



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MEHHATROONIKAINSTITUUT

Mehhanosüsteemide komponentide õppetool

MHE70LT

Vladimir Lyutkin

Aerosoolpudelite põhjade pakkimisliini arendus

Autor taotleb tehnikateaduse magistri akadeemilist kraadi

Tallinn 2015

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 Alina Sivitski juhendamisel

“15” mai 2015. a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....2015. a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....2015. a.

..... allkiri

Sisukord

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE.....	5
EESSÕNA.....	6
SISSEJUHATUS.....	7
PÕHIOSA.....	8
1. Olemasolevate aerosoolpudelite põhjade pakkimisliinide eeliste ja puuduste analüüs	8
2. Pakkimisliini arenduse kontseptuaalsed võimalikud lahendused	9
2.1. Esialgsed andmed projekteerimiseks	9
2.2. Leitud võimalikud lahendused	10
2.3. Automatiseeritud kaante pakkimisliin L 790 - L 790 Lid Unscrambling & Stacking System with Accumulation Table	10
2.4. Ümarate toodete pakkimisliin - Round shape products packaging machine	12
2.5. Küpsiste pakkimisliin - Packaging System for Biscuits	14
2.6. Pakkimisliini tehniliste parameetrite defineerimine	16
3. Konveieri mehaaniliste komponentide arvutused ja valik.....	16
3.1. Konveieri mootori valik	16
3.2. Veetava rulliku valik.....	17
3.3. Lindi valik	18
3.4. Konveieri konstruktsiooni valik	19
3.5. Konveieri põhiarvutused	19
3.6. Konveieri alusraam	23
3.7. Konveieri konstruktsioon.....	23
4. Kühvliga süsteemi komponentide arvutused ja valik	25
4.1. Pööratavate suunajate mootorite arvutus ja valik	28
4.2. Suunaja FEM (Finite Element Method) analüüs	30
4.3. Laagrite arvutus ja valik.....	32
4.4. Mootori arvutus ja valik kühvli pööramiseks.....	36

4.5.	Kühvli poltide arvutus.....	39
5.	Pneumo komponentide arvutused ja valik.....	41
5.1.	Pneumo silindri valik	42
5.2.	Pneumo-juhtimisskeem.....	42
5.3.	Pneumo klappi valik	43
6.	Kandev konstruktsioon.....	44
7.	Süsteemi töö kirjeldus	46
7.1.	Konveieri mootori juhtimine	46
7.2.	Kühvli mootorite juhtimine	47
7.3.	Pneumo-süsteemi juhtimine	48
7.4.	Komponenti loendur	49
7.5.	Süsteemi töö algoritm	50
8.	Ohutus	55
9.	Majanduslik analüüs.....	56
	KOKKUVÕTE	57
	SUMMARY	59
	KIRJANDUSE LOETELU	61
	LISAD	64

TTÜ mehhatroonikainstituut
Mehhanosüsteemide komponentide õppetool

Magistritöö ülesanne

2015 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Vladimir Lyutkin 122282MAHMM

Õppekava: MAHM 02/09-Mehhatroonika

Spetsialiseerumine: Mehhatroonika

Juhendaja: Assistent PhD Alina Sivitski

Konsultandid:

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) **Aerosoolpudelite põhjade pakkimisliini arendus**

(inglise keeles) **Aerosol Tube Bottom Packing Line Development**

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Ülesande püstitus. Turu analüüs, patendiuuring - olemasolevate aerosoolpudelite põhjade pakkimisliinide eeliste ja puuduste analüüs. Pakkimisliini arenduse kontseptuaalsed võimalikud lahendused. Pakkimisliini tehniliste parameetrite defineerimine.	10.03.2015
2.	Mehaaniliste komponentide valik. Konveierpakkimisliini moderniseerimine, täiendamine.	15.03.2015
3.	Elektroonikakomponentide (andurite) valik ja seadme juhtimine. Ohutusaspektide käsitlemine ja majanduslik analüüs.	15.04.2015
4.	Tehniliste kooste- ja detaili jooniste koostamine.	30.04.2015
5.	Töö lõppvormistus, trükkimine ja köitmine.	10.05.2015

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Töö eesmärgiks on aerosoolpudelite põhjade tootmisprotsessi parendamine läbi tootmisliini pakkimisprotsessi osalise automatiseerimise ja anduri/loenduri rakendamise. Töös käsitletakse ka ohutuse aspekte ja esitatakse lahenduse majanduslik analüüs.

Töö keel: eesti

Kaitsmisavaldus esitada ÕIS-s hiljemalt 12.05.2015 **Töö esitamise tähtaeg** 15.05.2015

Üliõpilane Vladimir Lyutkin /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Alina Sivitski /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel.

EESSÕNA

Magistri töö teema oli pakutud mulle firma "AS Metaprint" peainsener Marko Aja poolt. Mul oli pakutud projekteerida liin, mille abil saaks realiseerida valmis aerosool pudeli põhja komponentide täpne loendamine. Selle liini projekteerimise eesmärgiks on tagada, et operaator ja pakkija teavad täpselt valmis tehtud ja pakitud komponentide arvu. Kuna selliste pakkimisliinide analooge pole turul saadaval, tuli seetõttu liin iseseisvalt projekteerida.

Mehhanosüsteemide komponentide õppetooli doktor Alina Sivitski oli minu juhendaja Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonikainstituudi poolt, tema käest sain kasulikke soovitusi lõputöö mehaanilise ning arvutuse osa suhtes.

Firma "AS Metaprint" poolt minu juhendajaks oli Marko Aja.

SISSEJUHATUS

Selle magistri töö eesmärgiks oli aerosoolpudeli põhja komponentide automatiseeritud loendamise ja eraldamise liini projekteerimine. Põhja komponent kujutab endast plekkist kumera metalli ümmargust komponenti. Antud hetkel komponentide loendamine on ebaühtlane. Praegusel hetkel ühes pudeli põhjade virnas olevate põhjade arvu loendamine on ebatäpne, kuna põhjade arvu ühes virnas teatakse ligikaudselt. Sellel juhul mõnikord ebatäpsus oli päris suur. Projekteeritava liini abil saaks loendada ja eraldada komponente tagades pakkijale pakkimismugavuse. Kast kuhu pudelite põhjad pakitakse koosneb europalleti alusest ja neljast puust raamidest mis seisavad teine teise peale. Kui kast saab täis, siis operaator loendab komponentide arvu, paneb puust katet nelja raami peale ja paneb kasti kinni. Oluliseks teguriks on fakt, et puust kasti raamid võivad olla erineva kõrgusega, see mõjub kühvli suurusele, mille abil pakkijad võtavad komponente, ja kui kühvel on teise suurusega tähendab, et komponentide arv on juba ka teine. Kühvli tuleb vahetada selleks, et komponendi virn ei ületaks raami kõrgust, et pakimise ja transporteerimise ajal vältida komponentide deformeerumist. Kõik arvutused ja komponentide valik on esitatud põhiosas.

Esiolgu arvutatakse konveieri osad:

- mootor
- veetav rullik
- lint
- lindi pingutus mehhanism
- konveieri konstruktsioon

Edaspidi arvutatakse automaatse kühvli osad:

- mootorid
- laagrid
- kühvli konstruktsioon

Pneumaatika osa:

- pneumo silindrid
- pneumaatikaskeem

Töös kirjeldatakse liini töö-põhimõtet, ohutuse vahendeid ja tehakse majanduslik analüüs. 3D mudeli koostamisel oli kasutatud projekteerimisprogramm SolidWorks [24].

PÕHIOSA

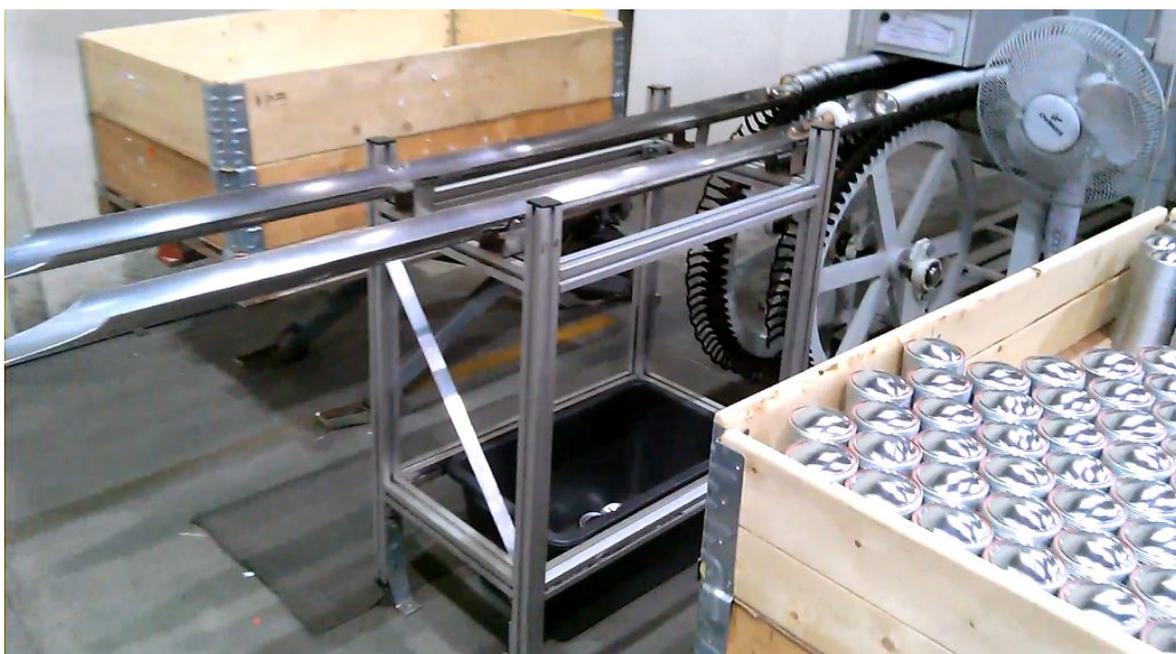
1. Olemasolevate aerosoolpudelite põhjade pakkimisliinide eeliste ja puuduste analüüs

Valmis komponendid pakitakse kastisse, mis koosneb europalleti puust alusest ja neljast puust raamidest, raamid pannakse teine teise peale, mille vahel pannakse pappist lehed. Nendele lehtedele pannakse komponentide virnad. Kui kast on lõpuni täis tähendab, et sellel said kõik neli raami komponentidega täidetud, siis operaator loendab komponentide arvu ja paneb kasti puust kattega kinni. Praegu komponendid loetakse käsitsi. Operaator võtab kolm virna komponente ja loendab eraldi igas virnas olevate komponentide arvu. Järgmise etapina arvutatakse aritmeetiline keskmine kõikides virnades olevate komponentide summast ja sisestatakse ühe virna ligikaudse komponentide arvu arvutisse. Selle meetodi kasutades on olemas mõned tegurid mis mõjuvad komponentide arvule. Esimene tegur on kasti raamide kõrgus. Kõrgus võib olla erinev alates 180 mm ja lõppedes 210 mm. Sõltuvalt raami kõrgusest valitakse asjakohane kühvel mille abil pakkija võtab komponendid liinilt. Kühvel on teine tegur. Kühvli suurus peab olema sarnane raami kõrgusega ja tohi olla sellest kõrgem. Juhul kui oli valitud vale kühvli suurus ja virna kõrgus ületab raami kõrgust, siis peale pakkimist transporteerimise ajal kasti sees olevad komponendid võivad deformeeruda, mis põhjustab praagi tekkimist ja vastavalt teeb tootmise näitajad madalamaks. Kolmas tegur on see, et kui palju iga pakkija paneb kühvlisse komponente. Igal pakkijal on oma jõud millega ta võtab komponendid liinilt, see tähendab et mõned panevad natuke rohkem komponente kuid mõned vähem, isegi juhul kui nad kasutavad sama kühvli. Selle meetodi kasutades on olemas plussid ja miinused. Eelistest saab märkida selle meetodi kiirust ja lihtsust, ei ole ühtegi mehhanismit, mis vajaks hooldust. Kõige suurem selle meetodi puudus on ebatäpsus, mis mõjub negatiivselt tootmise näitajatele.

2. Pakkimisliini arenduse kontseptuaalsed võimalikud lahendused

2.1. Esialgsed andmed projekteerimiseks

Konveieri lõpp kus seisab pakkija ja võtab komponendid liinilt, kujutab endast ette kaks paralleelset liini, mis tulevad ahjust, näidatud seel 2. Need liinid on poleeritud metallist, nad on pool-ümmarguse kujuga ja nende mööda liiguvad valmis-komponendid ehk aerosoolpudelite põhjad. Liinid töötavad üksteisest iseseisvalt. Kiirust millega komponendid liiguvad mööda liini saab seadistada sagedusmuunduri abil. Ahjust väljuvad komponendid on kuumad. Ahju töö-temperatuur on 80 kraadi. Kõrge komponentide temperatuuri tõttu pakkijad töötavad kinnastes. Sellel piirkonnal komponendid liiguvad olles vertikaalses asendis. Liikumise ajal komponendid on tihedas kontaktis teineteisega, neid saab käsitsi kohendada ja panna üksteisega kõrvuti moodustades virna.



Sele 2. Liin

Komponendid liiguvad kõrgusel $h = 96$ cm, metallist liini suunaja välisläbimõõd on $d = 8,7$ mm, metallist lehe paksus on $n = 1,5$ mm. Komponenti välisläbimõõd on $d_{\text{KOMP}} = 73,33$ mm ja selle kõrgus on $h_{\text{KOMP}} = 15,04$ mm.

2.2. Leitud võimalikud lahendused

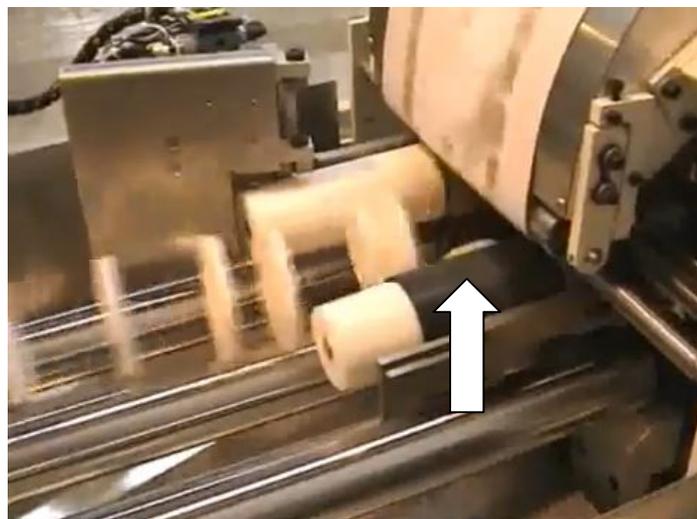
Kuna aerosool pudelite valmistamine on kitsa tootmisvaldkonnaga seotud, ei ole leidnud sobivat valmis-lahendust. Allpool on toodud mõned võtmesõnad, mida kasutati lahenduste leidmisel:

- konveier
- ümmargune vorm
- liikumine serval
- eraldamine
- loendamine
- pakkimine

Oli leitud kolm lahendust, mis sisaldavad need võtmesõnad erinevas astmes. Projekt oli koostatud tuginedes nendele kolmele lahendusele.

2.3. Automatiseeritud kaante pakkimisliin L 790 - L 790 Lid Unscrambling & Stacking System with Accumulation Table

See on valmis lahendus ümmarguse vormi katede eraldamiseks ja virnastamiseks. Automatiseeritud konveieri liin oli projekteeritud ameerika firma CBW Automation [1] poolt, mis asub Fort Collins, Colorado, Ameerika Ühend Riigid. Selle lahenduse eeliseks on komponentide eraldamine ja sorteerimine sõltuvalt nõutvast arvust. Esialgu komponendid keeratakse rulliku abil on näidatud seel 2.1 selleks et nad saaksid edasi liikuda mööda liini.



Sele 2.1. Komponentide keeramine rulliku abil [20]

Edasi juhtimisplaat reguleerib suunda kuhu liikuvad komponendid kas paremale või vasakule on näidatud seel 2.2.



Sele 2.2. Komponentide liikumine paremale ja vasakule [20]

Komponendid kogunevad konveieri lõpus nagu, on näidatud seel 2.3.



Sele 2.3. Komponentide kogunemine [20]

Komponendid sorteeritakse eraldaja abil vastavalt nõutud kogusel ja siis nihutatakse lauale kust operaator võtab neid, nagu on näidatud seel 2.4.



Sele 2.4. Komponentid sorteeritakse ja nihutatakse [20]

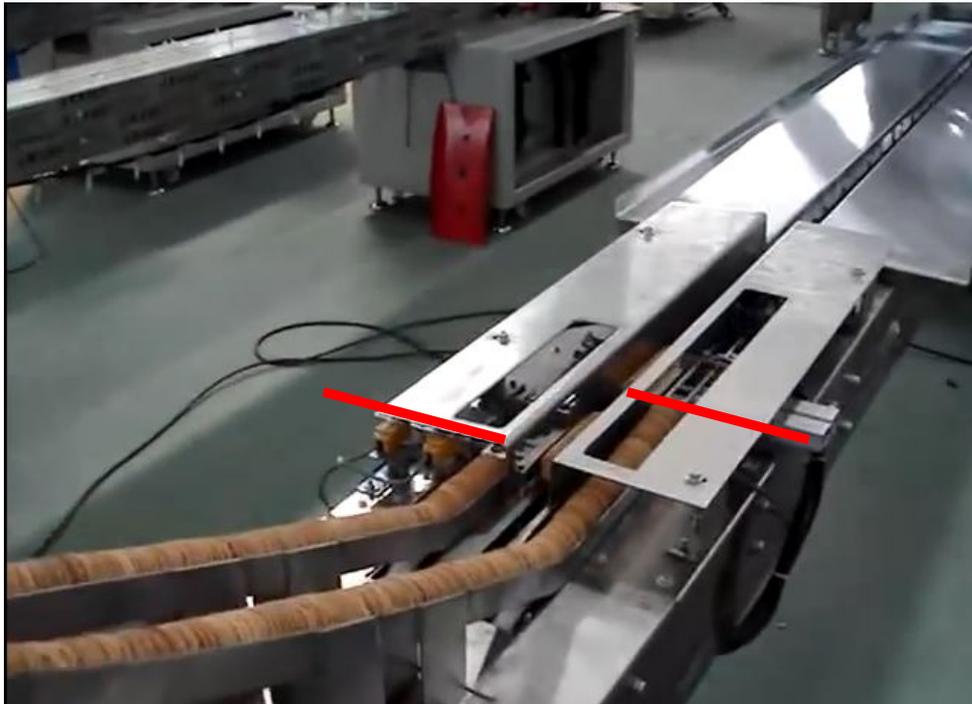
2.4. Ümarate toodete pakkimisliin - Round shape products packaging machine

See on valmis lahendus ümmarate toodete sorteerimiseks ja pakkimiseks. Seda lahendust valmistatakse Hiinas ja pakutakse firma ONEPACKING [2] poolt. Sellel lahendusel on Metaprinti konveieriga sarnaseid omaduseid. Need omadused on: 2 liini, mis saavad töötada iseseisvalt, on näidatud seel 2.5.



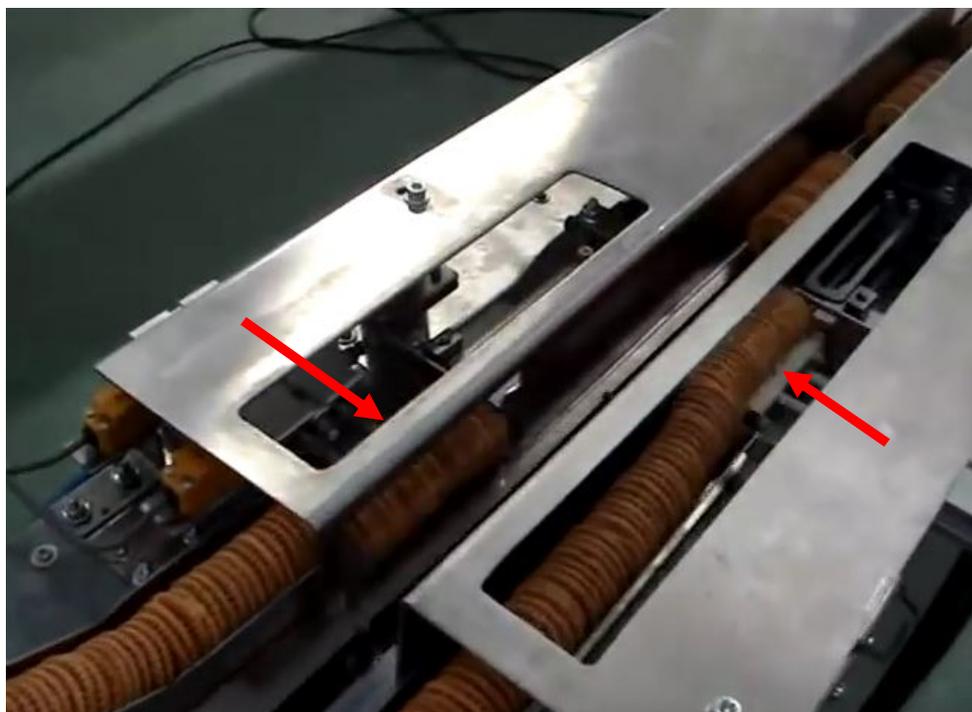
Sele 2.5. Kaks liini [21]

Esialgu toimub toode kogunemine kuni teatava arvuni, et konveier saaks õigesti töötada.



Sele 2.6. Toote kogunemine [21]

Edasi toimub toode nihutamine kesk konveierile spetsiaalse kühvli abil nagu on näidatud seel 2.7, see toimub samaaegselt mõlematel liinil aga erineval kaugusel.



Sele 2.7. Toote nihutamine [21]

Peale nihutamist toode liigub pakkimiseks kesk konveieri mööda, on näidatud seel 2.8.



Sele 2.8. Konveieri mööda liikumine [21]

2.5. Küpsiste pakkimisliin - Packaging System for Biscuits

See on valmis-lahendus ruudukujuliste küpsiste eraldamiseks ja pakkimiseks, mis liiguvad serval (vertikaalses asendis) mööda konveieriliini. See lahendus valmistatakse firm Record Packing Systems Ltd [3] poolt, mis asub Stretford, Manchester, Suurbritannia. Esialgu küpsised jaotakse ridadeks konveieri asuva suunajate abil, on näidatud seel 2.9.



Sele 2.9. Küpsiste eraldamine [22]

Edasi toimub küpsiste kogunemine ehk akumulatsioon, et garanteerida pideva koormust konveeril, et ta töötaks õigesti, on näidatud seel 2.10.



Sele 2.10. Küpsiste akumulatsioon [22]

Peale akumulatsiooni eriliste kühvlite abil toimub küpsiste kogunemine, on näidatud seel 2.11 ja teisele konveierile laadimine, on näidatud seel 2.12.



Sele 2.11. Küpsiste kogunemine kühvlidesse [22]



Sele 2.12. Küpsiste sorteerimine vastavalt arvu ja laadimine teisele konveierile [22]

Kogunemise ajal toimub veel sorteerimine küpsiste arvu järgi.

2.6. Pakkimisliini tehniliste parameetrite defineerimine

Peale projekti tööpõhimõttega kokkulangevate lahenduste uurimist ning analüüsi, oli otsustatud et projekt peab kindlasti sisaldama konveieriga osa, et valmis sorteeritud komponendid saaksid liikuda kuni pakkimise piirkonnani. Oli otsustatud et konveieri kiirus peab olema ligikaudselt 0,5 m/s. Samuti oli otsustatud kasutada kühvliga süsteemi, et sorteerida komponendid vastavalt ühes vrnas olevale komponentide arvule. Kühvliga süsteem oli valitud seetõttu, et põhi komponentide liikumisel mööda konveieri üksteise järel, ei saa neid kõrvale nihutada nende kumera vormi tõttu. Kui proovida seda teha, siis on võimalik luua konveieri avariilukorra. Liin peab asuma pakkimise tööks mugaval kõrgusel. Liin peab olema kompaktne, et mahtuda tsehhi ruumi. Liin peab olema turvaline töötajate jaoks. Liini operaatoril peab olema võimalus teostada vajalikud hooldus-tööd. Kuna magistritöö maht on piiratud, selles lõputöös on esitatud mitte kõik võimalikud arvutused vaid ainult nende piiratud osa, mõned osad on käsitletud lühidalt.

3. Konveieri mehaaniliste komponentide arvutused ja valik

Kuna konveieri valmis-lahendust pole leidnud, oli otsustatud teha kõik konveieri arvutused iseseisvalt. Allpool on konveieri osade nimekiri, mida tuleb valida ja arvutada:

- mootor
- vedav rullik
- veetav rullik
- konveieri lint
- konveieri üldised suurused

Esiialgu tuleb valida kõik konveieri osad, komponendid ja siis teostada nende kontrolltugevusearvutused. Põhjuseks on fakt, et paraku tihti pole võimalik leida täpselt sellist komponenti mida vaja on, ja tuleb hankida neid komponente, mis turul saadaval on.

3.1. Konveieri mootori valik

Esiialgu oli otsustatud kuidas saab realiseerida vedava rulliku ajamit. Tavaliselt kasutatakse sellist skeemi: eraldi paigaldatud mootor, reduktor, sidur või ketas/rihmülekanne mille abil

vedav rullik koos hõõrdveorattaga pannakse liikuma. Sellise mehhanismide arvutamine võtaks palju aega, seetõttu oli leitud muu variant. Ettevõtte Interroll [4] pakub päris laia valikut valmis lahendusi - trummel-mootoreid. Oli valitud elektriline asünkroon mootor minega DRUM MOTOR 80i, on näidatud seel 3.1.

Drum Motor 80i



Sele 3.1. Trummel mootor [4]

Sellel mootoril on järgmised omadused:

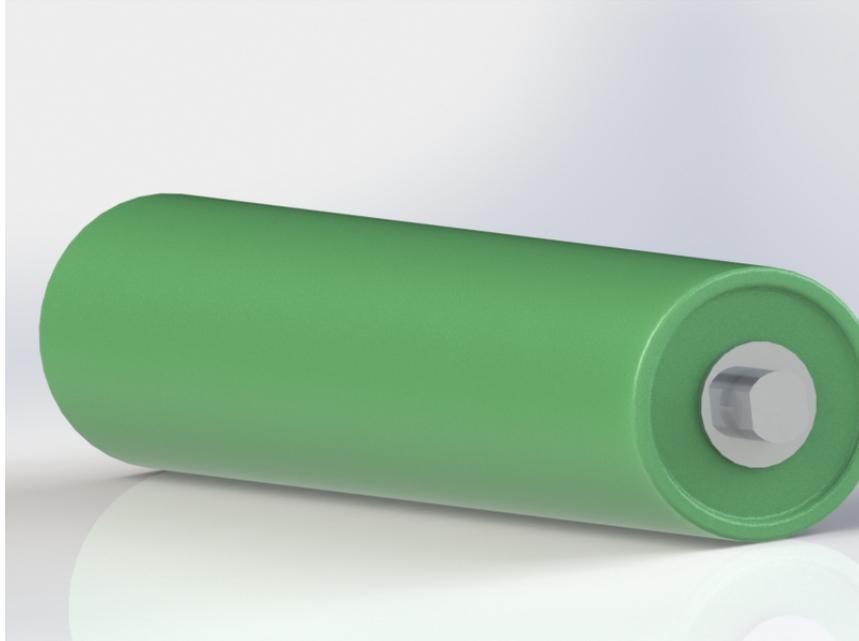
- soola-vee-kindel alumiiniumist laagrite korpused
- madal müratase
- vähene hoolduse-vajadus
- ei ole määrimise vajadust
- saab pöörelda mõlemates suunades

Oli valitud mootor koos korpuse pikkusega $L = 293$ mm, maksimaalse trumpli välisläbimõõduga $d_{\max} = 81,5$ mm, kaaluga $m_{\text{Mot}} = 4,5$ kg. Mootori nominaalne võimsus on $P_N = 0,07$ kW, mis saab töötada kiirusega $v = 0,46$ m/s . Mootori nominaalne pöördemoment on $M_A = 6$ Nm, nominaalne vöö tõmme on $F_N = 148$ N. Selline mootori tüüp oli projekteeritud väike aga pideva koormusega konveierite jaoks. Mootorite arvutused on esitatud peatükis 3.5 Konveieri põhiarvutused.

3.2. Veetava rulliku valik

Konveieri veetav rullik valitakse lähtudes konveieri töö iseloomust ja vedava rulliku suuruselt. Ettevõtte ALMVEL Engineering OÜ [5] pakub lintkonveieri laia rullikute valikut. Konveier töötab normaal-tingimustes ja väikese kiiruse juures. Veetava rulliku üldised mõõtmed ei pea olema palju suuremad vedava rulliku mõõtmetest. Rullikute

kataloogist oli valitud MPS seeria rullik, on näidatud seel 3.2, suurustega: rulliku maksimaalne välisläbimõõt $d_{max} = 76$ mm, korpuse pikkus $L = 300$ mm, rulliku kaal $m_{Rul} = 3$ kg. Rullik oli projekteeritud töötamiseks suurte ja keskmiste kiiruste juures, mis tähendab et ta omandab kõrge tugevusega.



Sele 3.2. Veetav rullik [5]

3.3. Lindi valik

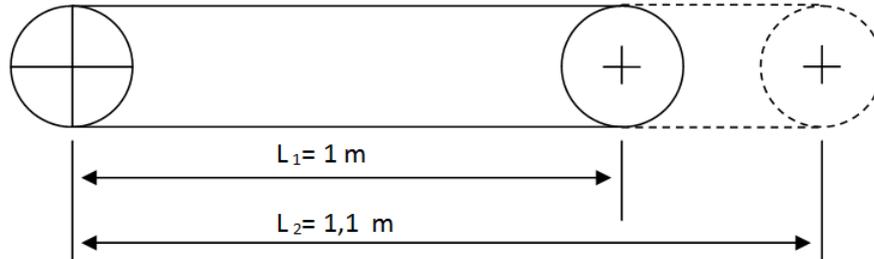
Lint oli valitud vastavalt konveieri töö iseloomule. Firma FORBO Movement Systems [6] pakub erinevaid sobivaid linte. Oli valitud lint nimega E 3/2 U0/U/C ROUGH blue, selle tehniliste andmed on näidatud seel 3.3.

Technical data	
Total thickness	2 ± 0.1 mm
Weight	1.7 kg/m ²
k1% value relaxed (Effective pull at 1% elongation), established in line with ISO 21181:2005	2.5 N/mm
Breaking force	95 N/mm
Elongation at break longitudinal	19 %
Friction coefficient of driving face against steel panel (according internal test standard)	0.2
Friction coefficient of top face against steel panel (according internal test standard)	0.23
Permissible operating temperature	-30/+100 C°, for a short time 120 C°
Electrostatic	antistatic: the electrical resistance of an internal fabric or intermediate layer is < 3x10 ⁸ ohms. Measurement according to ISO 21178.

Sele 3.3. Linti tehnilised andmed [6]

3.4. Konveieri konstruktsiooni valik

Konveier peab olema rangelt horisontaalses asendis, koos lindi pingutuse mehhanismiga. Konveieri pikkus peab olema alates $L_1 = 1$ m kuni $L_2 = 1,1$ m võttes arvesse linti pingutus mehhanismi, vaata seel 3.4.



Sele 3.4. Konveieri konstruktsioon

3.5. Konveieri põhiarvutused

Lähtudes nominaalse eeldatava koormuse väärtusest, teostatakse konveieri põhiarvutused, mille abil saab määrata valitud komponentide sobivust. Kasutatud firma FORBO Movement Systems [6] poolt pakutud konveieri arvutusmetoodika.

Konveieri algandmed:

Konveieri pikkus $L_{CON} = 1210$ mm

Geomeetriline linti pikkus $L_G = 2289$ mm

Lindi laius $b_0 = 290$ mm

Kogu koormus $m_1 = 4$ kg

Kaare kontakt $\beta = 180^\circ$

Konveieri kiirus $v = 0,5$ m/s

Linti mass $m_{lin} = 1,7$ kg/m²

Raskuskiirendus $g = 9.8$ m/s

Esiialgu arvutatakse efektiivne tõmme F_U [N]:

$$F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m_1 + m_B) \quad [3.1]$$

kus μ_T – põhjakaitse hõõrdetegur, võetakse andmelehel, $\mu_T = 0,33$

m_B – kogu lindi mass, $m_B = m_{lin} \cdot b_0 \cdot L_G$, $m_B = 1,7 \cdot 2289 \cdot 290 = 1,13$ kg

$$F_U = 0,33 \cdot 9,8 \cdot (4 + 1,13) = 16,6 \text{ N}$$

Edasi arvutatakse maksimaalne lindi tõmme F_1 [N]:

$$F_1 = F_U \cdot C_1 \quad [3.2]$$

kus C_1 – võetakse andmelehel [Lisa 2], $C_1 = 2,1$

$$F_1 = 16,6 \cdot 2,1 = 34,86 \text{ N}$$

Kontrollitakse valitud lindi sobivust C_2 [N/mm]:

$$C_2 = \frac{F_1}{b_0} \quad [3.3]$$

kus C_2 – katkemistugevus

b_0 – linti laius, $b_0 = 290 \text{ mm}$

F_1 võetakse 3.2 valemist

$$C_2 = \frac{34,86}{290} = 0,12 \text{ N/mm}$$

Tulemus näitab et tegelik lindi katkemistugevus on ainult 0,12 N/mm aga valitud linti katkemistugevus andmelehe järgi on 95 N/mm, valitud lint on täiesti sobiv.

Arvutatakse miniaamase vedava rulliku välisläbimõõt [cm]:

$$d_A = \frac{F_U \cdot C_3 \cdot 180}{b_0 \cdot \beta} \quad [3.4]$$

kus F_U võetakse 3.1 valemist

C_3 võetakse andmelehest [Lisa 3]

$\beta = 180^\circ$

$b_0 = 290 \text{ mm}$

$$d_A = \frac{16,6 \cdot 80 \cdot 180}{290 \cdot 180} = 4,58 \text{ cm}$$

Tähendab et süsteemi minimaalne vedava rulliku välisläbimõõt peab olema vähemalt $d = 4,58$ mm, valitud vedava rulliku välisläbimõõt on $d = 81,5$ mm, valitud vedav rullik täiesti sobiv.

Arvutatakse minimaalne vedava rullikute mootori võimsus [kW]:

$$P_A = \frac{F_U \cdot V}{1000} \quad [3.5]$$

kus F_U võetakse 3.1 valemist

$$V = 0,5 \text{ m/s}$$

$$P_A = \frac{16,6 \cdot 0,5}{1000} = 0,008 \text{ kW}$$

Arvutatakse nõutava võimsus [kW]:

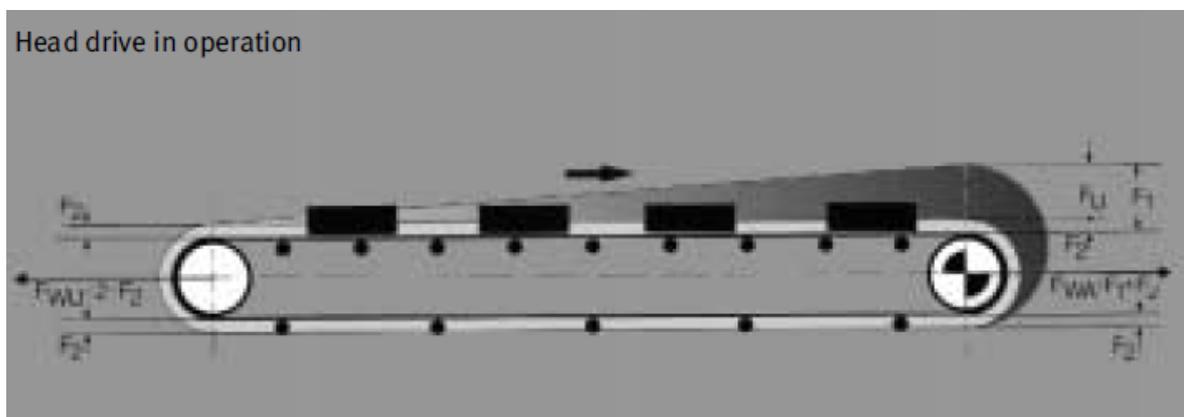
$$P_M = \frac{P_A}{\eta} \quad [3.6]$$

kus η – kasutegur, eeldatakse 0,8

$$P_M = \frac{0,0083}{0,8} = 0,010 \text{ kW}$$

Tähendab et minimaalne mootori võimsus peab olema vähemalt 0,010 kW, valitud mootori võimsus on 0,070 kW, valitud mootor on täiesti sobiv.

Arvutatakse lindi pikendus paigaldamisel ϵ [%] käigus:



Sele 3.5. Vedava rulliku koht [6]

Pikenduse arvutamisel on vaja arvestada see koht kus asub vedava rulliku mootor. Projekti mootor asub nii nagu näidatud seel 3.5.

$$\varepsilon = \frac{F_U/2 + 2 \cdot F_2}{2 \cdot SD \cdot b_0} \quad [3.7]$$

kus F_U võetakse valemist 3.1

$$F_2 = F_1 - F_U \quad [3.8]$$

F_1 võetakse valemist 3.2

SD – lindi efektiivne pinge 1 % pikendusel, võetakse andmelehelt [Lisa 1],

$$SD = 2,5 \text{ N/mm}$$

$$b_0 = 290 \text{ mm}$$

$$F_2 = 34,86 - 16,6 = 18,26 \text{ N}$$

$$\varepsilon = \frac{8,3 + 36,52}{2 \cdot 2,5 \cdot 290} = 0,031 \%$$

Arvutatakse koormus teise rulliku võllile:

$$F_{W2} = 2 \cdot F_1 \quad [3.9]$$

$$F_{W2} = 2 \cdot 34,62 = 69,72 \text{ N}$$

Tähendab et teise rulliku võllile mõjub koormus 69,72 N, valitud rullik saab töötada koormusega, mis on näidatud seel 3.6.

belt		roller										
width mm		dimensions mm			weight Kg		load capacity daN					
arrangements		B	C	A	rotating parts total		belt speed m/s					
							1	1.25	1.5	1.75	2	2.5
400		160	168	186	1.2	1.5	126	117	110	105	100	93
300	500	200	208	226	1.4	1.8	126	117	110	105	100	93
400	650	250	258	276	1.7	2.1	126	117	110	105	100	93
500	800	315	323	341	2.1	2.5	126	117	110	105	100	93
300	650 1000	380	388	406	2.4	3.0	126	117	110	105	100	93
800		465	473	491	2.9	3.6	113	113	110	105	100	93

Sele 3.6. Rulliku andmed [6]

Tähendab et valitud rullik täiesti sobib.

Arvutatakse pinge seadistamise tsoonis [mm]:

$$X = \frac{\frac{2 \cdot Tol \cdot L_g}{100} + \frac{\varepsilon \cdot L_g}{100}}{2} + z \quad [3.10]$$

kus Tol – piirväärtus, juhendi järgi võetakse $\pm 0,2\%$

$$L_g = 2289 \text{ mm}$$

ε võetakse valemist 3.7

z – on konveieri konstruktsiooni maksimaalne võimalik lindi pingutus kaugus

$$X = \frac{\frac{2 \cdot 0,2 \cdot 2289}{100} + \frac{0,031 \cdot 2289}{100}}{2} + 40 = 45 \text{ mm}$$

Tähendab, et valitud linti ei tohi rohkem kui 45 mm pingutus-mehhanismiga pingutada. Projekti pingutuse maksimaalne kaugus on 35 mm, tähendab, et valitud kaugus täiesti sobib.

3.6. Konveieri alusraam

Konveieri alusraam tehakse valamismeetodiga. Pakutakse alumiiniumi sulam valamiseks "AJI-27" või "GD-ALMg9" vastavalt "DIN 1725 T.2". Selle sulami voolapuspäir $R_{eH} = 349 \text{ MPa}$. Selle sulami omadused on järgmised:

- korrosioonikindel
- TIG keevitav

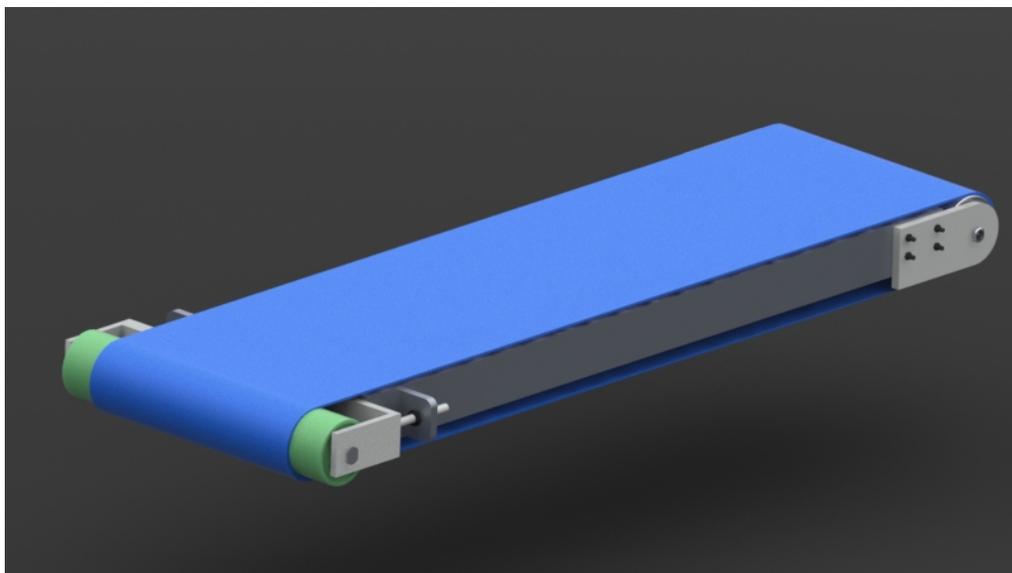
Alusraami joonis on Lisa osas "Lisa 6".

3.7. Konveieri konstruktsioon

Lõplik konveieri konstruktsioon koosneb:

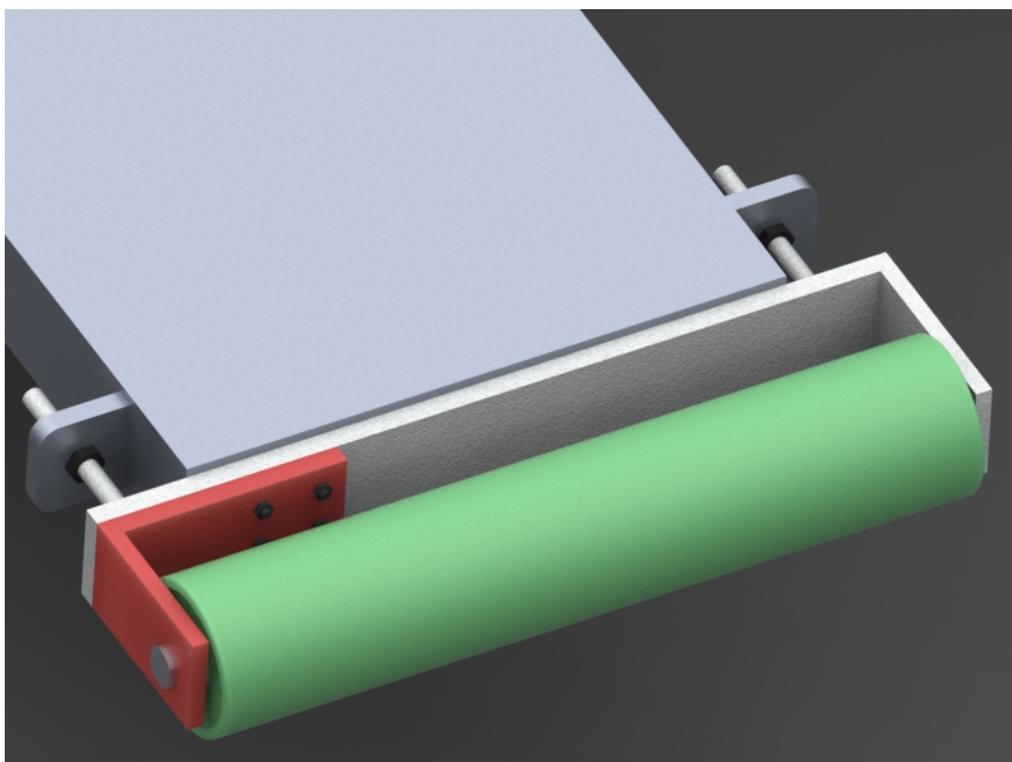
- konveieri alusraam
- mootori kinnitus
- mootor
- veetava rulliku kinnitus
- pingutus mehhanism
- lint

Detailide omavaheliseks kinnitamiseks on kasutatud polte M5 pikkusega 25 mm ja selle vastavad mutrid. Kuna konstruktsiooni poltliidetel ei mõju suuri koormusi oli otsustatud poltide arvutused välja jätta. Seel 3.7 on näidatud konveieri konstruktsioon.



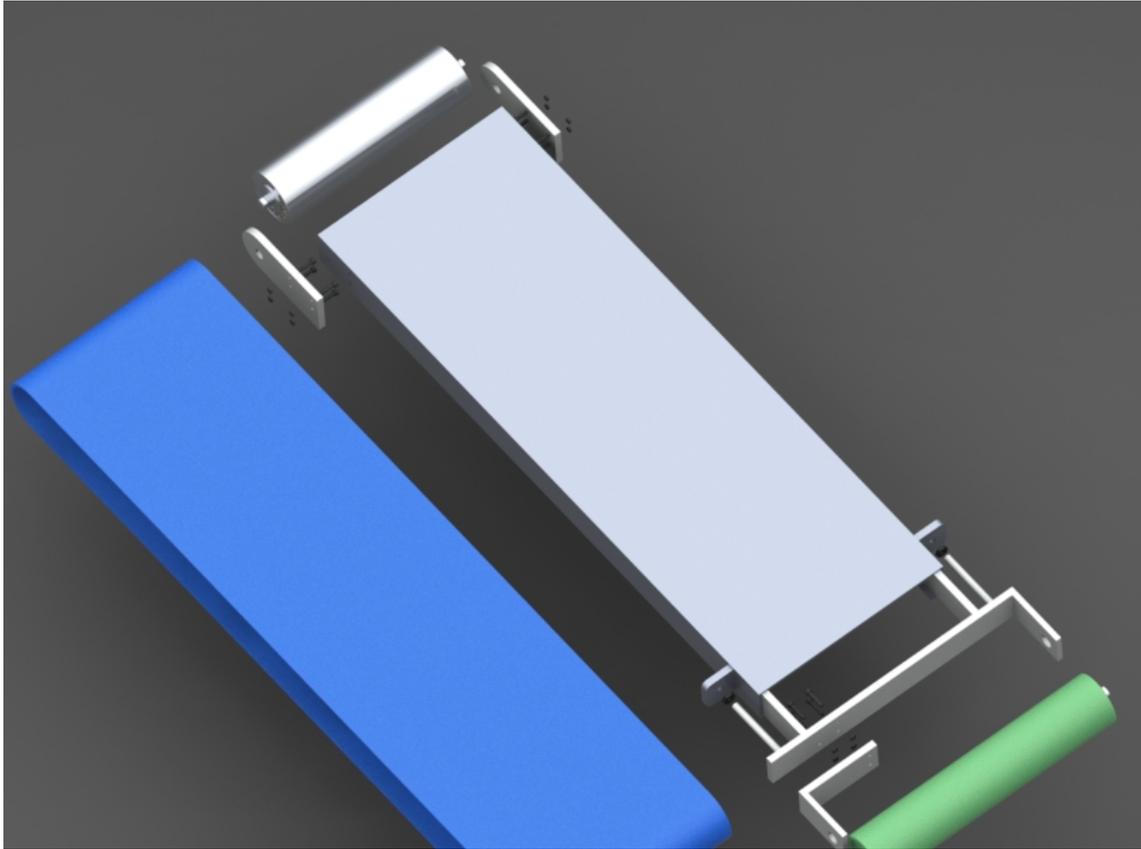
Sele 3.7. Konveier

Seel 3.8 näidatud konveieri lindi pingutus süsteem.



Sele 3.8. Konveieri pingutus süsteem

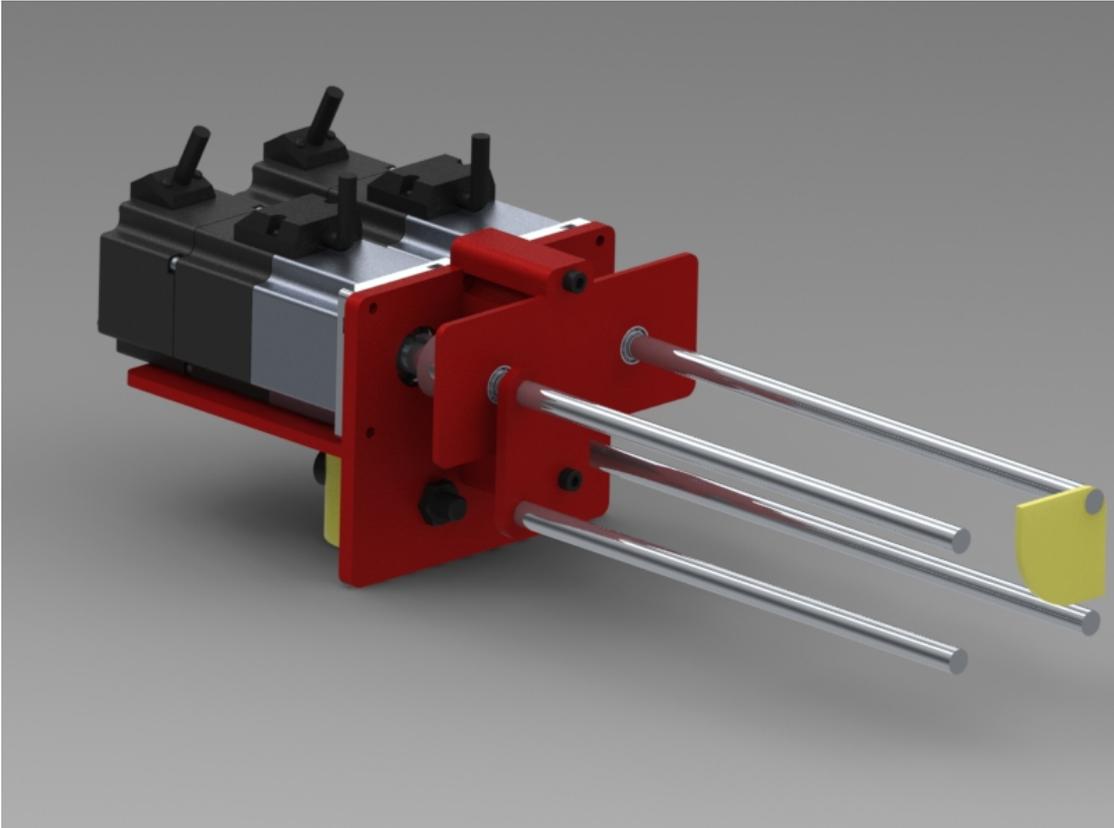
Kokku konveier koosneb 34 osast mis on näidatud seel 3.9.



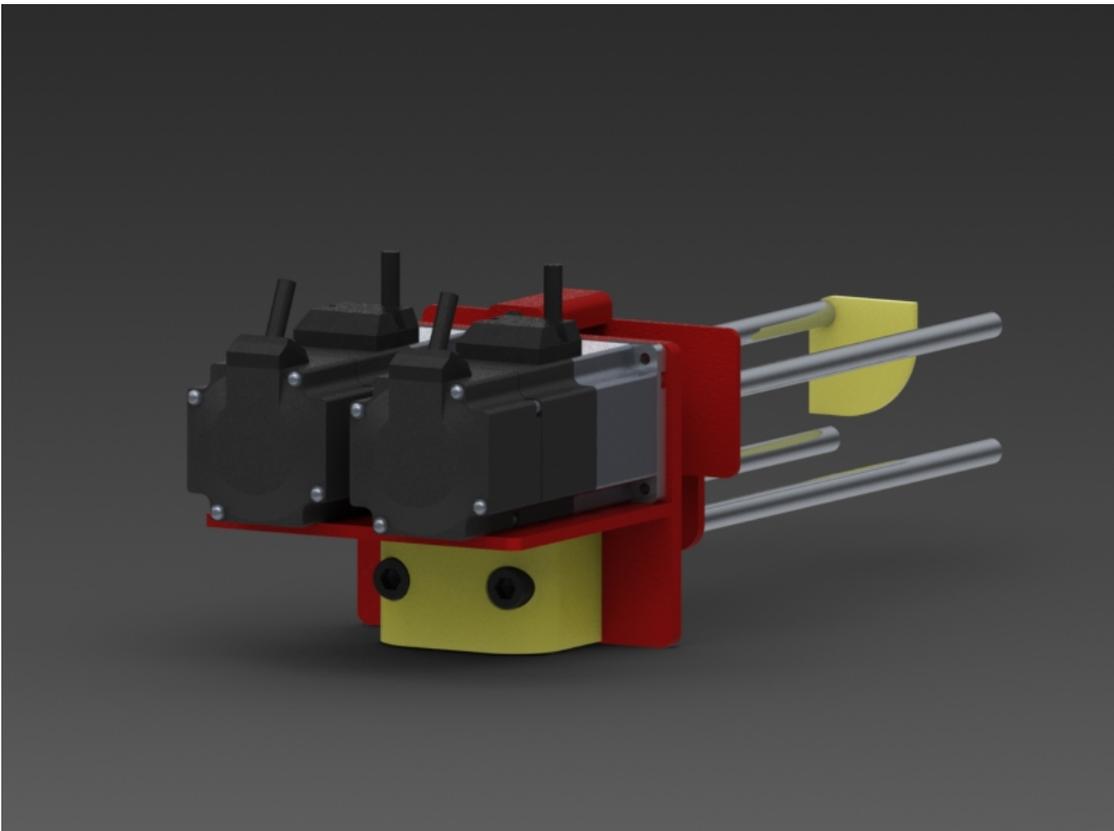
Sele 3.9. Kõik konveieri osad

4. Kùhvliga süsteemi komponentide arvutused ja valik

Kùhvliga süsteem see on nii nimetatud komponentide hoidja koos nelja suunajaga, mis on näidatud seel 4.1. Hoidja liigub horisontaalses tasapinnas. Hoidja liikumine toimub järgmiselt, peale komponentide ära võtmist ta keerab ennast 180 graadi võrra, paneb need komponentid teisele konveierile ja liigub tagasi, veel detailsemalt kirjeldatakse hoidja tööpõhimõtet järgmistes peatükkudes. Kùhvlis on kaks suunajat mis saavad pöörata, neil on omad elektrilised mootorid, mis on näidatud seel 4.2.



Sele 4.1. Kühvel



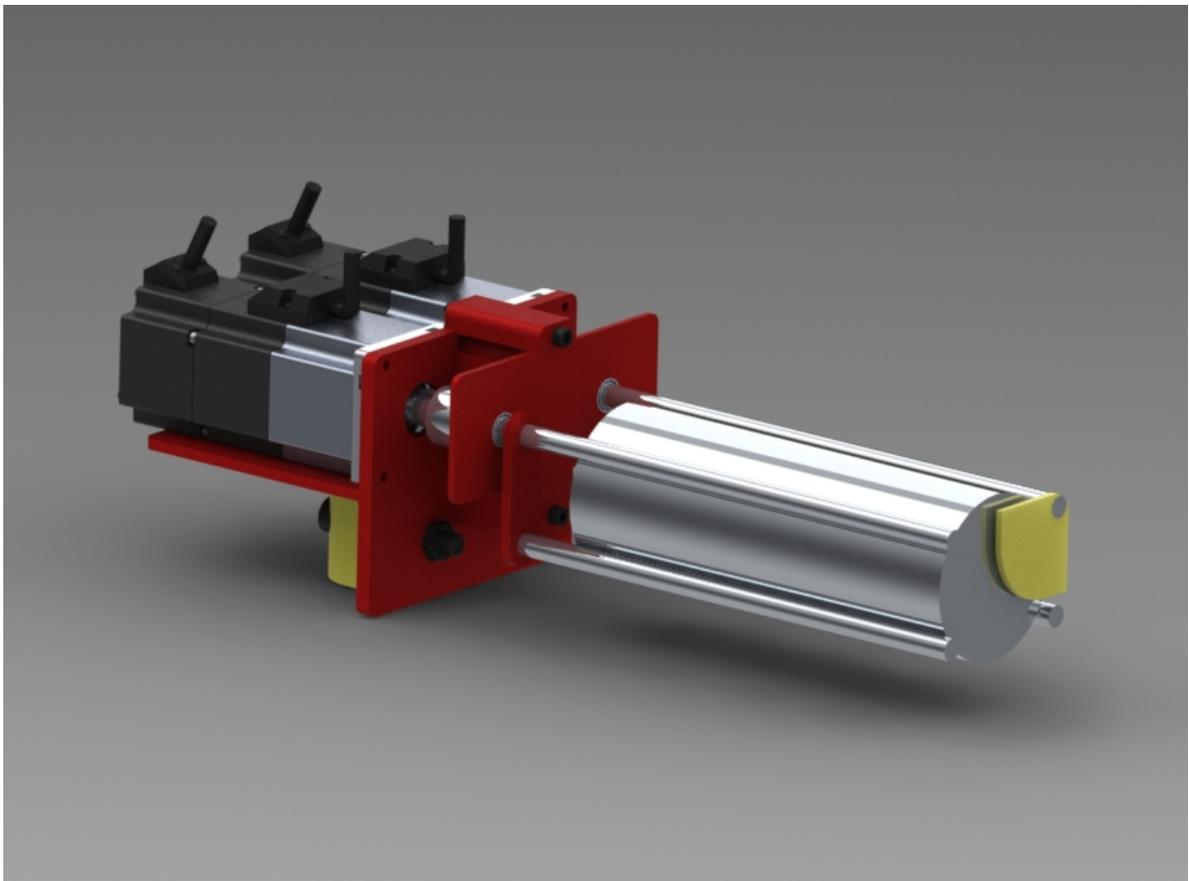
Sele 4.2. Kühvel

Pööratava suunaja põhifunktsioon on komponentide asetamine konveierile. Pööratava suunaja teisel otsal asub piiraja, mis ei lase komponentidel kühvlist välja langeda, kühvli liikumise ajal, mis on näidatud seel 4.3.

Ise kühvel koosneb kahest erinevade paksustega lehtedest, mis on tehtud metallist. Need lehed on keevitatud omavahel T-kujulise ühendusega. Kõik kühvli mootorid on kinnitatud poltidega.

Esiolgu oli läbi vaadatud kaks mootorite tüüpi variante. Esimene variant oli pneumo ajam. Pneumoajam oli valitud selle tõttu, et see tarbib vähe elektrit, ainult mõned andurid, samuti pneumoajam on lihtne kasutuses ja seda on lihtne parandada või vahetada.

Teine variant oli elektriajam. Elektriajam oli valitud selle tõttu, et ta on usaldusväärne, võimas ja kompaktne.



Sele 4.3. Kühvel koos komponentide tulpiga

Oli valitud elektriajam kuna pneumoajamil oli oht et kühvli liikumisel pneumo voolikud võivad läbi hõõrduda, ja need võtavad päris palju ruumi.

Kühvel pööratakse elektriajami abil.

4.1. Pööratavate suunajate mootorite arvutus ja valik

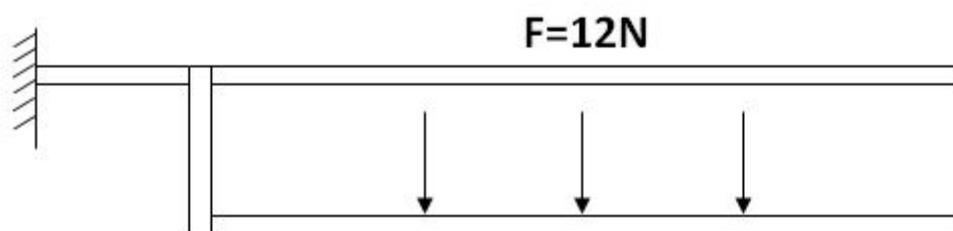
Kühvli on järgmine: mootorid peavad saama hakkama koos töötama väikese töö kiiruse juures. Mootori juhtimiseks peaks olema võimalik kasutada programmeeritava kontrolleri. Peab olema võimalik võlli väga täpselt positsioneerida. Selleks tööks sobivad servo ajamid.

Pööratavate suunajate mootorite arvutamiseks, esialgu mõõdetakse koormus, mis mõjub võllile.

Kõigepealt teostatakse mootori valik, mis pöörab suunajat, mille abil komponendid asetatakse konveierile:

- peasuunaja pikkusega $l = 276,11$ mm, materjaliks kasutatakse alumiiniumi sulam, suunaja mass on $m = 0,08$ kg
- teine suunaja pikkusega $l = 236,11$ mm, materjaliks kasutatakse alumiiniumi sulami, suunaja mass $m = 0,05$ kg
- ühendav plaat pikkusega $l = 68$ mm, materjaliks kasutatakse alumiiniumi sulam, plaati mass on $m = 0,016$ kg
- komponentide tulp massiga $m = 1,2$ kg

Koormus skeem on näidatud seel 4.4.



Sele 4.4. Koormus keem

Arvutatakse kühvli inertsmoment J [kgm^2]:

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad [4.1]$$

([9])

kus $m = 2$ kg, võetakse natuke rohkem

$$r = 0,048 \cdot 2 = 0,096 \text{ m, võetakse rohkem}$$

$$J = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0,096^2 = 0,009 \text{ kgm}^2$$

Arvutatakse eeldatav nurkkiirendus ε [$\frac{1}{\text{s}^2}$]:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} \quad [4.2]$$

([7])

kus ω – nurkkiirus [s^{-1}]

$$t = aeg, \quad t = 1,5 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad [4.3]$$

([7])

kus n – pöörlemiskiirus, $n = 15 \text{ 1/min}$

$$\omega = \frac{\pi \cdot 15}{30} = 1,57 \text{ s}^{-1}$$

$$\varepsilon = \frac{1,57}{1,5} = 1,046 \frac{1}{\text{s}^2}$$

Edasi arvutatakse mootori nõutud pöördemoment M [Nm], arvutatakse niimodi et esialgu võetakse eeldatava mootori inertsmoment ja siis kontrollitakse tema sobivust:

$$M = (J + J_{MOT}) \cdot \varepsilon + M_{hõõr} \quad [4.4]$$

([8])

kus J – süsteemi inertsmoment

J_{MOT} – eeldatava mootori inertsmoment

ε – nurkkiirendus

$M_{hõõr}$ – hõõrdemoment laagris, võetakse laagri andmelehel

$$J = 0,009 \text{ kgm}^2$$

$$J_{MOT} = 0,000028 \text{ kgm}^2 \text{ võetud mootori andmelehest}$$

$$\varepsilon = 1,046 \frac{1}{s^2}$$

$$M_{hõõr} = 0,94 \text{ Nmm}$$

$$M = (0,009 + 0,000028) \cdot 1,046 + 0,94 = 0,95 \text{ Nm}$$

Eeldatav mootor pakutakse firma Panasonic [10] poolt. Mootori nimetus on MATSUSHITA MSMD041G1, tema tehnilised andmed on näidatud seel 4.5. See mootor vastab esitatud nõuetele.

Teisele pööratavale suunajale mõjuv koormus on liiga väike, et seda arvutada. Selleks, et kühvli süsteem oleks tasakaalustatud oli otsustatud võtta täpselt sama mootori.

Specifications			
		AC100 V	
Motor model *1	IP65		MSMD041G1□ MSMD041S1□
	IP67		– –
Applicable driver *2	Model No.	A5II, A5 series	MCD◇T3120
		A5IIE, A5E series	MCD◇T3120E –
Frame symbol		C-frame	
Power supply capacity (kVA)		0.9	
Rated output (W)		400	
Rated torque (N·m)		1.3	
Momentary Max. peak torque (N·m)		3.8	
Rated current (A(rms))		4.6	
Max. current (A(o-p))		19.5	
Regenerative brake frequency (times/min) Note1	Without option	No limit Note2	
	DVOP4282	No limit Note2	
Rated rotational speed (r/min)		3000	
Max. rotational speed (r/min)		5000	
Moment of inertia of rotor ($\times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$)	Without brake	0.26	
	With brake	0.28	
Recommended moment of inertia ratio of the load and the rotor Note3		30 times or less	
Rotary encoder specifications Note5	20-bit Incremental		17-bit Absolute
	Resolution per single turn		1048576 131072

• Brake specifications (For details, refer to P.183)	
(This brake will be released when it is energized. Do not use this for braking the motor in motion.)	
Static friction torque (N·m)	1.27 or more
Engaging time (ms)	50 or less
Releasing time (ms) Note4	15 or less
Exciting current (DC) (A)	0.36
Releasing voltage (DC) (V)	1 or more
Exciting voltage (DC) (V)	24±1.2

• Permissible load (For details, refer to P.183)		
During assembly	Radial load P-direction (N)	392
	Thrust load A-direction (N)	147
	Thrust load B-direction (N)	196
During operation	Radial load P-direction (N)	245
	Thrust load A, B-direction (N)	98

*1 Motor specifications: □
 *2 The product that the end of driver model designation has "E" is "Position control type". Detail of model designation, refer to P.16.
 *3 ◇ in number of applicable driver represents the series. For more information about the part number, please refer to P.16.

Sele 4.5. Mootori andmed [10]

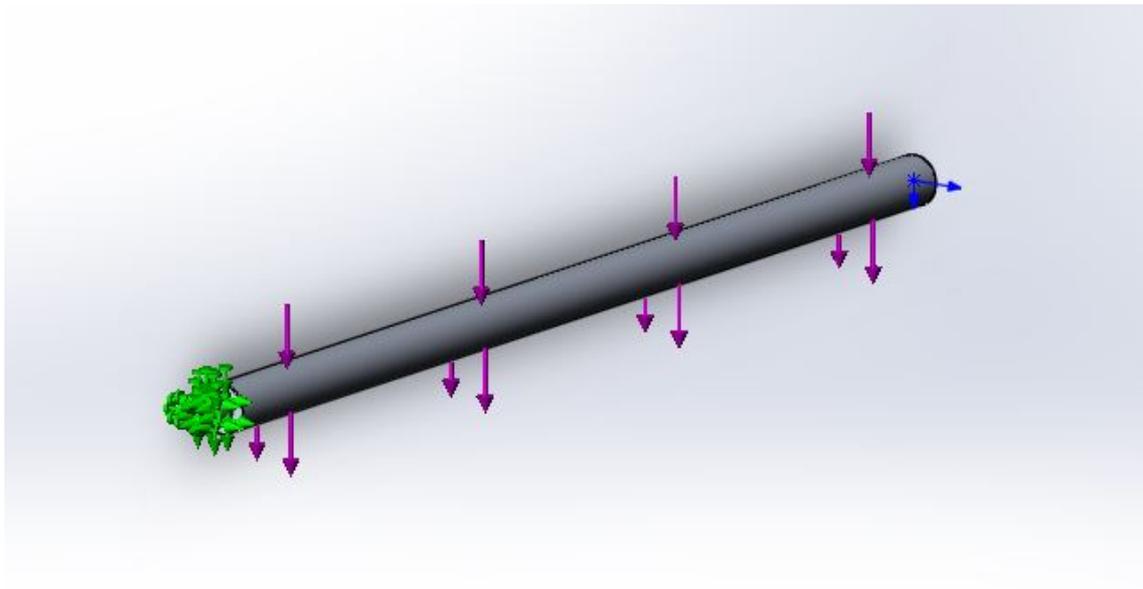
4.2. Suunaja FEM (Finite Element Method) analüüs

Oli tehtud programmiga SolidWorks FEM analüüs sellest, et kuidas pinged mõjuvad suunajale.

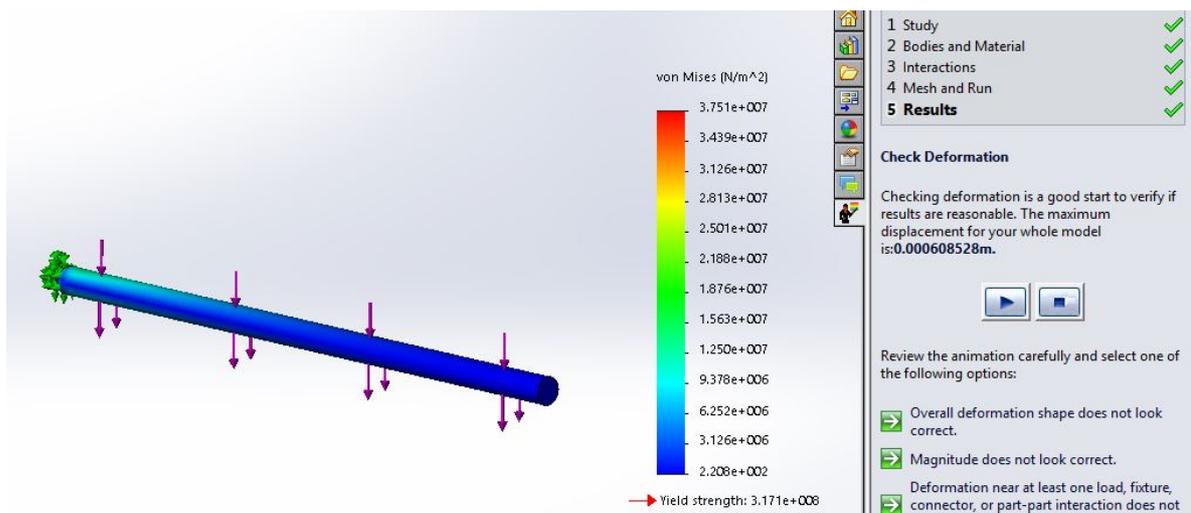
Suunaja algandmed:

- pikkus $l = 236,11$ mm
- välisläbimõõt $d = 10$ mm
- materjal: alumiiniumi sulam koos tõmbetugevusega $\sigma_{TOM} = 420,51$ MPa ja voolavuspiiriga $\sigma_{VOL} = 317,1$ MPa
- Koormus $F = 12$ N

Uuringu tulemused on näidatud seel 4.6 ja 4.7



Sele 4.6 Mõjuva koormuse suund



Sele 4.7. FEM analüüsi tulemus

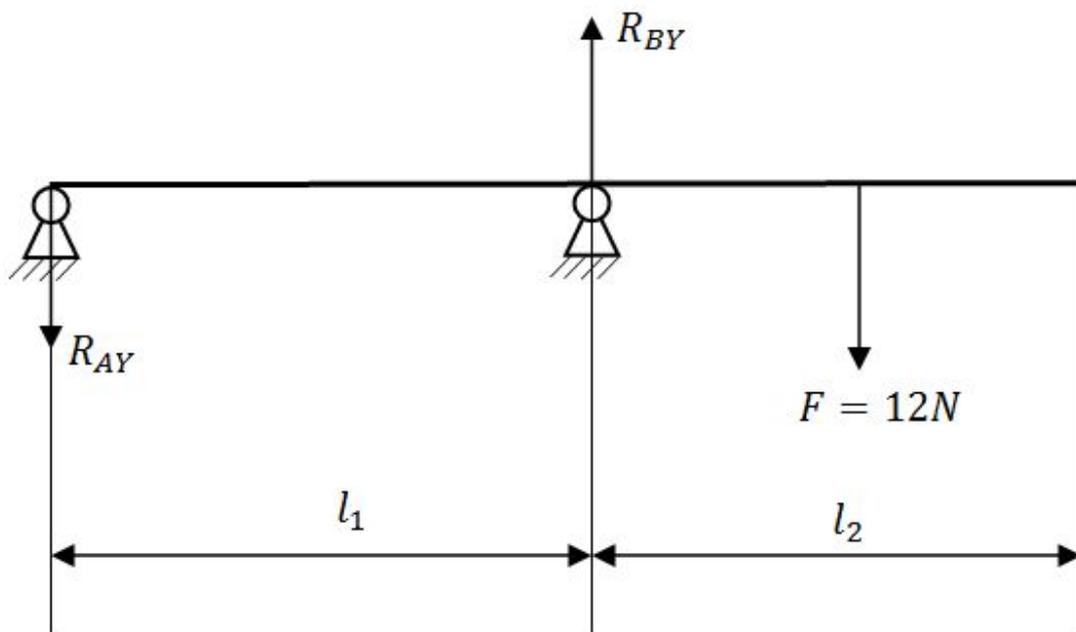
FEM analüüsi tulemus näitab, et antud suunajale mõjuva koormuse korral detaili deformatsioon on 0,0006 m ehk 0,6 mm, mis tähendab, et valitud suunaja pikkus on täiesti sobiv.

4.3. Laagrite arvutus ja valik

Iga pööratava suunaja toetub laagritele. Laagri eeldatavad parameetrid:

- väike suurus
- kerge kaal
- võimalus töötada väikese kiiruse juures
- väike hõõrdemoment

Esiälgu oli tehtud koormus skeem, on näidatud seel 4.8.



Sele 4.8. Koormus skeem

Peale skeemi on vaja arvutada toe reaktsioon:

$$\sum M_A = 0 \quad \rightarrow \quad R_{BY} \cdot l_1 - F \cdot \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \right) = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$R_{BY} = \frac{F \cdot \left(\frac{l_1 + l_2}{2}\right)}{l_1} \quad [4.5]$$

kus $F = 12 \text{ N}$

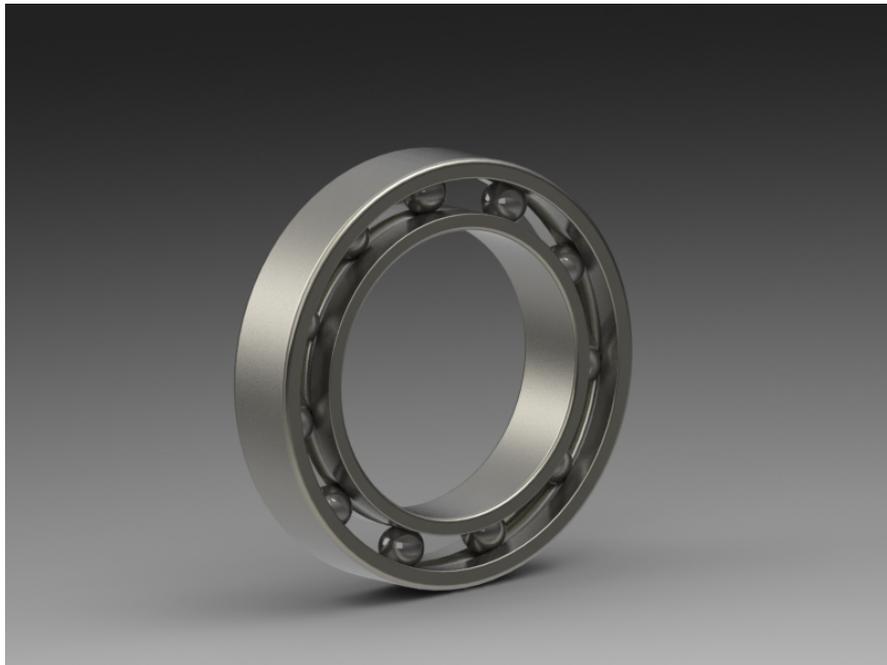
$l_1 = 39 \text{ mm}$

$l_2 = 251,11 \text{ mm}$

$$R_{BY} = \frac{12 \cdot \left(\frac{39 + 251,11}{2}\right)}{39} = 50,63 \text{ N}$$

Tähendab et $R_{BY} = F_{RAD} = 50,63 \text{ N} = 0,051 \text{ kN}$

Laager valitakse ja arvutatakse veebilehel skf.ee [11]. Esialgu valitakse laagri tüüp, oli radiaalkuullaager W61700, on näidatud seel 4.9.



Sele 4.9. Laager W61700

Laagri mõõdud on:

laius - 3 mm

välisläbimõõt - 15 mm

siseläbimõõt - 10 mm

Peale laagri valikut tuli teostada laagri arvutused. Arvutamine tehakse skf-i kalkulaatori abil. Pannakse sisend parameetrid mis on toodud seel 4.10:

Frictional moment - power loss : W 61700	
Input parameters 🗑️	
μ_{EHL} Coefficient of friction under full lubricant film conditions.	0.05
F_r Radial load	0.051 kN
F_a Axial load	0 kN
n_i Rotational speed of the inner ring	15 r/min
Operating temperature Bearing outer ring	40 °C
Grease used in the bearing	LHT23
Viscosity at 40 °C	27.0 mm ² /s
Viscosity at 100 °C	5.1 mm ² /s
Lubrication	Grease

Sele 4.10. Laagri sisend parameetrid [11]

Tulemus on näidatud Seleil 4.11:

Result	
M_{rr} Rolling frictional moment	0.02 Nmm
M_{sl} Sliding frictional moment	0.35 Nmm
M_{seal} Frictional moment of the seals	0 Nmm
M_{drag} Frictional moment of drag losses	0 Nmm
M Total frictional moment	0.37 Nmm
N_r Power loss	0 W
ν Lubricant viscosity at operating temperature	27 mm ² /s
M_{start} Starting torque	0.35 Nmm
K_{rs} Replenishment/starvation constant	6.0E-8

Sele 4.11. Tulemus [11]

Lisaks tuli arvutada laagri ressursi, sisend parameetrid on näidatud seleil 4.12:

Bearing life : W 61700	
Input parameters 🗑️	
Select bearing internal radial clearance	Normal internal radial clearance
F_r Radial load	0.051 kN
F_a Axial load	0 kN
n_i Rotational speed of the inner ring	15 r/min
Operating temperature Bearing outer ring	40 °C
η_c specification method	Cleanliness classification(recommended)
Lubricant type and cleanliness	High cleanliness (sealed bearing)
Grease used in the bearing	LHT23
Viscosity at 40 °C	27.0 mm ² /s
Viscosity at 100 °C	5.1 mm ² /s

Sele 4.12. Sisend parameetrid [11]

Tulemus on näidatud seel 4.13:

Result

L_{10mh} SKF rating life	75700 hour
a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF}	0.1
κ Viscosity ratio	0.03
P Equivalent dynamic bearing load	0.05 kN
η_c Factor for contamination level	0.05
v₁ Required kinematic viscosity for κ=1	973.7 mm ² /s
L_{10h} Basic rating life	737900 hour
L₁₀ Capped bearing grease life	🔍 hour
C/P Load ratio	9.8

Sele 4.13. Tulemus [11]

Tulemused on rahuldavad ja oli otsustatud kasutada antud rakenduses selle laagri. Kühvli konstruktsioonis on 2 laagrit, mõlemad on samasugused.

Kühvlis need laagrid asuvad metallist tehtud toe sees nagu näidatud seel 4.14.



Sele 4.14. Laagrid konstruktsioonis

4.4. Mootori arvutus ja valik kühvli pööramiseks

Peale kõike kühvli osade arvutamist ja valimist, saab arvutada kühvli konstruktsiooni kaalu, selleks et arvutada sobiva mootori kühvli pööramiseks.

Kühvli konstruktsioon koosneb:

- MSMD041G1 mootor kaaluga 1,7 kg, neid on 2 tükki tähendab et üldine kaal on 3,4 kg
- 4 suunajat kaaluga 0,276 kg
- metallist konstruktsioon 1,356 kg
- komponentide virn kaaluga 1,2 kg
- alumiiniumist võlli kinnitus kaaluga 0,437 kg
- poldid, muttrid ja laagrid

Üldine kaal on 6,732 kg, arvutustes võetakse kaaluks 8 kg, et oleks lisaturvavaru.

Esialgul arvutatakse kühvli inertsmoment J [kgm^2]:

$$J = \frac{1}{4} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{3} \cdot m \cdot l^2 \quad [4.6]$$

([9])

kus $m = 8 \text{ kg}$

$r = 0,075 \text{ m}$

$l = 0,43 \text{ m}$

$$J = \frac{1}{4} \cdot 8 \cdot 0,075^2 + \frac{1}{3} \cdot 8 \cdot 0,43^2 = 0,504 \text{ kgm}^2$$

Edasi arvutatakse nõutava pöördemomendi M [Nm], leitakse eeldatava mootori inertsmoment ja seejärel kontrollitakse selle sobivus:

$$M = (J + J_{MOT}) \cdot \varepsilon + M_{hõõr} \quad [4.4]$$

kus J – süsteemi inertsmoment

J_{MOT} – eeldatava mootori inertsmoment

ε – nurkkiirendus

$M_{hõõr}$ – hõõrdemoment laagris

$$\varepsilon = 1,046 \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$J_{MOT} = 0,00317 \text{ kgm}^2$$

$$M = (0,504 + 0,003) \cdot 1,047 = 0,530 \text{ Nm}$$

Eeldatav mootor pakutakse firma Panasonic [10] poolt. Mootori nimetus on MATSUSHITA MSME152GC näidatud seel 4.16, selle tehnilised andmed on näidatud seel 4.15. See mootor täiesti sobib.

Specifications

		AC200 V	
Motor model *1	IP65	MSME152GC□	MSME152SC□
	IP67	MSME152G1□	MSME152S1□
Applicable driver *2	Model No.	A5II, A5 series	MDD◇T5540
		A5IIE, A5E series	MDD◇T5540E
	Frame symbol	D-frame	
Power supply capacity	(kVA)	2.3	
Rated output	(W)	1500	
Rated torque	(N-m)	4.77	
Momentary Max. peak torque	(N-m)	14.3	
Rated current	(A(rms))	8.2	
Max. current	(A(o-p))	35	
Regenerative brake frequency (times/min) Note1	Without option	No limit Note2	
	DV0P4284	No limit Note2	
Rated rotational speed	(r/min)	3000	
Max. rotational speed	(r/min)	5000	
Moment of inertia of rotor ($\times 10^{-4}$ kg-m ²)	Without brake	2.84	
	With brake	3.17	
Recommended moment of inertia ratio of the load and the rotor	Note3	15 times or less	
Rotary encoder specifications	Note5	20-bit Incremental	17-bit Absolute
		Resolution per single turn	1048576 131072

• Brake specifications (For details, refer to P.183)

(This brake will be released when it is energized.)
(Do not use this for braking the motor in motion.)

Static friction torque (N-m)	7.8 or more
Engaging time (ms)	50 or less
Releasing time (ms) Note4	15 or less
Exciting current (DC) (A)	0.81±10 %
Releasing voltage (DC) (V)	2 or more
Exciting voltage (DC) (V)	24±2.4

• Permissible load (For details, refer to P.183)

During assembly	Radial load P-direction (N)	980
	Thrust load A-direction (N)	588
	Thrust load B-direction (N)	686
During operation	Radial load P-direction (N)	490
	Thrust load A, B-direction (N)	196

• For details of Note 1 to Note 5, refer to P.182, P.183.

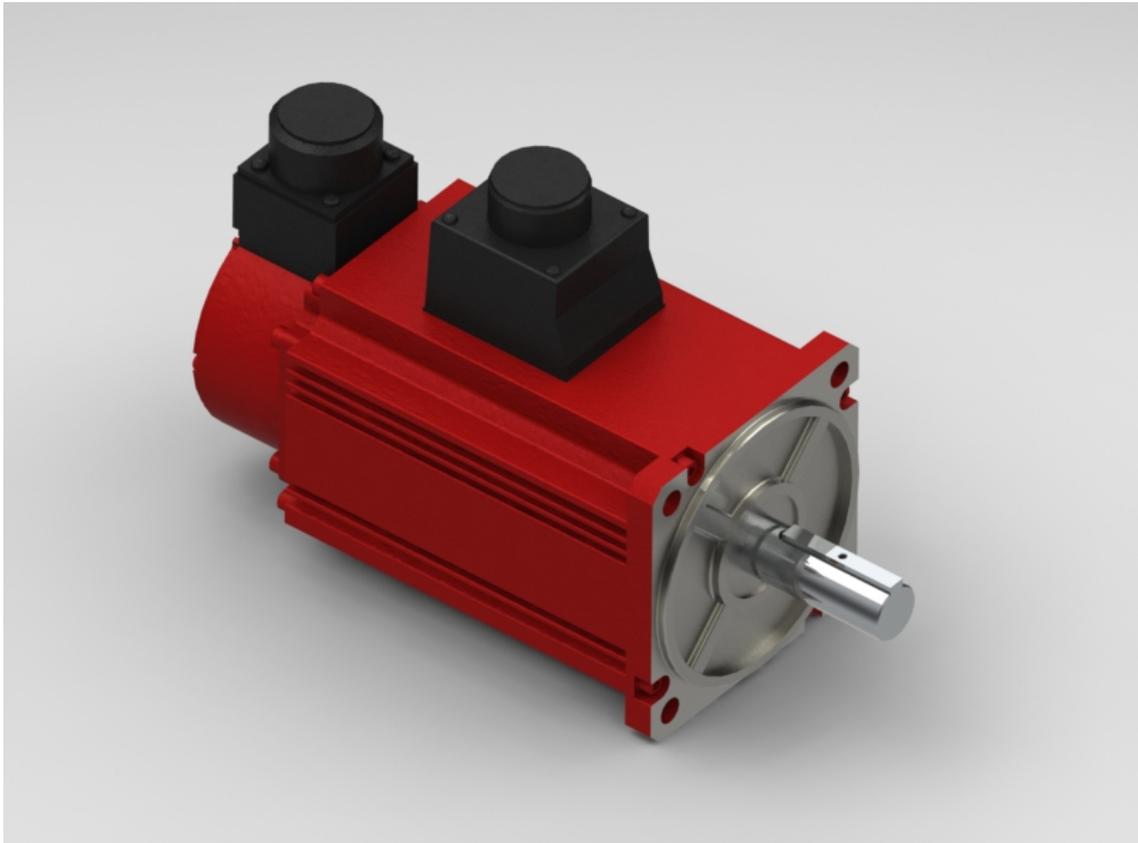
• Dimensions of Driver, refer to P.43.

*1 Motor specifications: □

*2 The product that the end of driver model designation has "E" is "Position control type". Detail of model designation, refer to P.16.

*3 ◇ in number of applicable driver represents the series. For more information about the part number, please refer to P.16.

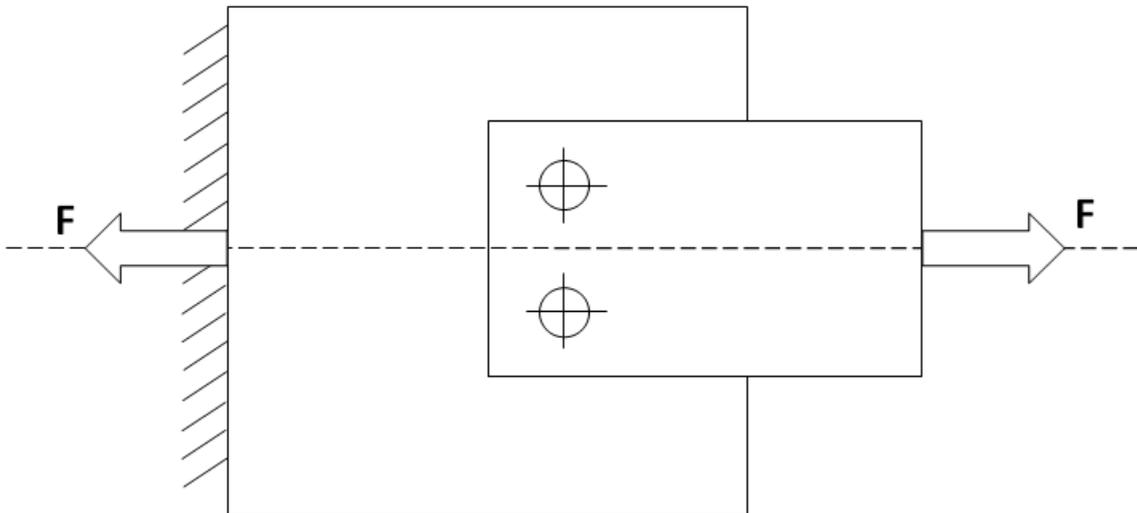
Sele 4.15. Mootori andmeleht [10]



Sele 4.16. MATSUSHITA MSME152GC

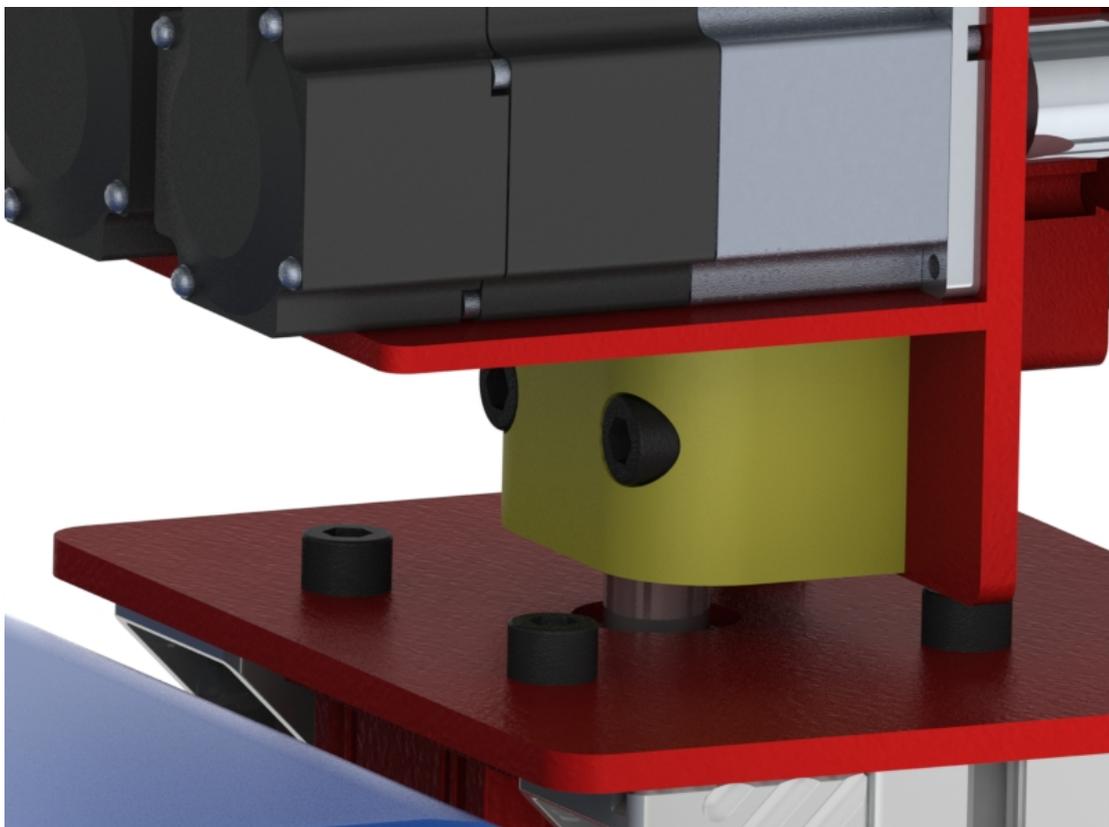
4.5. Kõhvi poltide arvutus

Kõhvi kinnituse hoidmiseks oli valitud poltid M10 8.8. Poldide koormuse skeem on näidatud seel 4.17.



Sele 4.17. Polliite koormusskeem

Kuidas see näeb välja konstruktsioonis on näidatud seel 4.18:



Sele 4.18. Kinnituse konstruktsioon

Arvutatakse polti sobivus, selleks arvutatakse polti tegelik tugevuse varutegur S_{teg} :

$$S_{teg} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} = \frac{600}{\sigma_{max}} > [s] = 3 \quad [4.5]$$

kus $\sigma_y = 600 \text{ MPa}$ on 8.8 tugevusklassiga poltidel tinglik voolepiir

σ_{max} on maksimaalne tõmbepinge

Maksimaalne tõmbepinge ei pea ületama lubatava tõmbepinge:

$$\sigma_{max} = \frac{N_{arv} \cdot 4}{\pi \cdot d_3^2} \leq [\sigma] \quad [4.6]$$

kus d_3 – on minimaalne nominaalne poldi keerme siseläbimõõt

N_{arv} – poldi arvutuslik koormus

Poldi keerme andmed võetakse veebisaitilt [12]

Arvutatakse poldi materjali lubatav tõmbepinge [MPa]:

$$[\sigma] = \frac{600}{[s]} \quad [4.7]$$

kus $[s] = 3$ on nõutud tugevusvarutegur

$$[\sigma] = \frac{600}{3} = 200 \text{ MPa}$$

Arvutatakse poldi arvutuslik koormus [N]:

$$N_{arv} = 1,3 \cdot F_p \quad [4.8]$$

kus F_p on poldi pingutusjõud

Arvutatakse poldi pingutusjõud [N]:

$$F_p = \frac{1,2 \cdot F}{f \cdot i} \quad [4.9]$$

kus F – mõjuv jõud [N]

i – poldide arv

f – terasest detailide korral hõõrdetegur 0,2 ... 0,3

$$F_p = \frac{1,2 \cdot 80}{0,25 \cdot 2} = 192 \text{ N}$$

$$N_{arv} = 1,3 \cdot 192 = 249,6 \text{ N}$$

$$\sigma_{max} = \frac{249,6 \cdot 4}{\pi \cdot (8,128 \cdot 10^{-3})^2} = 4,8 \text{ MPa}$$

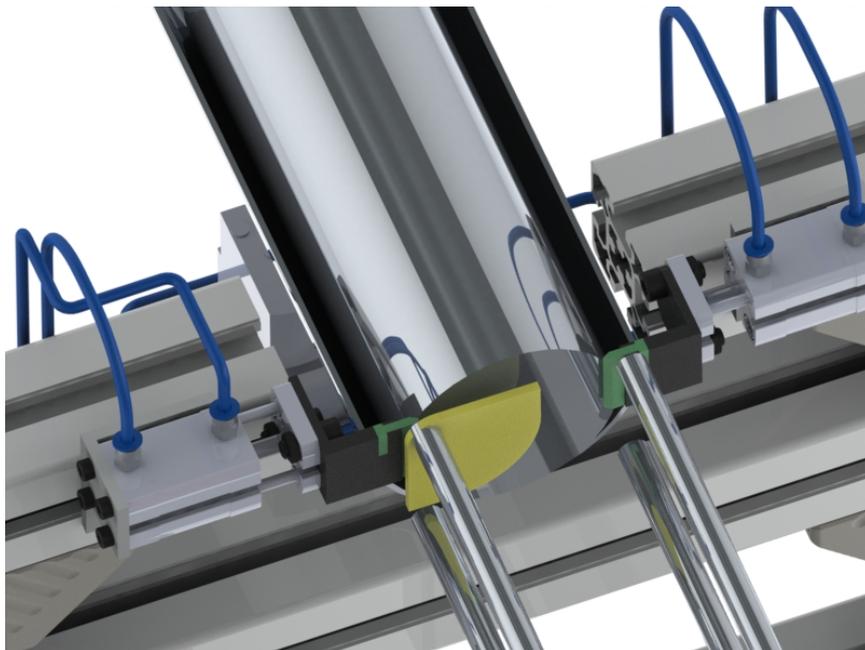
$$\sigma_{max} = 4,8 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 200 \text{ MPa}$$

$$S_{teg} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} = \frac{600}{4,8} = 125 > [s] = 3$$

Arvutused näitavad et poldid M10 8.8 on suure varuteguriga.

5. Pneumo komponentide arvutused ja valik

Liini alguses, kus komponendid akumuldeerutakse peale ahjust välja minekut, oli otsustatud panna pneumo silindrid koos hoidikutega varraste otstel. Alghetkel silindrid töötavad normaalselt avatud režiimis. See tähendab, et silindrite vardad ulatuvad maksimaalselt, selleks et anda komponentidele võimaluse koguneda peale ahju, mis on näidatud seel 5.1

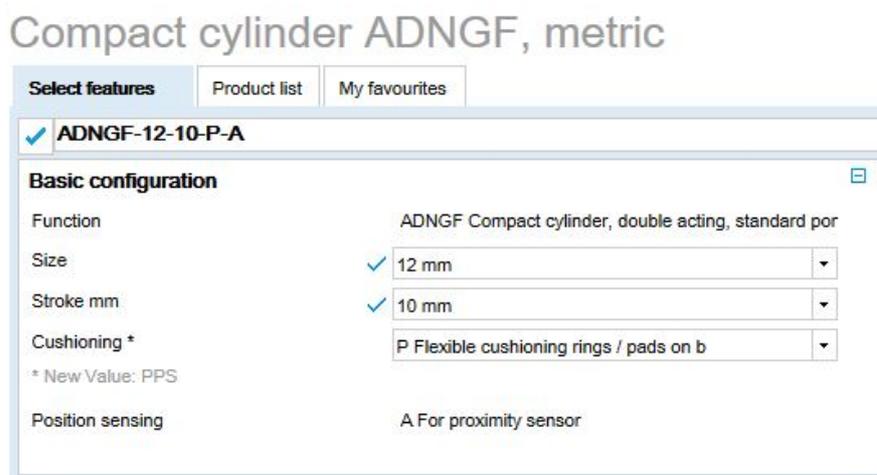


Sele 5.1. Silindrite alg positsioon

Hoidik, mis asub varda otsal on tehtud metallist ja plastikust. Pneumo silindrid oli valitud sellepärast et nendega on lihtne töötada, lihtne hooldada ja lihtne monteerida.

5.1. Pneumo silindri valik

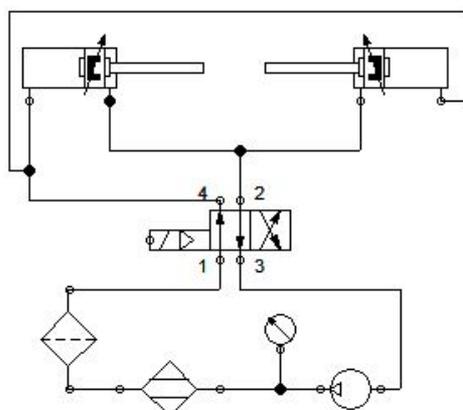
Pneumo silindrid valitakse firma FESTO [13] poolt. Festo veebilehelt saab valida kõik vajavad osad, nagu silindrid, voolikud, kinnituse osad ja muud asjad. Oli valitud kahetoimilised silindrid Compact cylinder ADNGF 12 10 PA, nende andmed on toodud seel 5.2. Silinder omab varda asukoandurit, selleks et teada varda täpse asukoha.



Sele 5.2. ADNGF 12 10 PA [13]

5.2. Pneumo-juhtimisskeem

Peale silindri valikut on vaja koostada juhtimisskeemi. Skeem oli tehtud programmis Festo FluidSIM Pneumatik [14]. Skeem on näidatud seel 5.3.



Sele 5.3. Pneumo skeem [14]

Skeemis õige silindri töötamiseks oli valitud 4/2 klapp, mis tähendab et klapp omab 4 asendit sisendit/väljundit ja 2 töötavat. Klappi juhtimine toimub elektromagnetiga. Need osad mis asuvad enne klappi, on selleks et oleks võimalik teha simulatsiooni programmis.

5.3. Pneumo klappi valik

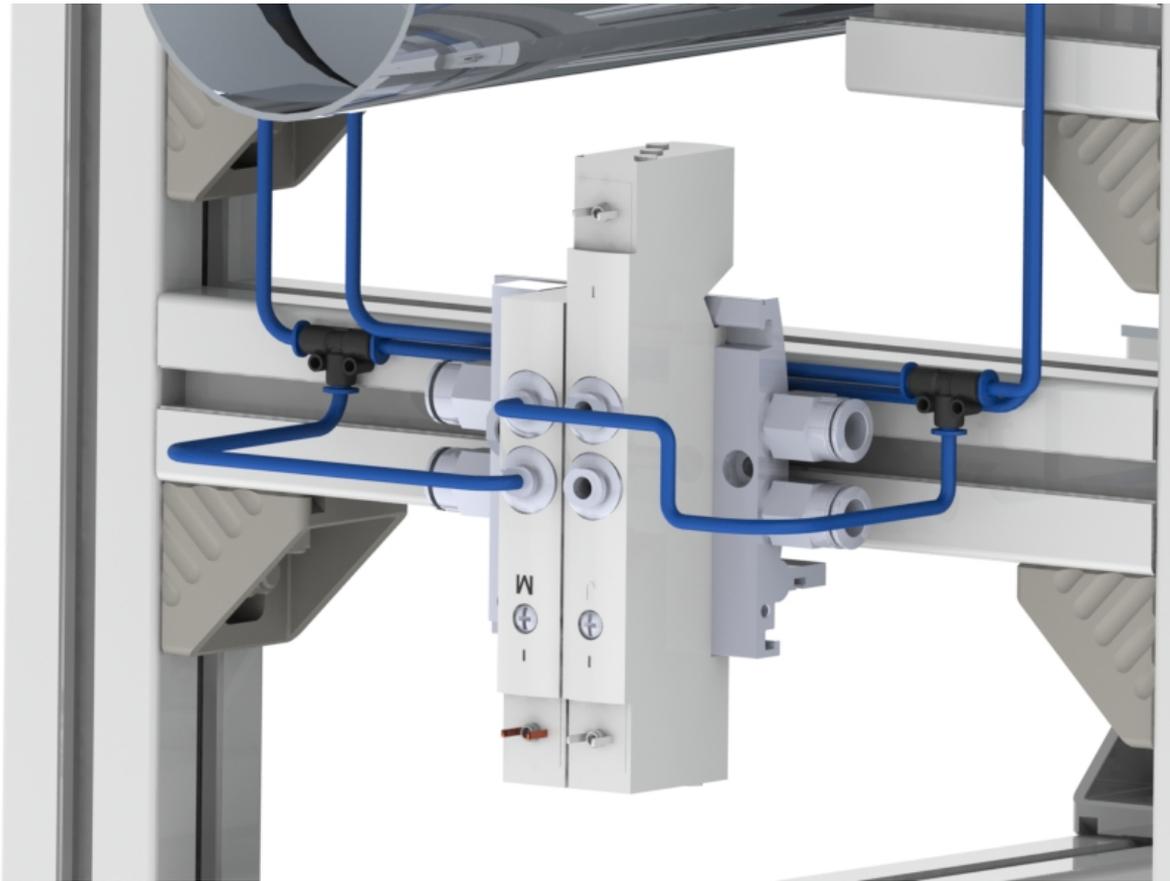
Samuti oli valitud sobiv pneumo klapp FESTO [13] veebilehelt. Oli valitud klapp 4/2 VTUB Valve terminal type, klapp on näidatud seel 5.5, klappi andmed on näidatud seel 5.4. Selles terminalis on kaks 4/2 klappi, teine on varuklapp ja see on bistabiilne.

Basic configuration	
Feature	Value
Type of product	VTUB Valve terminal type
Valve actuation	S Individual electrical connection
Individual connection type	ET Blade connectors
Valve type	S Semi in-line valve
Nominal operating voltage	1 24 V DC
Manual override	D Detenting
Pressure supply connection	Q10 Plug connector 10 mm
Exhaust port	D ducted exhaust
Valve connection	P4 Plug connector 4 mm
Valve connection position	T Top, straight
Manifold block	A Size 1 (G1/4)

Options	
Feature	Value
Valve design	C with cover
Pilot air	Internal
Connection position pressure supply	At both ends
Position of exhaust port	At both ends

Valve position	
Feature	Value
Position function 1	J 4/2-way valve, bistable
Duct separation position 1	Without
Alternative working line 1	Q6 Plug connector 6 mm
Alternative position working line 1	Without
Position function 2	M 4/2-way valve, single solenoid, pneumatic spring
Alternative working line 2	Without
Alternative position working line 2	Without
Position function 3	Without
Position function 4	Without
Position function 5	Without
Position function 6	Without
Position function 7	Without

Sele 5.4. Klappi andmed [13]



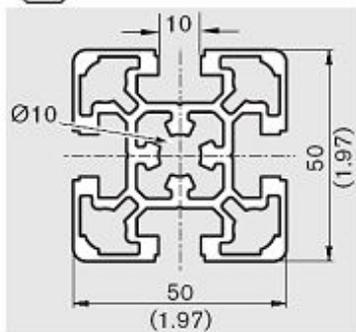
Sele 5.5. 4/2 VTUB Valve terminal type

6. Kandev konstruktsioon

Kandev konstruktsiooni all on mõeldud konstruktsiooni, millele on kinnitatud kõik komponendid. Oli otsustatud valida alumiiniumist profiil 50x50 mm, mis on näidatud seel 6.1, mis pakutakse ettevõtte BOSCH REXROTH GROUP [15] poolt.

Aluminum Structural Framing

50x50

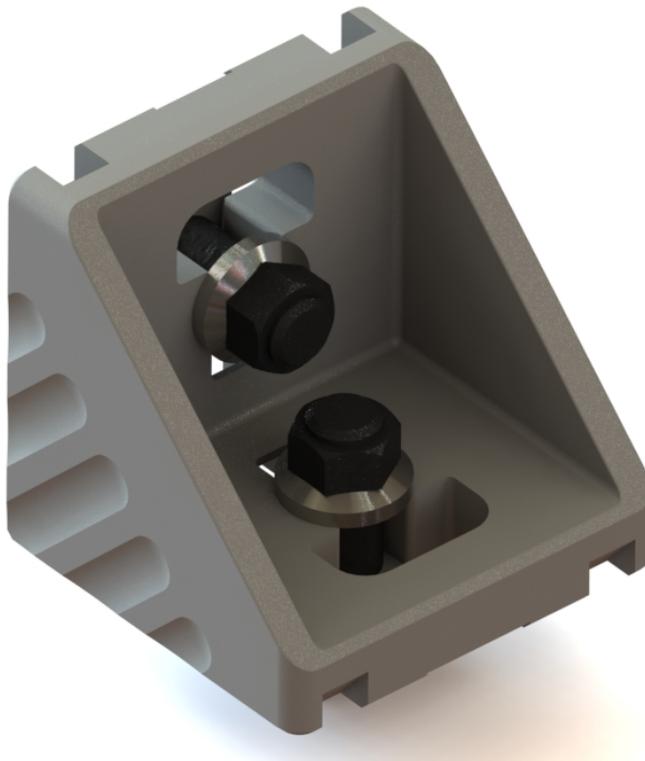


Features:

- General purpose, medium-duty profile for strong, rugged performance
- Has four 10mm T-slots

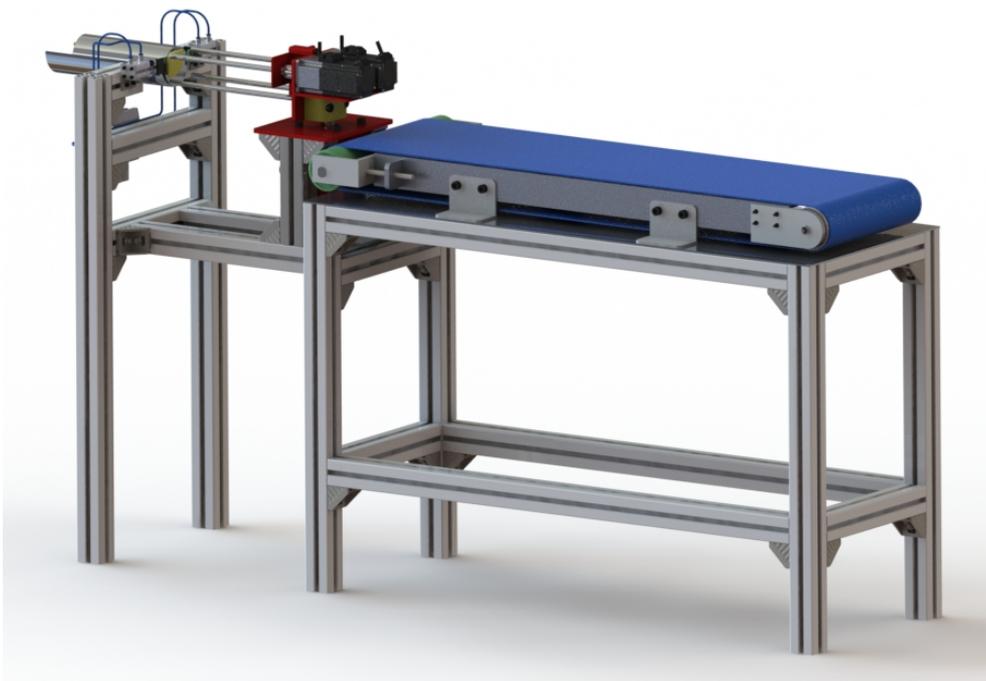
Sele 6.1. Profiil [15]

See profiil on vastupidav ja sobib etteantud koormuste korral. Profiilide omavaheliseks kinnitamiseks oli valitud kinnitus ZBH-7, mis on näidatud seel 6.2

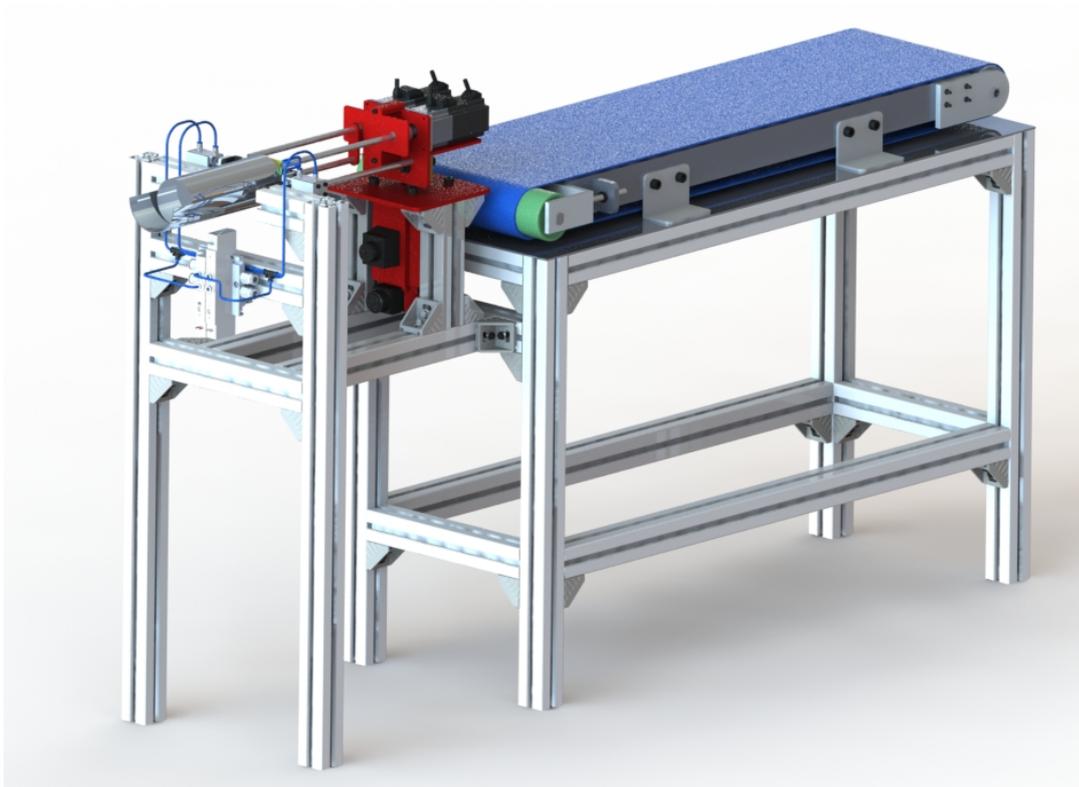


Sele 6.2. Kinnitus

Kõik konstruktsiooni jalad peavad olema kinnitatud tehase põrandale poltidega. Konstruktsioon koosneb 23 erineva pikkusega profiilidest. Terve konstruktsioon on näidatud seel 6.3 ja 6.4



Sele 6.3. Konstruktsioon



Sele 6.4. Konstruksioon

7. Süsteemi töö kirjeldus

7.1. Konveieri mootori juhtimine

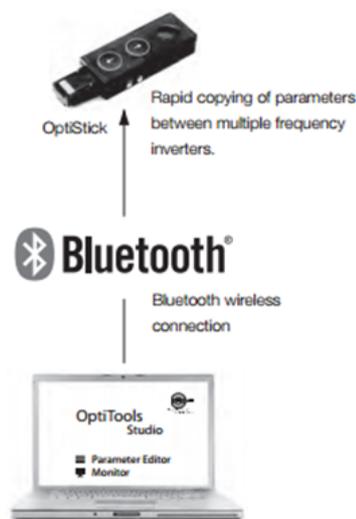
Konveeri mootor töötab sagedusmuunduri IFI-IP55 juhtimisega, mis on näidatud seel 7.1.

IFI - IP55 Frequency Inverter



Sele 7.1. Sagedusmuundur [4]

See sagedusmuundur pakutakse firma INTERROLL [4] poolt. See sagedusmuundur võimaldab töötada sünkroonse kui ka asünkroonse mootoriga, samuti annab võimaluse jälgida mootori töö seisundit. Sagedusmuunduri sees on paigaldatud soojajuhtimise funktsioon ja volukaitse. Sagedusmuundur omab erilise seadme OptiStick, mis on näidatud seel 7.2, mille abil ühendatakse mootor arvutiga Bluetooth-i kaudu. Arvutis saab töötada programmiga OptiTools Studio.



Sele 7.2. OptiStick [4]

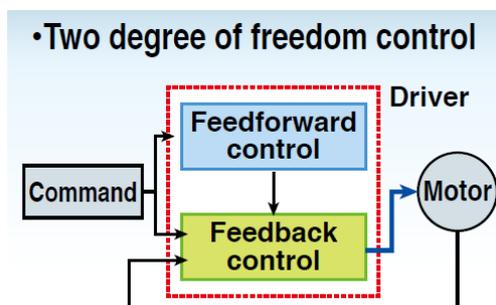
7.2. Kùhvlis mootorite juhtimine

Kùhvlis töötavad 3 mootorit, see tähendab et igal mootoril peab olema oma juhtplokk. Firma Panasonic [10] mootorile seeria MINAS A5, mis on kasutatud, pakub oma juhtplokki, mis saab töötada iga kolme kasutatava mootori tüüpiga. Juhtplokk A5II series, mis on toodud seel 7.3.



Sele 7.3. Juhtplokk [10]

See juhtplok saab töötada mootoritega, mille võimsus võib olla alates 50 W kuni 15,0 kW. Sellel juhtplokil on rakendatud uus juhtimis algoritm 2DOF, mis tähendab „Two degree of freedom“ juhtimis- süsteem, süsteemi komponendid on toodud seel 7.4.



Sele 7.4. 2DOF [10]

See algoritm lubab vähendada mootori seadistamise aega, suurendada mootori võlli positioneerimise täpsust, vähendada käsude reaktsiooni-aega. Juhtplok töötab tarkvaraga PANATERM.

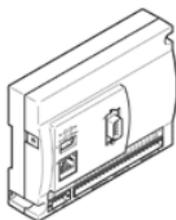
7.3. Pneumo-süsteemi juhtimine

Pneumo-süsteem, mis koosneb kahest kahetoimelistest pneumo silindritest ja klappi terminalist juhatakse kontrolleriiga, mis pakub firma FESTO [13]. See on elektrooniline kontrolleri nimega CECC-D, mis on näidatud seel 7.5.

Controller
CECC-D
Part number: 574415

FESTO

Compact controller Codesys V3 with I/O, CAN, Ethernet.



Sele 7.5. CECC-D kontrolleri [13]

Kontrolleri saab töötada samaaegselt koos 12 sisenditega ja 8 väljunditega. Kontrolleri omab mitu programmeerimise keelt.

7.4. Komponenti loendur

Komponenti loenduriks firma AS Metaprint peainseneri poolt oli pakutud kasutada loenduri mis valmistab firma NPB [16]. See on kompaktne ja universaalne lahendus mis saab töötada erineva toodangu tüübiga, on näidatud seel 7.6. Konstruktsioonis sellel etapil ta puudub, aga kui teha see projekt lõpuni siis saab panna seda loendurit pneumo süsteemi profiilile.



Sele 7.6. Loendur [16]

Komponenti loendur asub pneumatilise süsteemi tsoonis. Loenduri täpsus on väga kõrgel tasemel, loenduri maksimaalne ebatäpsus on $4/1\ 000\ 000$. Selle loenduri eesmärk on anda signaali sellest, et nõutud komponendi arv on loendatud. Loendur on seotud pneumatilise süsteemi kontrolleri SCADA tarkvara abil. Loenduri tehnilised andmed on toodud seel 7.7.

Technical specification

Technical data:

Dimensions, l x w x h 120 x 34 x 60 mm (4.7 x 1.3 x 2.4 inch)
Material Anodized Aluminum
Weight 400 gr (14.1 oz)
Power supply 10-30 VDC, 0.2 A
Protection class IP 54
Capacity, max counting speed... 12 000 EPM (200 Hz)

Product features DEC:

A and/or B channel and inverted signals, pulse every 10 ends

Product features DEC-E:

A and/or B channel and inverted signals, pulse every 10 ends
Dual Ethernet with integrated switch
Power over Ethernet
Splitter Output, 24 VDC, max 0.5 A

Sele 7.7. Tehnilised andmed [16]

Loenduri kinnitamiseks on kasutatud kinnitusvahendid mis on pakitud tootja poolt, on tootud selel 7.8.

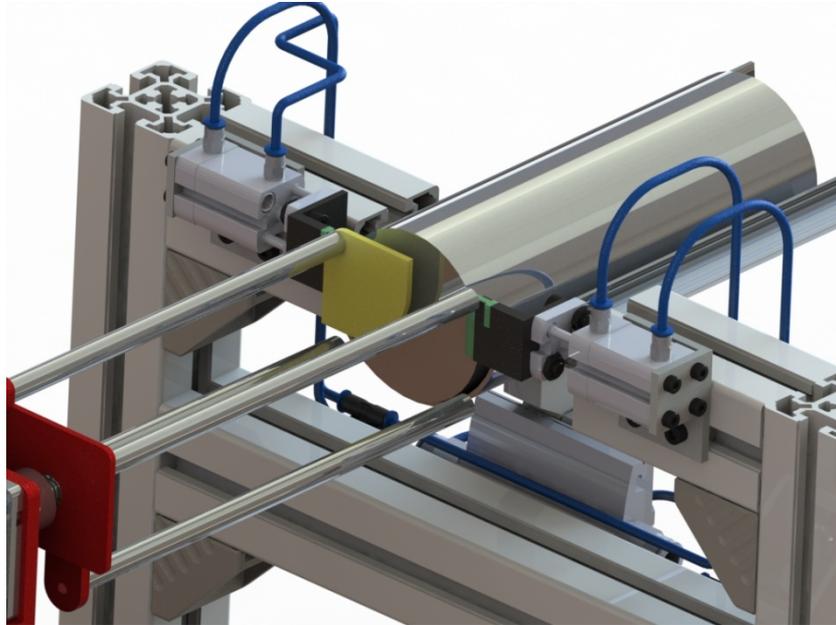


Sele 7.8. Kinnitusvahend [16]

7.5. Süsteemi töö algoritm

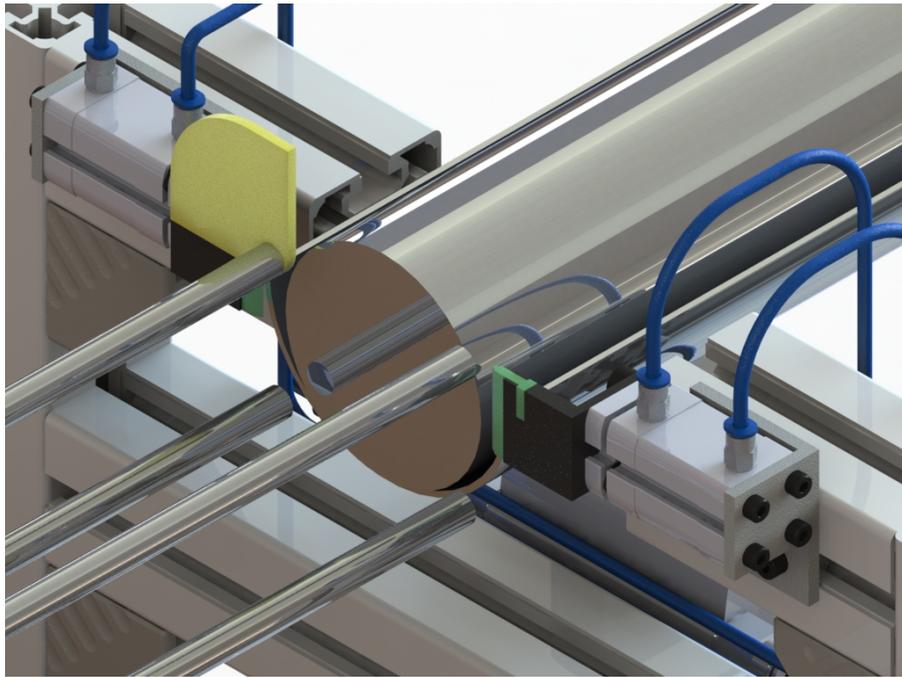
Liini töö algoritm on esitatud lihtsustatud variandis magistritöö piiratud mahu tõttu. Kõik kontrollid ja sagedusmuundur on vaja omavahel ühendada ja teha üks ühisprogramm SCADA tüüpi.

Tavaliselt selles süsteemides on olemas "START" nupp koos võtmega. Esialgu operaator vajutab "START" nuppu, siis toimub süsteemi valmistamine ehk kontrollimine, kas kõik süsteemi komponendid on töökorras. Peale kontrollimist esimene mis teeb liin, on komponenti akumuleerumise ootamine, mis on näidatud seel 7.9



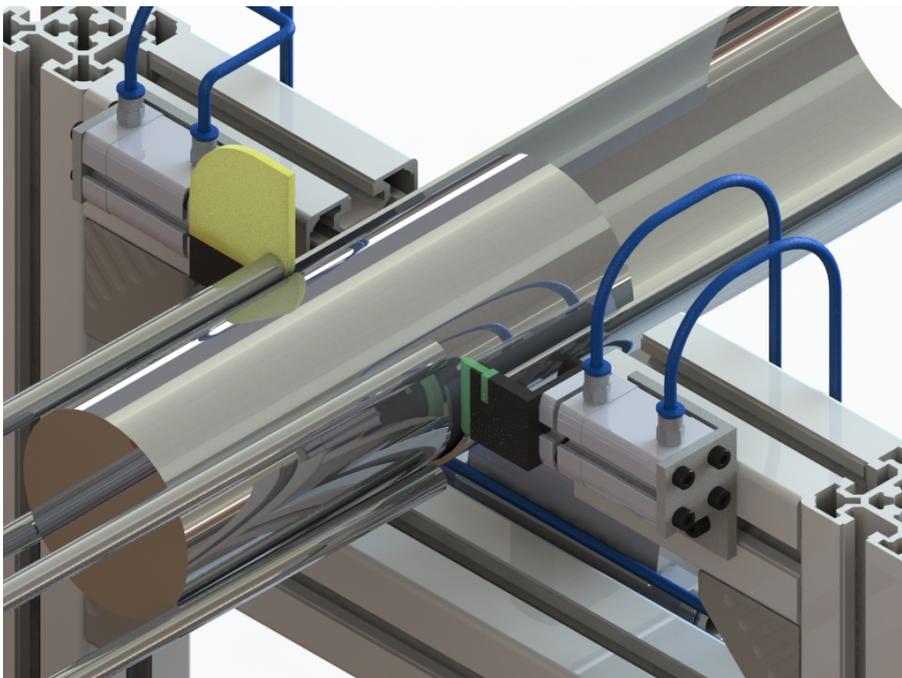
Sele 7.9. Komponenti akumuleerumine

Kui süsteem saab signaali, et komponentide hulk on piisav, siis hakkavad töötama pneumo silindrid. Süsteemi töö alguses silindrid on asendis "KINNI", et lubada komponentidele koguneda. Peale signaali saabumist pneumo silindrite kolvivarred liiguvad teisest kaugemale asendisse "AVATUD". Samuti kühvli piiraha liigub asendist "KINNI" asendisse "AVATUD", mis on näidatud seel 7.10.



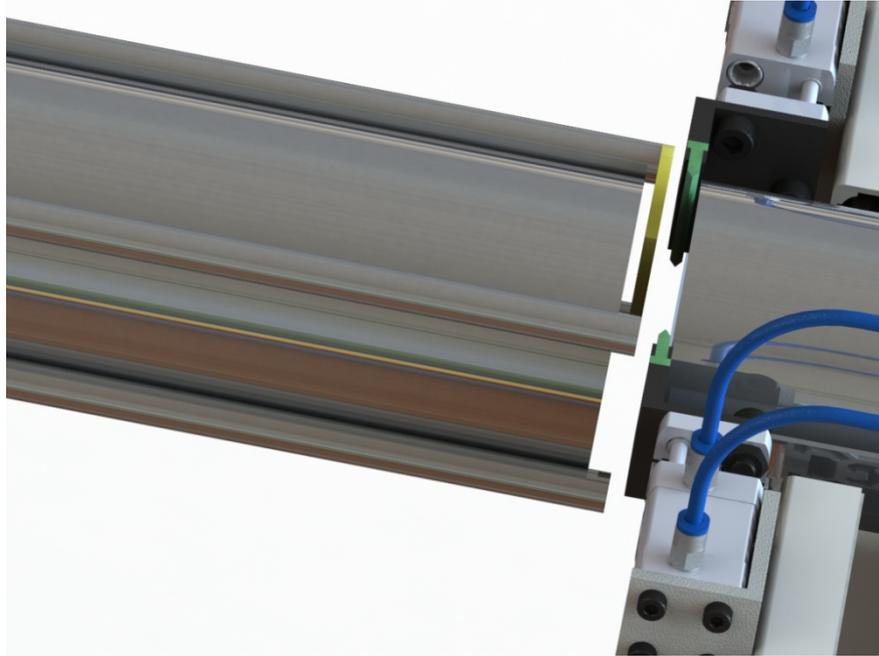
Sele 7.10. Avatud asendid

Komponendid hakkavad liikuma ja arvutatakse loenduri abil, mis on näidatud seel 7.11.



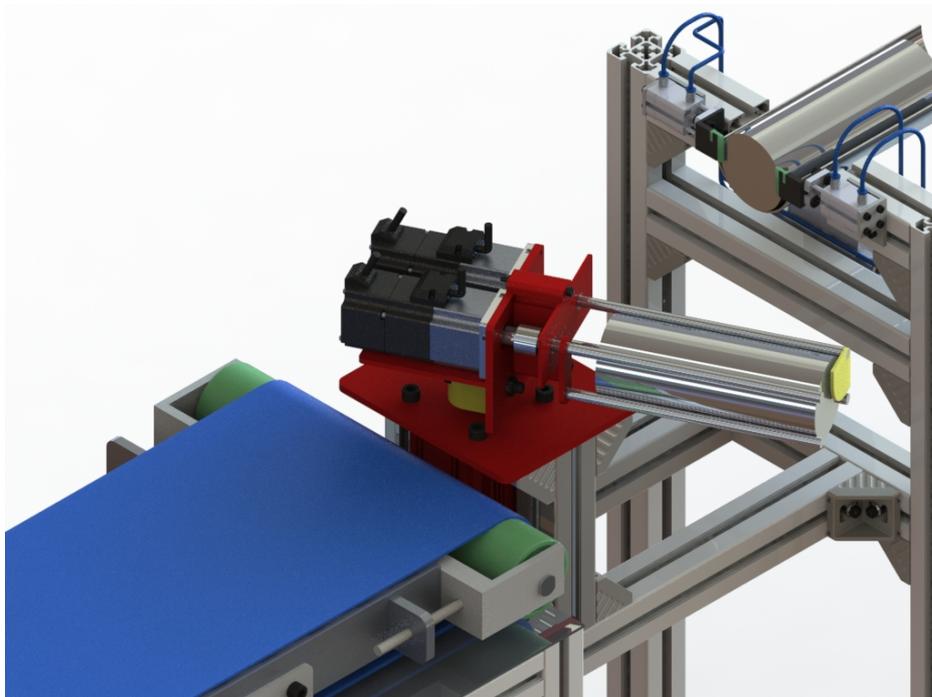
Sele 7.11. Komponentide liikumine

Siis süsteem ootab kuni loendur annab käsku et hulk on piisav. Peale loenduri käsku silindrid liiguvad asendisse "KINNI", ja eraldavad komponendid, piiraja liigub asendisse "KINNI", mis on näidatud seel 7.12.



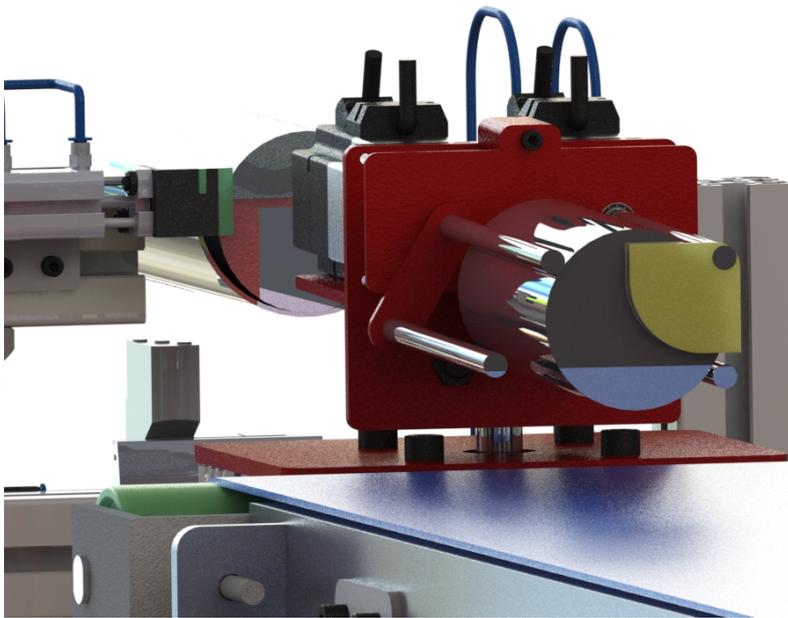
Sele 7.12. Komponentid eraldatakse

Siis hakkab töötama kühvli pööramise mootor ja asendist "SAAN VÕTA KOMPONENTID" liikub asendisse "TOON KONPONENTID" ja pöörab oma võlli päripäeva 180 graadi võrra, mis on näidatud seel 7.13.

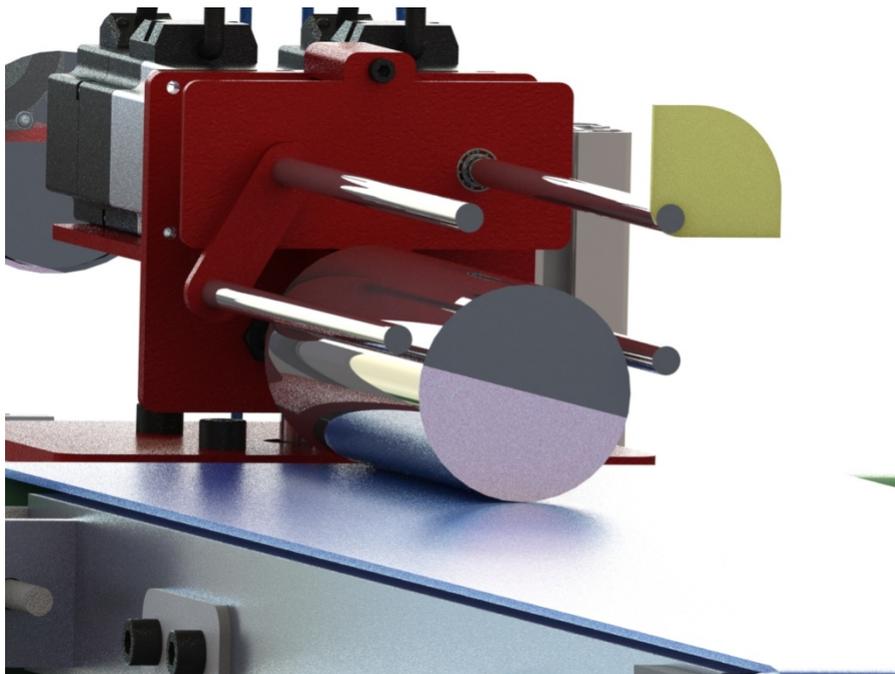


Sele 7.13. Kühvli liikumine

Kui ta jõuab asendisse "TOON KOMPONENTID" siis ta annab käsku teisele suunajale mis töötab paaris veel ühe suunajaga, et ta liigub asendisse "AVATUD" selleks, et komponendid langeks konveierile, ja suunaja piirajaga liigub asendisse "AVATUD" et ei segaks liikumisele, mis on näidatud seel 7.14 ja 7.15.

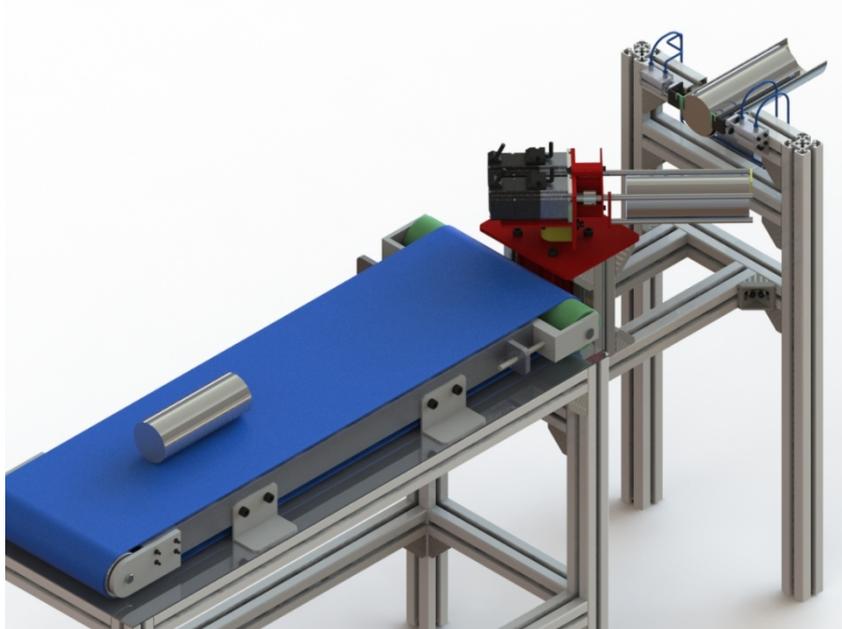


Sele 7.14.



Sele 7.15.

Peale seda kühvel ootab 1 sekundit ja teeb kõik sammud vastupidi. Kui operaator vajutab nupule "STOP" siis süsteem teeb lõpuni oma viimase komponendi liikumise ja kühvel jääb seisma asendis "SAAN VÕTA KOMPONENTID", mis on näidatud seel 7.9. Lisa osas on töö algoritmi plokkiagramm. Seel 7.16 näidatud liin töötamises.

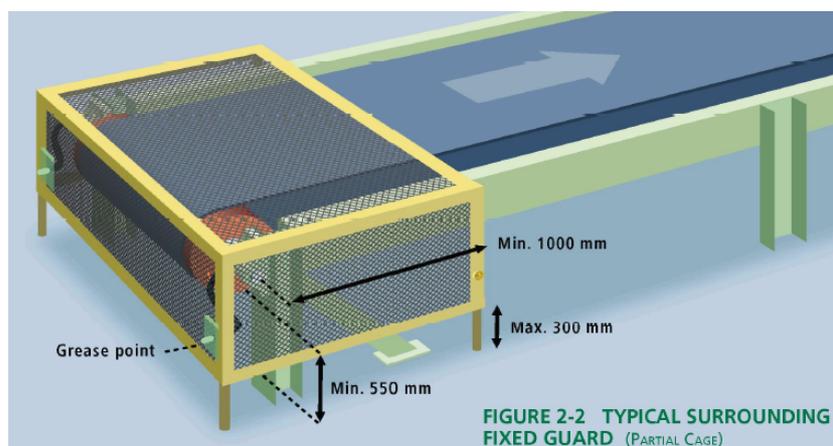


Sele 7.16. Liini tööprotsess

8. Ohutus

Ohutus peab olema tagatud konveieris ja kühvli süsteemis, kuna need on liikuvad osad ja võivad kahjustada tervist. Konveier peab vastama ohutuse standartile EN14658:2005+A1:2010. Kuna projekt ei ole lõpuni tehtud siis oli otsustatud lihtsalt nimetada ohutuse vahendid, mis saab rakendada:

- Kasutada kaitsekate selles kohas, kus asub mootor ja pingutus mehhanism, mis on näidatud seel 8.1, mis oli võetud raamatust „Best Practices on Conveyor Safety“ [17]



Sele 8.1. Kaitsekate [17]

- Kasutada avariiseiskamis-nuppu, mis on näidatud seel 8.2. Kuna süsteem on paigaldatud kohta kus juba on olemas samad nupud, siis seda nupp ühendatakse koos teistega.



Sele 8.2. Avariiseiskamis nupp [23]

Kühvli süsteemis peab olema ka kaitsekate. Avariiseiskamis nupp on üldine. Avarii olukorras vajutades avariiseiskamis nuppu terve liin jääb seisma, see tähendab et kõik mootorid, mis on pinge all jäävad seisma.

9. Majanduslik analüüs

Majanduslik analüüs on ebatäpne kuna mõnele komponendile hinnad pole võimalik leida. Oli leitud need komponentide hinnad:

DRUM MOTOR 80i	1000 \$
Matsushita MSMD041G1	350 \$
Matsushita MSME152GC	998 \$
PANASONIC A5II Series	550 \$
Festo ADNGF 12 10 PA	25 \$
Festo Vtub Terminal	432 \$
Festo CECC Controller	250 \$

Hinnad oli võetud AMAZON [18] , EBAY[19].

Projekti hind alustatakse hinnast 3630 \$.

Kokkuvõte

Selle magistritöö teema oli pakutud firma AS Metaprint poolt. Lõputöö eesmärgiks oli aerosoolpudelite loendamise protsessi automatiseerimine tootlikuse tõstmiseks. Kuna magistritöö maht on piiratud, siis lõputöös käsitleti mitte kõiki automatiseeritud liini projekteerimise aspekte. Vaatluse all oli uue konveieri liini projekteerimine ja loendamise protsessi üldkontseptsiooni kirjeldamine.

Pakkimisliini arendamise algetapil prooviti leida turul saadaval olevaid sarnaseid lahendusi, kuid kuna aerosoolpudelite põhjade komponentide valmistamine kuulub kitsasse tootmisvaldkonda, siis paraku pole õnnestunud sobivat lahendust leida. Järgmisel etapil oli valitud kolm konveieritega pakkimis liini, mille konstruktiivsed lahendused pakkusi huvi automatiseeritud pakkimisliini projekteerimisel. Seejärel oli läbi viidud nende lahenduste analüüs ja selle alusel olid valitud pakkimisliini põhilised koostisosad, komponendid.

Oli otsustatud, et liin peab sisaldama lint-konveierit. Selle konveieri eesmärgiks on transportida aerosoolpudelite põhjad ehk, komponendid kohta, kus toimub nende loendamine ja eraldamine.

Töös viidi läbi konveieri arvutused. Kõigipealt olid valitud kõik konveieri arvutamiseks nõutud komponendid. Seejärel oli valitud komponentide arvutused. Paraku pole alati võimalik hankida töökoormustele vastavaid konveieri komponente ja seetõttu tuli leppida saadaval olevatega. Konveieri projekteerimisel võeti arvesse, et see peab vastama ohutuse standardile EN14658:2005+A1:2010.

Peale konveieri komponentide kontrollarvutuste läbiviimist oli projekteeritud komponentide ümberpaigutamise süsteem. Kühvliga süsteem oli valitud sellepärast, et see lubab turvaliselt ümberpaigutada valmis sorteeritud komponente ühelt liinilt teisele liinile, samuti lubab vajadusel vahetada komponentide laadimise tsooni. See liini piirkond peab sisaldama kaitsevõret.

Loendamise ja eraldamise süsteemi projekteerimise etapil oli teostatud pneumaatikakomponentide valik ning koostatud pneumaatikaskeem, valitud juht klapp ja juht kontrollid.

Terve liini ohutus süsteem koosneb kaitsevõrest, mis asub kõige ohtlikumates kohtades ja avariiseiskamis nupust, mis on kokku ühendatud juba olemasolevate avariiseiskamis nuppudega.

Iga piirkonna juhtimiseks olid valitud vajalikud juhtimis komponendid. Samuti oli koostatud liini töö põhimõtet kirjeldav plokkskeem.

Töös oli läbiviidud ka majanduslik analüüs. Kogu konstruktsiooni arvutatud hind on ligikaudne, kuna polnud võimalik leida kõikide komponentide täpseid hindu ja projekteerimiskulud pole samuti arvesse võetud.

Liini töö kirjeldamiseks oli koostatud üksisajalik 3D mudel.

Kokkuvõtteks, lõputöö eesmärk on saavutatud, projekteeritud automaatne pakkimisliin vastab kõikidele töös esitatud nõuetele.

Summary

The topic of this Master's thesis was offered by the company AS Metaprint. A big work was done by doing project of aerosol tube bottom packing line development. The goal of the line development was to improve the quality of counting of ready to use components, because it is very important index for defining line and production efficiency. Line development was not fully done, because it might have very big volume and time costs.

For developing of line, at first a similar solutions available on the market were investigated. Because of aerosol tube bottom components production is a narrowly directed production, the suitable solutions were not found. Further were found three conveyor lines with different possible solutions, then analysis was done and line components were defined.

It was defined that line must consist of belt conveyor, scoop for moving sorted by amount components and area of line where flow of ready to use components are counted and divided.

Further a conveyor calculations were done. For conveyor calculations firstly all necessary components were founded. Then, rated performance calculations for conveyor were done and after that a matching was done to define whether components are suitable. It was decided to do thus because it is not always possible to find exactly necessary components. Conveyor matches with safety standard EN14658:2005+A1:2010.

After conveyor design and calculation was done a system for moving components from one line to another was calculated. Scoop system for moving was chosen because it allow to move components from one line to another with safety. It also allows to change the components loading area. That line area must be fenced in order to guarantee the safety requirements.

System of flow components counting and dividing was calculated more briefly. Pneumatic cylinders were chosen, a working scheme was designed, suitable control valve was chosen and suitable controller was chosen.

Line safety system consists of fences in potentially dangerous areas and emergency button, that is connected with already existing emergency system.

For every area of control a control units were chosen. All necessary control units were found for all line area control at that stage of development. Also a working process block diagram was composed.

The economic analysis was also done but it is insufficient by the reason of impossibility to find all costs of components.

A detailed 3D model was done for better understanding of the line working process. Generally, the goal of Master's thesis was achieved, the solution was developed and calculated.

Kirjanduse loetelu

1. CBW Automation

<http://www.cbwautomation.com/>

kontrollitud 20.05.2015

2. Onepacking

<http://www.onepacking.com/>

kontrollitud 20.05.2015

3. Record Packing Systems

<http://www.recordpackaging.com/>

kontrollitud 20.05.2015

4. Interroll (Schweiz) AG

<http://www.interroll.com/en/interroll-group/>

kontrollitud 20.05.2015

5. ALMVEL Engineering OÜ

<http://www.almvel.ee/en/tarvikud/konveierid.html>

kontrollitud 20.05.2015

6. FORBO Movement Systems

Siegling Transilon "Calculation Methods - Conveyor Belts"

7. Г. М. Ицкович, В. А. Киселев, С. А. Чернавский, К. Н. Боков, Б. Б.

Панич "Курсовое проектирование деталей машин"

8. Valemid

<http://electroprivod.ru/torque-cylinder-rod.htm>

kontrollitud 20.05.2015

9. Wikipedia

<http://www.wikipedia.org>

kontrollitud 20.05.2015

10. Panasonic mootorid

<http://industrial.panasonic.com/>

kontrollitud 20.05.2015

11. Laagri valik

<http://www.skf.ee>

kontrollitud 20.05.2015

12. Keerme andmed
<http://www.smetiz.ru/technical/rezba/parametri/> kontrollitud 20.05.2015
13. FESTO
<http://www.festo.com> kontrollitud 20.05.2015
14. Festo FluidSIM Pneumatic
<http://www.festo-didactic.com/> kontrollitud 20.05.2015
15. BOSCH REXROTH GROUP
<http://www.boschrexroth.com/> kontrollitud 20.05.2015
16. NPB
http://www.npb.se/products/end_handling/dynamic-end-counter kontrollitud 20.05.2015
17. „Best Practices on Conveyor Safety“
18. AMAZON
<http://www.amazon.ee> kontrollitud 20.05.2015
19. EBAY
<http://www.ebay.com> kontrollitud 20.05.2015
20. L 790 Lid Unscrambling & Stacking System with Accumulation Table
https://www.youtube.com/watch?v=Q62_p-JtHh4 kontrollitud 20.05.2015
21. Round shape products packaging machine
<https://www.youtube.com/watch?v=2UL1J0EWgkY> kontrollitud 20.05.2015
22. Packaging System for Biscuits
https://www.youtube.com/watch?v=Tq45r_XZ-4E kontrollitud 20.05.2015
23. Google
<http://www.google.com> kontrollitud 20.05.2015

24. SolidWorks 2015

<https://www.solidworks.com/>

kontrollitüd 20.05.2015

LISAD

1. Linti andmed
2. Konstant linti arvutamiseks
3. Konstant linti arvutamiseks
4. Plokkskeem
5. Koostejoonis
6. Alusraami joonis

siegling transilon

Product Data Sheet

E 3/2 U0/U/C ROUGH blue



Order information

Article number	906729
Standard delivery width	2900 mm
Longitudinal seam possible	No

Construction

Top face material	Polyester-cotton fabric
Surface structure	Fabric
Colour	Sky blue (~RAL 5015)
Surface material driving face	Polyurethane impregnation
Surface structure	Fabric
Colour	Sky blue, (RAL 5015)
Tension member material	Laterally flexible fabric of polyester warp and cotton weft
Number of fabric plies	2
Driving face weave	Staple fibre fabric with plain weave, low noise

Technical data

Total thickness	2 ± 0.1 mm
Weight	1.7 kg/m ²
k1% value relaxed (Effective pull at 1% elongation), established in line with ISO 21181:2005	2.5 N/mm
Breaking force	95 N/mm
Elongation at break longitudinal	19 %
Friction coefficient of driving face against steel panel (according internal test standard)	0.2
Friction coefficient of top face against steel panel (according internal test standard)	0.23
Permissible operating temperature	-30/+100 C°, for a short time 120 C°
Electrostatic	antistatic: the electrical resistance of an internal fabric or intermediate layer is < 3x10 ⁸ ohms. Measurement according to ISO 21178.

Minimum drum diameter

Z-splice with counter-bending	40 mm
Minimum radius fixed knife edge using Z-splice	3 mm

Properties

Lateral stiffness	Laterally flexible
Troughable	Yes
Suitable for accumulation	No
Inclined conveying	No
Suitable for knife edges	Yes

c₁ constant
(is valid for drive drum)

Transilon with underside of	V3, V5, U2, A5, E3			V1, U1, UH, U2H V2H, V5H			0, U0, NOVO, T, P		
	180°	210°	240°	180°	210°	240°	180°	210°	240°
Arc of contact β									
smooth steel drum									
dry	1.5	1.4	1.3	1.8	1.6	1.5	2.1	1.9	1.7
wet	3.7	3.2	2.9	5.0	4.0	3.0	not recommendable		
lagged drum									
dry	1.4	1.3	1.2	1.6	1.5	1.4	1.5	1.4	1.3
wet	1.8	1.6	1.5	3.7	3.2	2.9	2.1	1.9	1.7

Lisa 2 Konstantid

Transilon with underside of	V3, V5, U2, A5, E3	V1, U1, UH	0, U0, NOVO, T, P
smooth steel drum			
dry	25	50	80
wet	50	not recommendable	not recommendable
lagged drum			
dry	25	30	30
wet	30	40	50

c₃ constant
(is valid for drive drum)

Lisa 3 Konstantid

