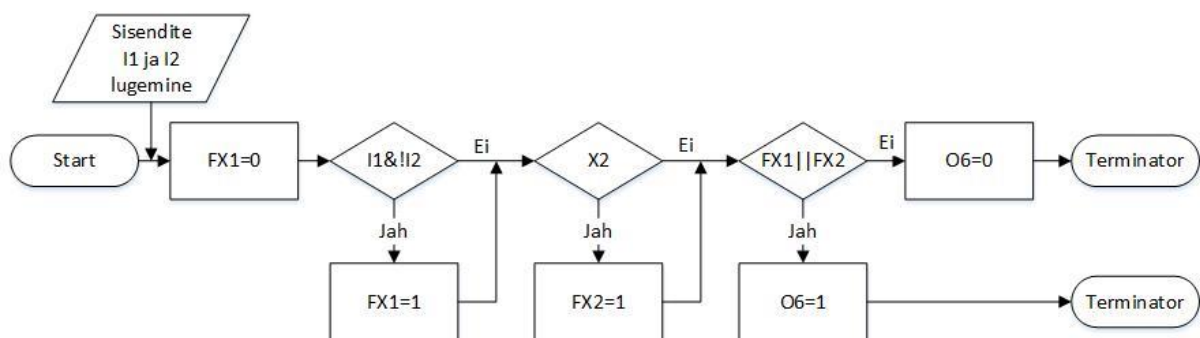
4.4 Käivitustsükli juhtimise plokk skeem ja tõrgete kuvamine

Vastavalt mootorikontrolleri tõrgete tõeväärtustabelile tuleb kuvada kasutajale tõrgete esinemist ning võimalda ka tõrkesignaali eemaldamist. Mootorite käivitustsükkel peab

piirama käivitusvõimalusi, et ei tekiks olukorda, kus kasutajal oleks keelatud seadme operatsiooni käivitamine või kus kasutaja on teadlik käivitamisega kaasnevatest riskidest.

Mootori toide on juba mootori kontrollis keelatud kui tekib alapinge või lühisvool. Seega peab kontrolleri abil kasutajat teavitama võimaliku ülekuumenemise ohu kohta. Lisaks peab vea indikaatorlamp teavitama kasutajat liikumisoperatsiooni suuna muutusest. Selline olukord võib tekkida kui kasutaja on teadlikult keelanud liikumise lõpetamise või liikumine on lõpetatud füüsilise takistuse tõttu. Juhul kui tekib olukord, kus kasutaja ei luba lauaplaadi liigutamisoperatsiooni lõpetada korduvalt, muutub juhtkontrolleri hinnatav lauaplaadi asukoht järjest ebatäpsemaks ning suureneb riski nii seadmele kui ka kasutajale.

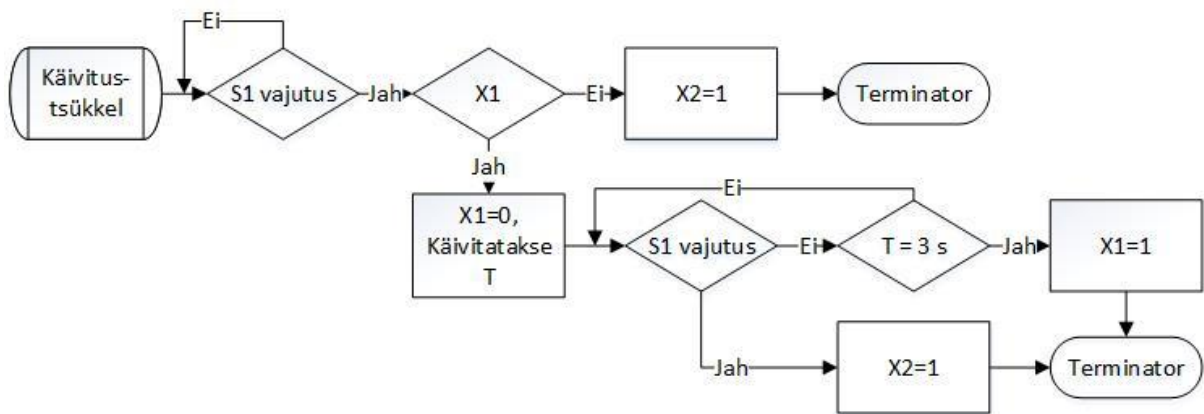
Vea teavitus ülekuumenemise kohta lõpetatakse kui kontroller lõpetab vastava signaali andmise juhtkontrollerile. Liikumisoperatsiooni muutusega seotud ohu kohta lõpetatakse indikeerimine kui seade on lõpetanud oma liikumise piirasendis.



Sele 4.4 Tõrgete kontroll ja kuvamine

Loetavad sisendid on mootori kontrolleri väljundid FF1 ja FF2, mille väärtuseid kirjeldab Tabel 4.2. Juhul kui FF1 ja FF2 väärtused kajastavad ülekuumenemist, antakse ülekuumenemist kajastavale olekumuutujale FX1 tõene väärtus. Olekumuutuja X2 teavitab liikumise katkestuse kohta. Juhul kui liikumine on katkestatud, antakse vastavat ohtu kajastavale olekumuutujale FX2 tõene väärtus. Kui kumbki olekumuutujatest FX1 või FX2 omab tõest väärtust süttib indikaatorlamp L2 ehk antakse juhtkontrolleris väljundile O6 tõene väärtus. Olekumuutuja FX2 väärtuse nullimine toimub väljaspool kontrolltsükli. FX2 väärtus nullitakse kui liikumisoperatsioon lõpetatakse ning üks lõpulülititest P1 või P2 annab signaali.

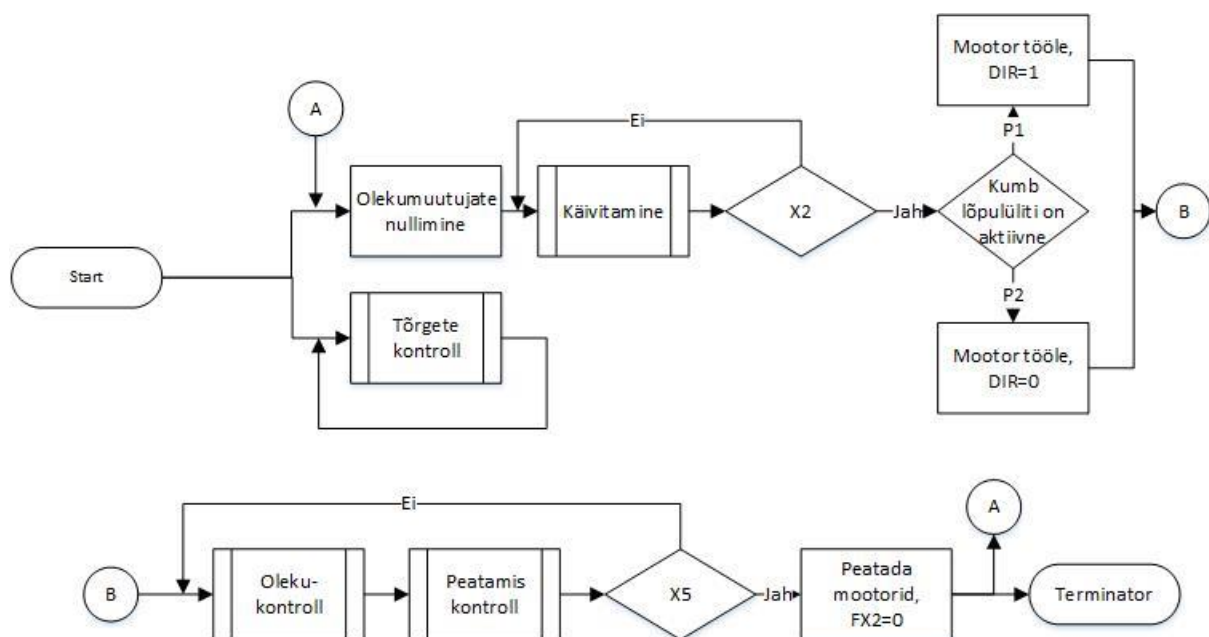
Seadme käivitustsükkel koostatakse vastavalt peatükis 4.1 toodud operatsiooni kirjeldusele.



Sele 4.5 Seadme käivitamine

Seadme käivitamine algab surunupu S1 esmakordse vajutamisega. Olekumuutuja X1 abil rakendatakse kasutuslukku. X1 tõese väärtuse puhul on kasutuslukk aktiivne. Aktiivse kasutusluku puhul toimub kasutusluku eemaldamine pärast surunupu S1 vajutamist. Seejärel oodatakse uut surunupu S1 vajutust, et lubada käivitamist. Uus S1 vajutus peab toimuma 3 sekundi jooksul, vastasel juhul rakendatakse uuesti kasutuslukk ning käivitusprotsess loetakse ebaõnnestunuks. Perioodi, mille jooksul peab toimuma surunupu S1 teisekordne vajutus loetakse taimerit T abil. Olekumuutuja X2 kajastab käivituse õnnestumist, kui omab tõest väärtust. Kui käivitusprotsessist väljutakse X2 väärade väärtusega, ei toimu peatsüklis mootorite käivitamist või lauaplaadi liikumissuuna muutust ning pöörduakse tagasi.

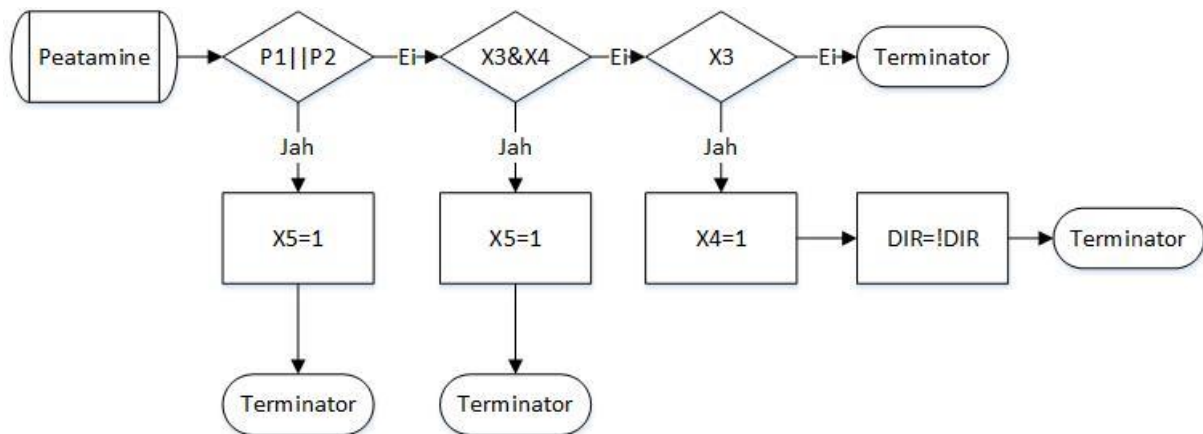
4.5 Seadme juhtimise peatsükkel



Sele 4.6 Juhtkontrolleri peatsükkli plokskeem

Peatsükkel koosneb kahest osast. Esimene osa on seadme tõrgete kontroll, mis toimub läbi kogu peatsükli ulatuse. Tõrgete kontrollist väljutakse katkestusega, et täita peatsükli teist osa - töötükli. Peatsükkel algab olekumuutujate algväärtustamisega. Algväärtustamisele kuuluvad kõik olekumuutujad, välja arvatud tõrke tsükli kasutatavad olekumuutujad FX1 ja FX2. Seejärel oodatakse mootori käivituse õnnestumist, mida kajastab olekumuutuja X2.

Õnnestunud käivituse korral valitakse mootori pöörlemissuunda määrava väljundi O2 väärtus ehk mootorikontrolleri sisendi DIR väärtus vastavalt aktiivsele lõpulülile P1 või P2. Protsess mootori töö tähendab juhtkontrolleri PWM signaalide väljundite sellist tööd, et tagatud oleks nõutud pöörlemissagedus täitursüsteemi vastavas positsioonis. Mootorite töö ajal viiakse läbi olekukontroll, mille abil toimub füüsiliste takistuste jälgimine ja kasutaja poolt antava liikumissuunda vahetava signaali andmine.



Sele 4.7 Mootorite peatamiskontroll

Peatamiskontroll on nii täitursüsteemi takerdumist jälgiv ja lõpulülite signaale jälgiv kontroll protsess. Juhul kui olekumuutuja X5 on tõene, on üks kirjeldatutest juhtunud ning mootor peatatakse. X4 on olekumuutuja, mille abil jälgitakse täitursüsteemi takerdumist. Juhul kui X3 on kahel lähedasel tsükliil olnud tõese väärtusega ehk on toimunud mootori pöörlemissuuna vahetus kaks korda enne täitursüsteemi ühte piirasendisse jõudmist, antakse olekumuutujale X4 tõene väärtus.

5 OHUTUSALASTE JA MAJANDUSALASTE ASPEKTIDE ÜLEVAADE

5.1 Kasutaja ohutuse tagamine

Seadme tahtmatu kasutamine on välditud käivitustsükli abil. Käivitustsükkel nõuab uue kasutaja poolse käsu andmiseks iga kord kinnitavat surunupu vajutust. Kuna kõik operatsioonideks antavad käsud teostatakse vaid ühe surunupu abil, pole võimalik olukord, kus kasutaja oleks andnud kogemata vale käsu seadmele. Seadme kasutaja on informeeritud seadmes tekkinud tõrkest indikaatorlambi abil. Seega pole kasutajal võimalik tahtmatult käivitada seadet olukorras, mis omab riski seadmele või seadme kasutajale.

Seadme liikuvad metallist osad on varjatud või paigutatud konstruktsiooni detailide sisse. Tänu sellele ei teki olukordi, kus kasutajal tekiks tahtmatult füüsiline kontakt liikuva detailiga. Lauaplaadi liikumine madratsikastile on võimalik sellel ajal kui kasutaja on voodis, kuid selle juhtumine tahtmatult on võimatu tänu kasutuslukkule. Isegi kui antud stsenaarium juhtub, pole lauaplaadi mass nii suur, et seda poleks võimalik kasutajal füüsiliselt takistada. Lisaks põhjustab lauaplaadi liikumise igasugune takistamine käesoleva liikumisoperatsiooni lõpetamise ning eelnevasse lauaplaadi piirasendisse viimist, mille tõttu pole võimalik kasutajat vigastada.

Seadmes, eriti elektrimootorites kasutatavad voolud on küllaltki suured ja seetõttu ka ohtlikud kasutajale. Et vältida juhtmete kahjustumist ja seeläbi kasutaja kokkupuudet elektrijuhtidega, on kõik juhtmed peidetud ja eraldatud kasutajast. Rakendades erinevate elektroonika komponentide korrektset maandamist ning arvestades, et multifunktsionaalse laua välised detailid on puust, pole võimalik, et toimuks maandus läbi kasutaja.

5.2 Seadme kahjustumise vältimine

Seadme kahjustumist välditakse kasutades mootorikontrolleris olevat voolu sensorit. Voolusensori abil tehakse kindlaks, kas lauaplaadi liikumine on sarnane eeldatava lauaplaadi liikumisega. Juhul kui peaks tekkima liikumise teostamisel piisavalt suur erinevus eeldatud voolutugevuse ja realselt mõõdetud voolutugevuse vahel, lõpetatakse liikumisoperatsioon. Seega proovitakse peatada seade enne kui seade kahjustub lõplikult. Seejärel sooritatakse tagasi liikumine eelnevasse piirasendisse, et kasutajal oleks võimalik eemaldada liikumist takistav objekt. Juhul kui tagasilikumine on samuti takistatud, eeldatakse juhtkontrolleris, et seadme

liikuvad osad on takerdunud ning ohutu liikumine pole võimalik ja elektrimootoritelt eemaldatakse toide.

Nii lühisvoolu tekkel kui seadme elektroonika ülekuumenemisel keelatakse mootorikontrolleri poolt liikumine. Sammuti tuvastab mootorikontroller tekkinud lühisvoolu, mille puhul ühendatakse mootori toide lahti. Antud meetmete tõttu on ebatõenäoline, et seadme elektroonika või mehaanika saaks kahjustada ulatuses, mis muudaks seadme töökõlbmatuks.

5.3 Projekteeritud seadme majanduslik hinnang

Tabelisse toodud hinnad esitatakse täisarvudena, kuna ühe täitursõlmega seadme valmistamiseks minevaid töökulusid on võimatu antud hetkel hinnata.

Tabel 5.1 Detailide ja materjalide nimekiri

Komponendi nimetus	Toote kogus (tk)	Hind kokku (€)	Viide
Hammaslatt	2	60	[11]
Hammasratas	2	15	[11]
Rihmaratas	2	12	[30]
Kiilrihm	1	2	[30]
Lauaplaat ja mootori kaitse plaat	1	15	[8]
Võll ($d = 8$ mm)	1	10	
Elektrimootor	1	48	[14]
Mootorikontroller	1	46	[21]
Nurkprofiil	2	8	
Juhtme lint	1	21	[27]
Seadme jala materjal (125/100/2500 puitmaterjal)	1	15	
Kinnitusdetailid (erinevad poldid)	~20	25	
Laagripukid ja laagrid	2	15	
Lülitid ja indikaatorlambid	8	42	[31]

Multifunktsionaalse lauaterviklikkuseks kasutatakse kahte seadet, mille hind kokku on ligikaudu 600 €. Arvestades sarnaste toodete uurimuses toodud konkureerivate toodete hindasid, on võimalik turul olla konkurentsivõimelised kui ülejäänud projekteeritava multifunktsionaalse laua hind koos töökuludega on alla 1300 €. Antud hinna sisse peab kindlasti mahtuma juhtkontrolleri hind ning erinevate kinnitusdetailide ja kasutatavate materjali hind, et valmistada madratsikast koos lauajalgadega.

Projekteeritavale tootele on võimalik paigutada lisa seadmeid ja funktsioone, kuna projekteeritud seade ei kasuta madratsikasti alust ega madratsikasti külgedel olevat ruumi. Lisa seadmetega, millest on toodud mõned näited sissejuhatuses, on võimalik tekitada eelis eelnevalt uuritud toodete ees. Selle tõttu suureneb projekteeritava multifunktsionaalse laua konkurentsivõime turul.

KOKKUVÕTE

Multifunktsionaalse mööbliese peamiseks eesmärgiks on elamispinda kokku hoida integreerides mitme mööbliese ülesanded ühte. Nii on võimalik kaudselt kokku hoida elamispinnaga seotud majanduslikelt kohustustelt. Antud töös projekteeriti multifunktsionaalsele mööbliesele, mis ühendas voodi ja laua funktsioonid, täitursõlm. Multifunktsionaalsele lauale projekteeritava täitursõlme abil teostatakse soovitud funktsiooni kasutamine. Meetod, kuidas toimub funktsioonide vahetus, oli varasemalt valitud. Valitud polnud aga projekteeritava täitursõlme paiknemine ja ülekande lahendusviis. Genereeritud lahendusvariantidest osutusid parimateks käigukruvidega ja hammaslattuülekannetega lahendusvariandid. Vastavalt staatilisele süsteemile leiti täitursõlmelt nõutavad jõud, mille abil toimub lauaplaadi liigutamine. Leitud jõudude järgi hinnati täitursüsteemi realiseeritavust, arutati ja valiti täitursüsteemi detailide dimensioonid ja leiti kummagi lahendusvariandi puhul nõutav ajami või ajamite võimsus.

Täitursõlm projekteeriti hammaslattidega lahendusvarianti kasutades. Vastavalt hammaslattidega staatilises süsteemis mõjuvatele jõududele ja nõutud lauaplaadi liigutamiskiirusele valiti elektriam. Täitursüsteem projekteeriti 3D CAD-tarkvaras Solidworks. Valitud elektriamit muutusid kogu projekteeritava seadme dimensioonid suuremaks. Tänu sellele suurenesid ka jõuõlgade väärtused, mis omakorda vähendasid täitursüsteemi detailidele ja konstruktsioonile mõjuvaid jõudusid ning elektriamilt nõutavaid pöörlemismomente.

Seadme operatsiooni vähese nõutava täpsuse tõttu otsustati kasutada seadme liikumisparameetrite juhtimiseks üksikuid positsiooni lüliteid. See tõttu eelistati mootorikontrolleri valikul pigem odavamaid, lihtsama ehitusega ja juhtimisega mootorikontrollereid. Valiti H-silda kasutatav mootorikontroller, millesse oli integreeritud voolutugevuse sensor. Voolutugevuse sensorit kasutatakse täitursüsteemi juhtimisel kasutaja ohutuse tagamiseks. Mootorikontrollerit juhtimiseks kasutati kahte PWM signaali, mis määravad mootori kiiruse. Puuduliku tagasiside tõttu tuleb täitursõlme liikumisparameetreid kaudselt hinnata. Hinnatavad parameetrid sõltuvad üksteisest ning on summeeruva veaga. Seetõttu kasutatakse positsioonilüliteid, et parandada vea hinnangud täitursõlme liikumistelje kriitilistes punktides.

Toote kasutusohutuse kui ka töökindluse tagamisel vaadeldi toote mehaanilist kui ka elektrilist ohutust. Mehaanilise ohutuse ja täitursüsteemi töökindluse tagamiseks kasutati nii mehaanilisi kui ka tarkvaralisi meetodeid. Täitursõlme detailid dimensioneeriti vastavalt tugevustingimustele ja liikuvad täitursõlme osad varjati, et mitte võimaldada kasutaja kokkupuudet liikuvate detailidega. Tarkvaralised meetodid, millega on tagatud mehaaniline ohutus, on: kasutusluku rakendamine ning elektrimootori mähiste voolutugevuse ja arvutatud voolutugevuse võrdlemine. Voolude võrdlemisega on võimalik tuvastada olukord, kus kasutaja või mõni objekt on jäänud seadme liikuva osa vahele või liikumisteele nii, et suureneb liigutatav mehaaniline koormus. Elektrilise ohutuse tagamiseks on täitursõlme elektroonika varustatud vajalike kaitselülititega, toitevoolu kaablid on valitud piisava ristlõike pindaladega ning kasutatav juhtmestik ja toitekaablid on peidetud projekteeritud seadme konstruktsiooni nii, et nendega tahtmatu kokkupuude on võimatu.

Seadme ehitamiseks koostati vajalike materjalide ja ostutoodete nimekiri. Nimekirja järgi leiti seadme ligikaudne hind. Projekteeritud seadme hinda arvestades, on multifunktsionaalse laua hind ligikaudu samas suurusjärgus kui mõne sarnase toote hind.

Kokkuvõtteks, võib lugeda täitursõlme projekteerimist õnnestunuks, kuna kasutatavad lahendused on realiseeritavad nii füüsiliselt kui majanduslikult. Töös tekkinud probleemid ja määramatused on peamiselt seotud ülejäänud multifunktsionaalse laua detailse lahenduse puudumisega. Seetõttu on plaanis jätkata antud multifunktsionaalse laua projekteerimist, et kunagi valmistada prototüüp ning võimalusel alustada tootmist.

SUMMARY

The main purpose of multifunctional furniture is to save living space by incorporating the different functions of various furniture pieces into a single piece of furniture. This way an indirect method of reducing financial obligations relating to the usage of living space is achieved. In the current work an actuator was designed for a multifunctional table that combines both table and bed functions. The actuator was used to apply the required function for usage. The method, how the functions are combined, was pre-selected. However, the positioning and the type of the actuator were not pre-selected. The best solutions for the actuator were either using spur racks or using ball screws. According to the static system of a solution, the forces that are required to move the table board were calculated. The various part dimensions and the required power of the electric motor were calculated according to these forces.

The actuator was designed using the spur rack solution. An electric motor was selected in accordance to the required forces and rotational speeds. The actuator was designed using the 3D Cad software Solidworks. Due to the dimensions of the selected electric motor, the overall dimensions of the multifunctional table increased. Thankfully, this also increased the lengths of force levers, which reduced the required power of the electric motor and the applied forces in the construction of the actuator system.

A limited number of position switches are used to control the actuator due to the low requirement of accuracy. This meant that in the selection of the motor controller, cheaper, less complex motor controllers were preferred. A motor controller that uses an H-bridge and has a built-in current sensing unit was selected. The current sensing unit is used to improve the safety of the user. Two PWM signals are used to control the electric motor velocity. Due to the limited feedback system, the movement parameter of the actuator system have to be approximated. The approximated parameters are in reliance with each other, which causes the error of the approximations to increase over the movement operation. In order to reduce the approximation error, position switches are used in the most critical points of the movement.

To fulfill the requirement of product safety and reliability, the mechanical and electrical safety properties were analyzed. Mechanical safety and reliability is achieved by using mechanical and programmable methods. The parts of the actuator system were dimensioned in accordance to the strength requirements. The moving parts of the system were positioned in the construction of the system so that the user cannot come into contact with them. The programmed methods

of achieving mechanical safety involved the usage of a user lock and the comparison of the electric motor currents to the calculated currents. By comparing the currents the situation, where the movement of the actuator system is hindered by an object, can be identified. Electrical safety is achieved by using circuit breakers, dimensioning the cables according to the applied current and positioning the cables so that the user cannot come into contact with them.

A list of the required materials and parts was created. Using this list, the approximate price of the actuator system was found. According to the price of the actuator device, the overall price of the multifunctional table is approximated to be in the same price range as a similar multifunctional furniture piece.

In conclusion, the engineering of the actuator can be evaluated as successful, because the solutions used are executable both mechanically and financially. The problems and unknowns relating to the work occur mainly due to the absence of accurate properties of other parts of the multifunctional table. The engineering of the whole multifunctional table is planned so that a prototype could be constructed and if possible manufactured.

6 Kasutatud kirjandus

- [1] „Resource furniture,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.resourcefurniture.com/space-savers>. [Kasutatud 06 mai 2014].
- [2] „Matrix Space Furniture CO. LTD,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.matrixsz.com/products_list/&pmcId=46.html. [Kasutatud 06 mai 2014].
- [3] „IPPINKA,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ippinka.com/blog/cabrio-in-desk-and-bed/>. [Kasutatud 07 mai 2014].
- [4] „Studybed,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.studybed.co.uk/>. [Kasutatud 05 mai 2014].
- [5] „HICONSUMPTION,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://hiconsumption.com/2013/12/the-workbed-desk/>. [Kasutatud 08 mai 2014].
- [6] „Jebiga,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.jebiga.com/work-desk-bed-studio-nl/>. [Kasutatud 08 mai 2014].
- [7] [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.activateddesigns.com/>. [Kasutatud 13 mai 2014].
- [8] „Sveza,“ Sveza, [Võrgumaterjal]. Available: http://www.sveza.com/products/product/fanera_fk. [Kasutatud 06 mai 2014].
- [9] P. Põdra, „Masinaelemendid loengumaterjal,“ 2011. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.mh.ttu.ee/priitp/Masinaelemendid/>. [Kasutatud 06 mai 2014].
- [10] P. Põdra, „Tugevusõpetuse loengumaterjalid,“ 2011. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.mh.ttu.ee/priitp/Tugevusopetus/>. [Kasutatud 07 mai 2014].
- [11] „Zapp Automation,“ Zapp Automation, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.zappautomation.co.uk/>. [Kasutatud 07 mai 2014].

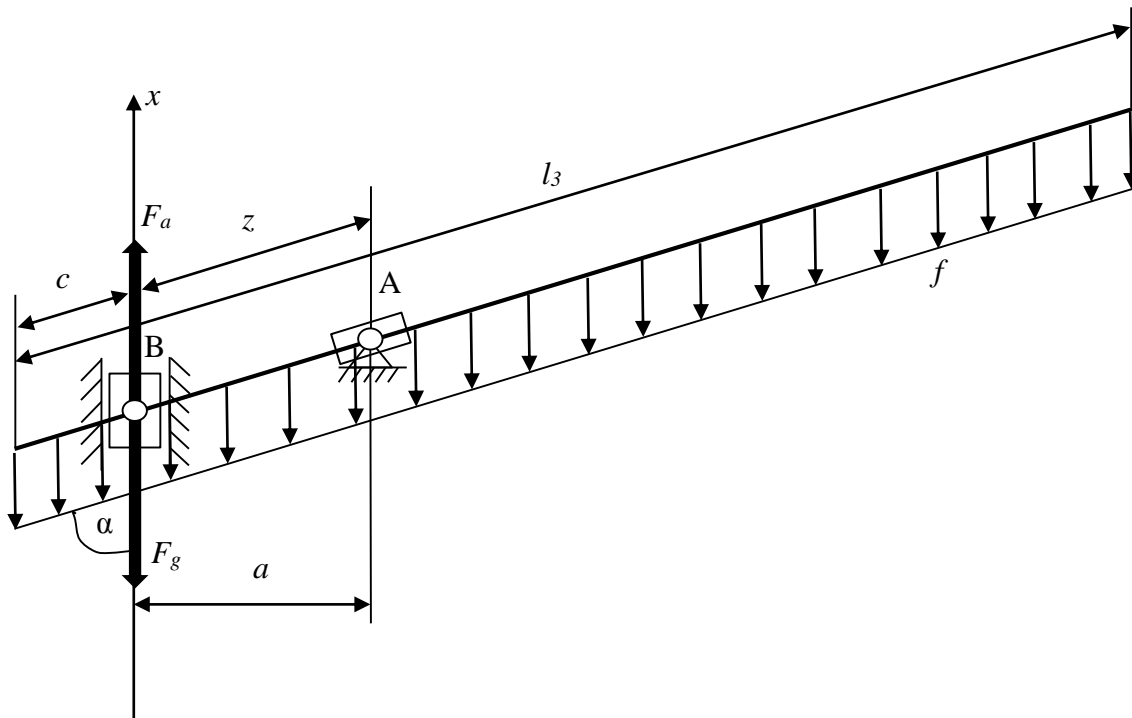
- [12] „factorymation,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.factorymation.com/Products/FM50_230V/. [Kasutatud 09 mai 2014].
- [13] V. Vodovozov, Electric Drive Systems and Operation, 2012.
- [14] „Phidgets DC Motor,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.phidgets.com/docs/DC_Motor_and_Controller_Primer. [Kasutatud 08 mai 2014].
- [15] „MotorTec,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.groschopp.com/category/products/category/products/gearmotors/?t=1166&id=6304>. [Kasutatud 09 mai 2014].
- [16] „Mootori parameetrid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.groschopp.com/data/Performance/64963.pdf>. [Kasutatud 14 mai 2014].
- [17] „Alalisvoolu mootori kiiruse kontroll,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.electrical4u.com/speed-control-of-dc-motor/>. [Kasutatud mai 17 2014].
- [18] „Ohio Electric Motors,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ohioelectricmotors.com/a-guide-to-electric-drives-and-dc-motor-control-688>. [Kasutatud 14 mai 2014].
- [19] „ROHM,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.rohm.com/documents/11308/12928/100260.H-BRDG_WP_Jan09.pdf. [Kasutatud 14 mai 2014].
- [20] „Elektrimootori parameetrid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.groschopp.com/data/Performance/65054.pdf>. [Kasutatud 11 mai 2014].
- [21] „Pololu kontroll,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.pololu.com/product/1456>. [Kasutatud 14 mai 2014].
- [22] „Voolu sensor,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.pololu.com/file/0J196/ACS714-Datasheet.pdf>. [Kasutatud 14 mai 2014].

- [23] „H-silla MOSFET,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.pololu.com/file/0J387/IPD036N04L_rev1.0.pdf. [Kasutatud 14 mai 2014].
- [24] „proto-pic,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://proto-pic.co.uk/24v-20a-h-bridge-motor-drive/>. [Kasutatud 18 mai 2014].
- [25] „H-sillaga kontrollid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.pololu.com/product/757>. [Kasutatud 18 mai 2014].
- [26] „Toitekaabli dimensioneerimistarkvara,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.solar-wind.co.uk/cable-sizing-DC-cables.html>. [Kasutatud 14 mai 2014].
- [27] „Kaabli lint,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.igus.com/iPro/iPro_01_0002_0007_USen.htm?c=US&l=en. [Kasutatud 14 mai 2014].
- [28] „Surunupu S1 valik,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.gepowercontrols.com/eu/resources/literature_library/product_brochures/downloads/d_leaflet_p9_overview_english_07.pdf. [Kasutatud 13 mai 2014].
- [29] „Lõpulülite kataloog,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.mouser.com/ds/2/187/honeywell-sensing-914CE-series-product-sheet-00238-253267.pdf>. [Kasutatud 13 mai 2014].
- [30] „Youngsindustrial,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.youngsindustrial.com/>. [Kasutatud 16 mai 2014].
- [31] „Virus Elekter,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ve.ee/est/tooted/uuedtooted>. [Kasutatud 16 mai 2014].
- [32] I. Penkov, MHE0061 Masinatehnika loengumaterjal, Tallinn, 2007.
- [33] „Lewis'e tegur,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.engineersedge.com/gears/lewis-factor.htm>. [Kasutatud 07 mai 2014].
- [34] V. Vodovozov, Electric Drive Dimensioning and Tuning, 2012.

- [35] „Keermesülekanne arvutused,“ [Võrgumaterjal]. Available:
http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/class_projects/backstop/controller/Topic4-BallscrewCalculations.pdf. [Kasutatud 02.06.2014].
- [36] „Mekanex tootekataloog,“ [Võrgumaterjal]. Available:
http://www.mekanex.se/pdf/pdfkat/160_161.pdf. [Kasutatud 06. mai 2014].
- [37] „Mootori parameetrite hindamine,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.hindawi.com/journals/mse/2012/189757/>. [Kasutatud 15. mai 2014].
- [38] „Zapp Automation hammaslatt,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.zappautomation.co.uk/et/mod-15-en8-commercial-rack/402-15-mod-17mmx17mm-metric-rakit.html>. [Kasutatud 18. mai 2014].

7 LISAD

LISA 1 Käigukruvi koormusarvutuste ja ajami pöördemomendi arvutused



Sele 7.1 Staatile süsteem

Täitursüsteemile mõjuva lineaarse staatilise koormuse (F_a) arvutamisel on valitud lauaplaadi materjaliks kasepuust mööblivineeri (tihedusega $\rho=700 \text{ kg/m}^3$). Käigukruvi asub lauajalgadest $a=50 \text{ mm}$ kaugusel nii, et lauaplaadi serv on punktist B, kus kinnitub täitursüsteem lauaplaadiga, $c=50 \text{ mm}$ kaugusel. Pikkused a ja c on valitud hinnanguliselt ning võivad muutuda sõltuvalt elektrimootorite, käigukruvide ja mutrite valikust ning paigalduspositsioonist.

Täitursüsteem liigutab punkti B mööda x -telge. Punkt B asukohast sõltub nii nurk α , kui ka pikkus z ja seega ka lineaarne koormus F_a .

Kasutatava materjali paksuseks valitakse tootja poolt pakutav standart mõõt $l_1=10 \text{ mm}$, et materjali oleks võimalik kinnitada konstruktsioon, mis seob lauaplaadi täitursüsteemiga [8]. Vastavalt lauaplaadi dimensioonidele leitakse (Sele 7.1) kujutatud joonkoormus $f=63,80 \text{ N/m}$. Staatilise süsteemi puhul on moment ümber punkti A võrdne nulliga ($M_A = 0$). Kirjutades välja

M_A kui mõjuvate jõudude aritmeetilise summana, on võimalik sealt avaldada täitursüsteemilt nõutav väljundjõud.

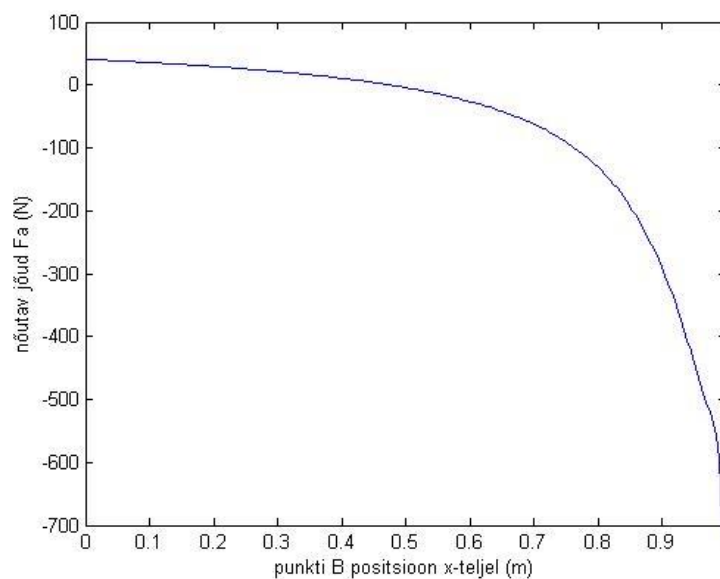
$$F_a = \frac{\left(m_t \cdot g \cdot a + \frac{(l_3 - c - z)^2}{2} \cdot f \cdot \sin(\alpha) - \frac{(c + z)^2}{2} \cdot f \cdot \sin(\alpha)\right)}{a} \quad (7.1)$$

m_t – täitursüsteemi mass,

l_3 – lauaplaadipikkus ($l_3 = 1100$ mm),

g – gravitatsiooni kiirendus.

Keermelatle on ühe täitursüsteemi kohta kaks tükki, seega koormus, mis mõjub ühele keermelatile on võrdne $Q = \frac{F_a}{2}$. Täitursüsteemi mass m_t keermelatiga süsteemi puhul on võrdne keermekruvi ja keermekruvi ja lauaplaati ühendava konstruktsiooni masside summaga, hinnanguliselt $m_t = 0,5$ kg. Selleks koostan MATLAB'i tarkavaras programmi, et leida F_a sõltuvuse punkti B positsioonist x -teljel graafik ja F_a suurimad väärtused.



Sele 7.2 Käigukruvidega täitursüsteemilt nõutava jõu sõltuvus punkti B positsioonist x -teljel

Suurim täitursüsteemilt nõutav väljundjõud on kohas $x=1$ ehk positsioonis, kus lauaplaat asub madratsikastile lõpmata lähedal ($F_a=696$ N). Seega on ühele keermelatile mõjuv telgjõud $Q=348$ N.

Keermelattide läbimõõdu dimensioneerimisel lähtun stabiilsuskontrollist, kuna keermelattidele mõjuvad maksimaalsed telgjõud pole kuigi suured ning keermelati pikkus ületab keermelati

tõenäolist läbimõõtu mitmekümne kordselt. Valem (7.2) on Euleri valem, millest on avaldatud keermelati siseläbimõõt. [32].

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{64(\mu \cdot l_k)^2 \cdot [n] \cdot Q}{\pi^3 \cdot E}} = \sqrt[4]{\frac{64(1 \cdot 0,8)^2 \cdot 3 \cdot 348}{\pi^3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}} = 0,9 \cdot 10^2 \text{ m} = 9 \text{ mm} \quad (7.2)$$

μ - redutseerimistegur,

l_k - keermelati pikkus,

$[n]$ - lubatav püsivuse varutegur,

E - Elastsusmoodul.

Valitavaks käigukruviks on Tr10x3. Valem (7.3) abil leitakse käigukruvi tõusunurk ja valemi (7.4) abil leitakse hõõrdenurk [32].

$$\psi = \arctan\left(\frac{z \cdot S}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctan\left(\frac{1 \cdot 3}{\pi \cdot 8,5}\right) = 6,4^\circ \quad (7.3)$$

ψ - käigukruvi tõusunurk,

S - keeme sammu pikkus,

z - keermete arv käigukruvil

d_2 - käigukruvi keskläbimõõt.

$$\phi' = \arctan\left(\frac{f}{\cos\left(\frac{30^\circ}{2}\right)}\right) = \arctan\left(\frac{0,8}{\cos(15^\circ)}\right) = 39,6^\circ \quad (7.4)$$

f - hõõrdetegur,

ϕ' - käigukruvi hõõrdenurk.

Kuna käigukruvi hõõrdenurk on suurem kui käigukruvi tõusunurk, on käigukruvi isepidurduv. Käigukruvi liigutamiseks vajamineva pöördemomendi T leidmine sooritatakse valemi (7.5) abil [32].

$$T = \frac{Q \cdot d_2}{2} \cdot \tan(\psi + \phi') = \frac{348 \cdot 8,5 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \tan(6,4 + 39,6) = 1,04 \text{ Nm} \quad (7.5)$$

Mutri minimaalne liikumiskiirus käigukruvil on $v_k = 0,033$ m/s eeldades, et lauaplaat peab ühest piirasendist teise jõudma maksimaalselt 30 s ning suurim piirasendite vaheline pikkus käigukruvi teljel on 1 m. Vastavalt mutri liikumiskiirusele leitakse valemi (7.6) abil käigukruvi pöörlemisagedus [32].

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_k}{S \cdot z} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1}{3 \cdot 1 \cdot 30 \cdot 10^{-3}} = 70 \text{ rad/s} \approx 11,33 \text{ Hz} \quad (7.6)$$

Kuna elektrimootorilt nõutav pöörlemissagedus on küllaltki suur ning pöördemoment on küllaltki väike, võib paremaks lahendiks osutada keermelatt, mille keermete arv $z=2$. Sellisel juhul on valemi (7.3) järgi tõusunurk $\psi=12,7^\circ$. Uue tõusunurga järgi on vajamineva pöördemomendi väärtuseks $T=1,91 \text{ Nm}$ ja nõutavaks pöörlemissageduseks $\omega=5,67 \text{ Hz}$.

Esimeste arvutustulemuste järgi oli nõutav elektrimootorite võimsus 75W. Käigukruvi, millel on kaks keeret, on nõutav elektrimootori võimsus 67W. Kuna nõutavad võimsused on mõlema käigukruvi puhul suured, on kasutatavad elektrimootorid kallid. Selle tõttu võib hammaslattidega lahend olla majanduslikult otstarbekam, isegi et võib tekkida vajadus lisa reduktoritele.

LISA 2 Hammasratta dimensioneerimine

Liikumisteljel mõjuv jõud on võrdne hammasratta ja hammaslati ülekandes mõjuva tangentsiaal koormusega (F_t). Hammasrattas valitakse sellise läbimõõduga, et mootoritelt nõutav väljund pöördemoment oleks võimalikult väike $d = 40$ mm. Hammasratta mooduliks valitakse võrduma 4. Antud hammasratta valikul on nõutavaks väljundpöördemomendiks $M = F_t \cdot r = 330 \cdot 0,02 = 6,6$ Nm. Nõutav väljund pöörlemissagedus arvutub järgmiselt $\omega = \frac{v_k}{r} = \frac{1}{30 \cdot 0,02} = 1,66$ rad/s ≈ 16 rpm. Lewis'e tegur, mida kasutatakse hammasratta hamba tugevuse arvutamisel paindetugevusele, on valitud hammasratta jaoks $Y = 0,201$. Lewise võrrandist avaldub piisav hamba laius järgmiselt, et tagada hammasratta tugevus paindele. [9] [33]

$$b = \frac{F_t \cdot [S]}{\frac{\sigma_y}{3} \cdot m \cdot Y} = \frac{330 \cdot 2}{\frac{370}{3} \cdot 4 \cdot 0,201} = 6,67 \cdot 10^{-6} \text{m} \approx 0,007 \text{ mm} \quad (7.7)$$

b – hamba laius,

m – hammasratta moodul,

σ_y – kasutatava materjali (C45) tõmbetugevus.