



Markus Vilberg

**SORTEERIMISLIINI PARENDUS –
AUTOMAATSE
PAKENDAMISMOODULI
EELPROJEKT**

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Robotitehnika eriala

Juhendaja: Samo Saarts

Kaasjuhendaja: Oskar Protsin

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Markus Vilberg

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Sorteerimisliini parendus – automaatse pakendamismooduli eelprojekt

1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;

2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Markus Vilberg

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Samo Saarts

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Kaasjuhendaja Oskar Protsin

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

SISUKORD.....	3
LÜHENDID JA MÕISTED.....	5
SISSEJUHATUS	6
1. SORTTEERIMISLIINIDE ÜLEVAADE.....	7
1.1 LockDog 3 üldandmed.....	7
1.2 Sorteeritava toote kirjeldus	8
1.3 Sorteeritud toodete karbi kirjeldus.....	8
1.4 Masina tööprotsessi kirjeldus	9
1.5 Operaatori töötegevuste kirjeldus.....	10
2. TEHNOLOOGILISTE LAHENDUSTE ANALÜÜS JA VÕRDLUS	11
2.1 Arendatava süsteemi nõuded	11
2.2 Lahendus 1.....	13
2.3 Lahendus 2.....	14
2.4 Lahendus 3.....	15
2.5 Hindamismatriks.....	15
3 EELPROJEKTEERITUD SÜSTEEMI ÜLEVAADE.....	17
3.1 Ostukomponentide valiku kirjeldus	18
3.1.1 Loogikakontroller	18
3.1.2 Andurid	18
3.1.3 Toiteplokk	19
3.1.4 Surunupud ja surunuppude karp.....	19
3.1.5 Pneumaatilised ventiilid ja silindrid.....	22
3.1.6 Teipimispea.....	26
3.2 Aluse kirjeldus CAD-mudeli põhjal	26
3.3 Pneumaatilise osasüsteemi kirjeldus	28
3.4 Loogikakontrolleri programmi algoritmi kirjeldus	29
3.5 Eelprojekteeritud süsteemi hinnakalkulatsioon	31
3.5.1 Eelprojekti edasiarendamise plaan	34
KOKKUVÕTE	36
SUMMARY.....	38
VIIDATUD ALLIKAD.....	40
LISADE LOETELU	46
Lisa 1. LockDog 3 kaamerate <i>HMI</i>	47
Lisa 2. LockDog 1 kaamerate <i>HMI</i>	48
Lisa 3. Lukusti kaal	49
Lisa 4. Tühja pakkekarbi kaal	50

Lisa 5. Elektrooniline nurgamõõtja Horex 46 7564	51
Lisa 6. Terasplaadi kontaktpind pakkekarbiga	52
Lisa 7. Pakkekarbi põhi	53
Lisa 8. Terasplaadi ja pappkarbi nurga mõõtmise konstruktsioon	54
Lisa 9. Pakkekarbi liigutamise distantsid 3. lahenduse edasiarenduse alusel	55
Lisa 10. Festo DNC-50-600-PPV-A andmeleht	56
Lisa 11. Festo DNC-50-400-PPV-A andmeleht	57
Lisa 12. Festo DNC-50-100-PPV-A andmeleht	58
Lisa 13. Teipimispea teipimisprotseduuri konseptsioon.....	59
Lisa 14. Pakkekarbi liigutamise abinõu skitseering	60
Lisa 15. Edasiarendatud süsteemi kontrollpaneel	61
Lisa 16. Elektropneumaatilise osasüsteemi esialgne skeem	62

LÜHENDID JA MÕISTED

LockDog – sorteerimismasin

PLC – programmeeritav loogikakontroller; kasutatakse tööstusprotsesside automatiseerimiseks.

HMI – operaatorpaneel; visualiseerib automaatikaprotsessi, andmete kogumist, häirete logimist jm.

Dummy – spetsiifilise veaga praakdetail; kasutatakse kiireks masina funktsioonide kontrollimiseks.

Flush paigaldus – anduri paigaldusmeetod, kus anduri silindri küljed on kaetud ning ainult pealmine pind on katmata.

Non-flush paigaldus – anduri paigaldusmeetod, kus anduri pealmine pind kui ka küljed on katmata.

LPK-8 – laineappkarp.

BOM – nimekiri – nimekiri alakoostudest ja nende mõõtmetest.

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on ettevõttes AS Norma koostada veebis eksisteerivate lahenduste põhjal eelprojekt lukusteid sorteeriva automaatikaliini LockDog 3 lisaseadmele, mis käsitöö vähendamiseks teibiks karpe automaatselt. Samuti on eesmärgiks hinnata loodud süsteemi edasiarendamise võimalusi ja maksuvust.

Lõputöö autor annab töö esimeses osas ülevaate sorteerimisliinist - *CAD*-mudeli abil näidatakse sorteerimismasina üldist olemust, lisaks tutvustatakse masina andmestikku: eesmärki, võimekust ja tööpõhimõtet. Lisaks täpsustatakse operaatorite rolli masinaga opereerimisel, nende tegevusi ja töökohustusi. Püstitatakse eelneva baasinfo põhjal probleem, milleks on LockDog 3 pakkeprotsessi automatiseerimine.

Esmalt selgitatakse metoodikat, kuidas probleemile lähenetakse. Seejärel tuuakse välja nõuded, piirangud jm aspekte, mis seavad paika eelprojekti raamistiku. Autor pakub välja kolm lahendust, mida saaks rakendada automaatseks pakendamiseks ning tutvustab nende skitseeringuid. Selgitatakse hindamismatriksi hindamiskriteeriume ja nende valikut, hindamismatriksi abil selekteeritakse üks lahendus, mille põhjal jätkatakse lõputöö praktilise osaga.

Töö praktiline osa sisaldab moodulist esialgse ja üldise *CAD*-mudeli edasiarendamist. Asendiplaani abil näidatakse, kuhu süsteem paigutatakse, täpsustatakse energia- ja õhuallika asukohad. Tutvustatakse edasiarendatud *CAD*-mudelit. Lisaks selgitatakse ostukomponente, samuti kirjeldatakse mooduli tööle saamiseks tarvilikku *PLC* programmi algoritmskeemi kui ka pneumaatilise osasüsteemi skeemi.

Viimases peatükis antakse esialgne hinnakalkulatsioon moodulile – näidatakse esialgset lahenduse maksumust ning võrreldakse teiste lahendustega. Ka tuuakse välja aspektid, mille kohta tuleb veel uurida ja mida täpsustada, selleks, et projekti saaks edasi arendada ning realiseerimisele lähemale viia.

1. SORTEERIMISLIINIDE ÜLEVAADE

LockDog sorteerimisliine on kokku 4 ning on soetatud ajavahemikul 2008-2012, masinate nimetusteks LockDog, mis on inglise keelest tuletatud ning eesti keeles on selle tähendus lukusti, millele järgneb järjekorranumber vastavalt soetamise järjekorrale. Lisaks on olemas masinate identifitseerimiseks ka seerianumbrid, kuid igapäevatöös piirduakse nimetuste kasutamisega. Seerianumbrite kasutamisega piirduakse üldiselt ainult ametlikes dokumentides.

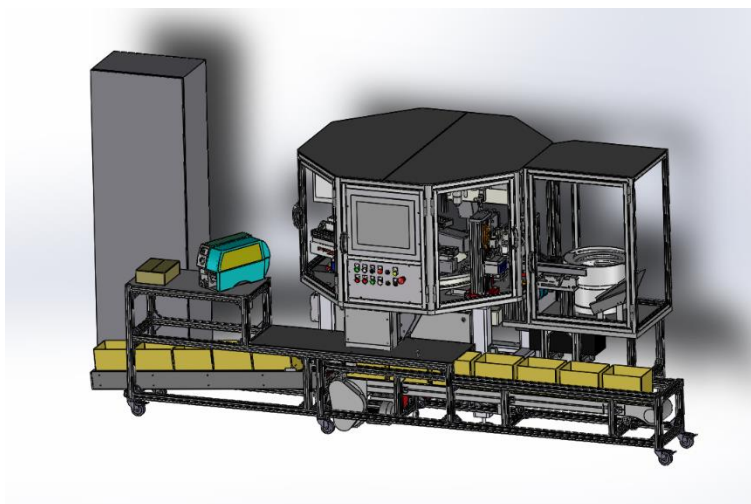
Riistvaraliselt on seadmed peaaegu identsed, LockDog-idel 2, 3 ja 4 on olemas pöörivoolul põhinev lukustit mittepurustav kõvaduse hindamise süsteem FOERSTER MAGNATEST [1]. Lukustimasinad sorteerivad kokku 4 erinevat tüüpi lukusteid: R27, R230, R200 ja R200.1. Kuna nimetatud lukustitest viimasel kolmel on kõvaduse kontrollimise nõue, siis sellest tuleneb ka vajadus kõvaduse hindamise süsteemi järele. LockDog 1-l see puudub, sest masina soetamise ajal sorteeriti ainult R27 lukustit, millel ei ole kõvaduse kontrollimise nõuet. Lisaks puudub vajadus esimesele lukustimasinale nimetatud süsteemi juurde soetada, kuna ülejäänud masinatel on see võimekus olemas.

Väikesed erinevused tulenevad ka tarkvara versioonidest ja kasutajaliidesest. Kahel uuemal masinal saab lihtsamini ülevaate kaamerate poolt tehtud piltidest, kuna kõik neli pilti kuvatakse samaaegselt ekraanile, lisaks saab kontrollitavaid parameetreid mugavamalt muuta ja jälgida (Lisa 1). Kahel vanemal masinal puudub selline võimekus, iga pilt kuvatakse ekraanile pildi tegemise hetkel ja pilt hõlmab kogu ekraani, parameetrite muutmiseks tuleb kinnitada mitmeid kinnitussõnumeid (Lisa 2).

Kuna põhjalik CAD-mudel on teostatud just LockDog 3 kohta ning teiste lukustimasinate kohta on olemas ainult üldiste mõõtmetega CAD-mudelid, siis on autor otsustanud selle masina põhjal jätkata kirjeldamist ja teostada töid, sest eelprojekti tegemisel saab võtta masina CAD-mudelist komponentidelt mõõte ilma, et peaks masinat füüsiliselt üle mõõtma.

1.1 LockDog 3 üldandmed

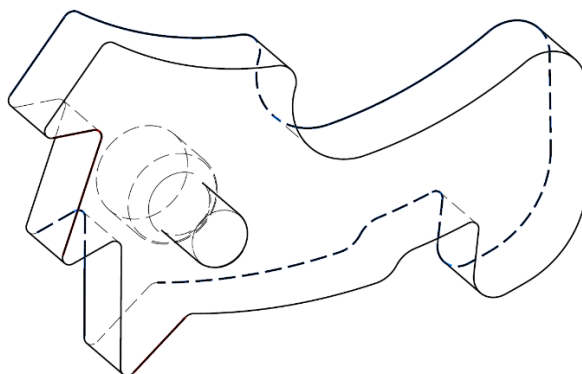
LockDog 3 sorteerimismasin on soetatud 2012. aasta septembris Saksamaalt. Masinaehitajateks on Westphal Mechanik [2], mis tegeleb masina füüsiliste osade kohaletoomise, kokkupanekuga ning PLC programmi eest, ehk on vastutav suurema osa masina toimivuse eest. HMI-, kaamerasüsteemi, HMI ja PLC ühenduste eest vastutab VisiControl [3] (Joonis 1).



Joonis 1. LockDog 3 sorteerimismasin

1.2 Sorteeritava toote kirjeldus

LockDog 3 on suuteline hetkeseisuga sorteerima 2 tüüpi lukusteid: R230 ja R200.1 (Joonis 2). Detailid toodetakse terassulamist lehtmetailist silelõikestantsimise teel. Seejärel läbivad detailid karastusprotsessi, mis suurendab detailide kõvadust. Lisaks detailid tsingitakse ja läbivad vesinikärastamise protsessi, mis tagab baasmetalli kaitse korrosiooni eest [4] ning tagab ka parema kulumiskindluse mehaaniliste liigutuste puhul [5].



Joonis 2. Lukusti R230 kolmedimensiooniline skitseering

1.3 Sorteeritud toodete karbi kirjeldus

LPK-8 karp, mida kasutatakse sorteeritud toodangu ladustamiseks, on mõõtmetega 256x192x80 mm (Joonis 3). Karp on valmistatud papist ning konveierlindile paigutamise hetkeks on karbi põhi juba eelnevalt operaatorite poolt teibitud. Sorteerimismasin ladustab karpi 1000 detaili. Karbi pakendamiseks kasutatakse 50 mm laiusega teipi.



Joonis 3. Avatud kaantega LPK-8 pakkekarp

1.4 Masina tööprotsessi kirjeldus

Masinal on režiimilüliti, millega saab valida kahe režiimi vahel. Esimene režiim on manuaalrežiim, teine on automaatrežiim. Manuaalrežiimis start nuppu vajutades täidetakse ainult üks programmikäsklus, automaatrežiimis jätkab masin ettenähtud programmikäskluste järgimist automaatselt.

Start nuppu vajutades käivitub komponentide etteandmine - detailid liigutatakse punkrist vibropunkrisse lintkonveieriga, kus vibratsiooni abil suunatakse detailid mööda rada masina haaratsini.

Haarats tõstab detaili rajalt üles, keerab 180° ümber oma telje ning asetab detaili masina keskmes olevale ringlauale tühja pessa. Seejärel liigub ringlaud ühe astme võrra edasi ning komponendi asetamise protsess kordub. Pesades olevad detailid liiguvad kaamerate eest läbi. Jõudes ringlaua lõppu, asetatakse detail teise haaratsiga kõvadust hindava seadme pessa. Mõõtmistulemused edastatakse PLC-sse, mis hindab, kas detail on praak või vastab nõuetele ning klapiga suunatakse detail kas NOK-kasti või pakkekarp. Ühe täistsükli aeg on ligikaudu 0,75 s, minutis suudetakse sorteerida 80 detaili.

Heakskiidetud detailid sorteeritakse šahti hoiule, mille luugid avanevad pakkekarki kohal, kui šahtis on 900 detaili. Ülejäänud 100 tk sorteeritakse otse pakkekarp. Pakkekarki täitumisel sulguvad šahti luugid, käivitub konveierlint, mis liigutab täitunud karki järgnevale, diagonaalis maa poole kaldu, konveierlindile, kus karp vajub raskusjõu mõjul konveierlindi lõppu.

1.5 Operaatori töötegevuste kirjeldus

Operaatoritel on märkimisväärne roll masina töös hoidmises. Ühes vahetuses töötab 2 operaatorit, vahetuse kestvus on 8 tundi. Enne masina töö alustamist kontrollitakse masina korrektset funktsioneerimist *dummy* testiga, mille käigus sisestatakse masinasse defektseid komponente, et näha, kas need sorteeritakse korrektselt välja.

Kui masin toimib ootuspäraselt, laetakse masina eelpunkrisse uus partii ja valitakse masina *HMI* paneelilt vastavalt lukusti tüübile sobiv programm ning käivitatakse masin.

Aeg-ajalt teavitab masin vajadusest tühjendada *NOK* kasti, millega tegelevad operaatorid. Samuti väljutab masin *OK* kasti konveierliinile selle täitumisel. Operaatorid tõstavad kasti konveierliinilt lauale, teibivad kasti kaaned käeshoitava pakkeliini dosaatoriga kinni ning valmis kast asetatakse alusele, kuhu see jääb edasi transportimist ootama.

Olemasoleva süsteemi puuduseks võib olla operaatoritel karpaalkanali sündroomi tekkimise või konditsiooni süvenemise oht, arvestades, et kõik selle sorteerimisliini operaatorid on naissoost ning naisterahvastel on suurem oht nimetatud konditsiooni kujunemiseks ja pakkeliini dosaatori käsitlemise puhul on tegu korduva liigutusega [6]. Kuid kuna autoril puudub ülevaade operaatorite igapäevasest dosaatorite kasutusharjumustest, siis on eelnimetatud sündroomi tekkimise või süvenemise risk teadmata. Samuti on olemas ka oht avatud karp konveierlindilt lauale tõstes maha pillata nii, et detailid kukuvad karbist välja põrandale või teise karpi.

2. TEHNOLOOGILISTE LAHENDUSTE ANALÜÜS JA VÕRDLUS

Loodav süsteem peaks olema lihtne ja töökindel. Selle tõttu välditakse mootorite kui ka automaatkonveierite kasutamist ja pigem kasutatakse suruõhul baseeruvaid pneumaatilalahendusi ning neidki minimaalselt, et vältida suuremat sõltuvust mehhaaniliselt liigutatavatest osadest. Süsteemi teipimispea on statsionaarne ning selle kõrgust ei ole võimalik reguleerida, kuna pakendatakse ainult LPK-8 pakkekarpi.

2.1 Arendatava süsteemi nõuded

AS Norma ainuke nõue on, et kavandatav süsteem oleks eraldiseisev lukustimasinast. See tähendab, et pakke- ja lukustimasin omavahel signaale ei vaheta, vaid pakkemasina käsklused tulevad anduritest enda PLC-sse. Nõude põhjused on selgitatud järgnevalt:

- Lukustimasina osa PLC signaale on maaletooja poolt lukustatud ning tavakasutajale peidetud, et neid ei saaks modifitseerida, vältimaks masina programmi rikkumist.
- Masinaehitajad ei pruugi enam modifitseeritud masinatele pakkuda teenindusvõimalust.
- Masina dokumentatsioon tuleks ringi vormistada.

Lahenduse projekteerimisel tuleb ka silmas pidada aspekte, mis piiravad lahenduse kujundamist:

- Ajaline piirang lahenduse projekteerimiseks – kui põhjalikult on võimalik lahendust koostada.
- Eelarve - projekteeritud lahendus peaks olema odavam, kui eksisteerivad samaväärsed lahendused, et see end ära tasuks.
- Lahenduse keerulisus - kui lihtsasti on võimalik lahendust teostada; kas on tarvis teha muudatusi masina konstruktsioonis.

Teades eelnevalt, et masina töösükkel ühe detaili sorteerimiseks on ~0,75 sekundit ning karp mahutab 1000 detaili, saab järgneva valemiga välja arvutada, kui tihti väljutab masin karbi (1):

$$t_k = tn, \quad (1)$$

kus t_k - karbi täitumiseni kuluv aeg, s,
 t - ühe tsükli jaoks kuluv aeg, s,
 n - detailide arv.

$$t_k = 0,75 \cdot 1000 = 750s = 12,5\text{min}$$

Kahe karbi täitumise ajavahemik on arvutuste põhjal 12,5 min. Sellest saab järeldada, et pakkimismoodul ei pea väga tihti töötama ja kiirelt toimima, kui võrrelda teise lahenduse võimekuse/suutlikkusega, mis suudab kuni 15 karpi minutis pakendada [7].

Sorteerimiseks kasutatakse LPK-8 karpe. Tuleb silmas pidada, et karbid mõõtmel kehtivad kinnise karbi puhul, mis tähendab, et pakendamislahenduse projekteerimiseks tuleb välja arvutada ülevalt lahtise karbi mõõtmel, et karp mahuks liikuma ning ei jääks kinni. Kuna põhja mõõtmeks suletud asendis on 256x192, tegu on risttahukaga ning karp avaneb vertikaalselt piki telgjoont ülespoole, saab arvutada uue kõrguse, jagades karbi laiuse kahega ning saadud väärtusele liita suletud karbi kõrguse (2).

$$h_2 = \frac{b}{2} + h_1, \quad (2)$$

kus h_2 - avatud kaantega karbi kõrgus, mm,
 b - karbi laius, mm,
 h_1 - suletud karbi kõrgus, mm.

$$h_2 = \frac{192}{2} + 80 = 176$$

Samuti tuleb jälgida, et kavandatav süsteem ei oleks mõõtmel pikk, sest siis hakkab süsteem segama operaatorite liikumisruumi, samuti ka aluste liigutamist. Mõõdulindiga mõõtes on masina konveierlindist äärmise seinani 3,12 m. Märkimata ei saa ka jätta, et pärast karbi täitumist jäävad karbi kaaned avatud asendisse. Need tuleb enne pakkeprotseduuri kavandatava süsteemi poolt sulgeda. Eelnevast arvutuskäigust (2) saab ka tuletada, et kaane enda kõrgus tuleb h_2 ja h_1 vahest (2) (3).

$$h_3 = h_2 - h_1, \quad (3)$$

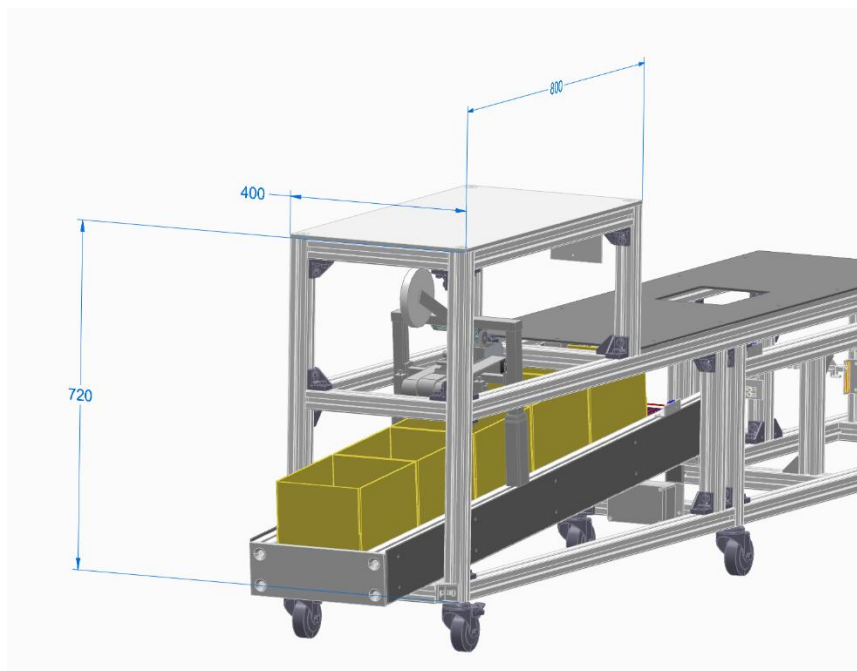
kus h_3 - pakkekarbi kaane kõrgus, mm,
 h_2 - avatud kaantega karbi kõrgus, mm,
 h_1 - suletud karbi kõrgus, mm.

$$h_3 = 176 - 80 = 96$$

2.2 Lahendus 1

Esimest lahendust iseloomustab ökonoomne ruumikasutus. Joonise 4 kohaselt asuvad teipimis-, sulgemissüsteem ja teipimispea konveieri kohal oleva konstruktsiooni sees. Pneumaatilised silindrid paki peatamiseks sulgemissüsteemi juures ja andurid paki tuvastamiseks asetseksid konveieri peal. Lisaks iseloomustab lahendust lihtsus – puudub vajadus suurema mooduli loomiseks. Selle arvelt väheneks ka mooduli maksumus. Samuti tuleb märkida, et ohutuse mõistes on hiljem kergem turvaklaasi lahendust külge modelleerida.

Puuduste poole pealt tuleb lukustimasina konveierlint ümber ehitada, et kohaldada muutusteks. Konveierlinti tuleb luua avad, et võimaldada teipimispea tugitalasid, pneumosilindreid ja andureid kinnitada. Lisaks puudub autoril hinnang, kas konveierlint taluks lisaraskust. Samuti pole süsteemi hooldamine inimesele ergonoomiline – kitsas ruum teeb tõrkeotsingu ja süsteemi komponentide vahetamise keerulisemaks. Ka tuleks uurida, kas karp liiguks raskusjõu mõjul pärast stopperite eemaldumist konveieri lõppu välja või tuleb luua lahendus, mis abistaks sellega.

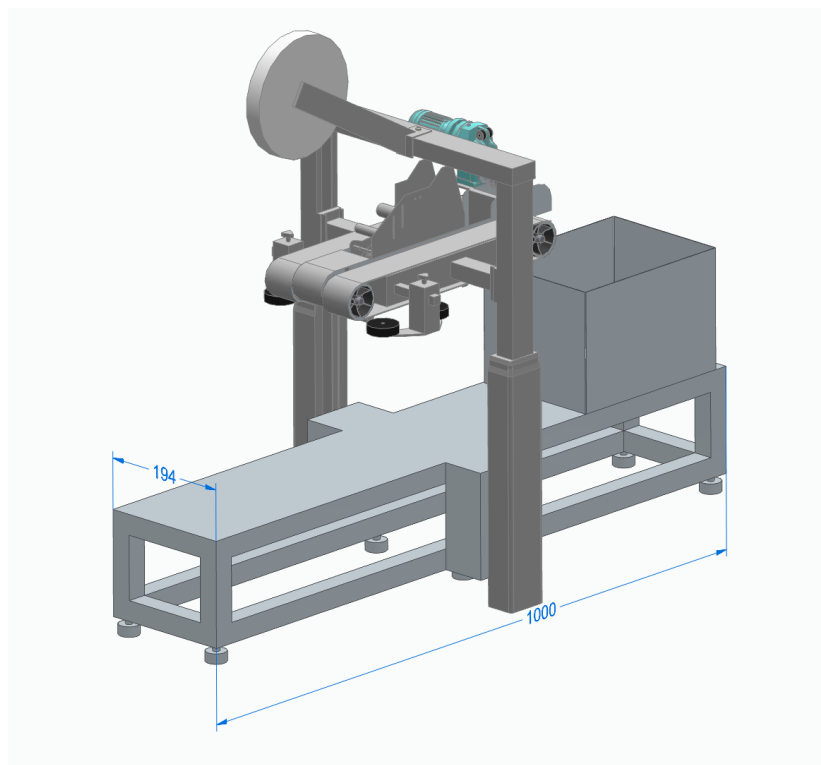


Joonis 4. Lahendus 1 eskiis

2.3 Lahendus 2

Teine lahendus on võrreldes esimesega märkimisväärselt erinev. Joonise 5 kohaselt on lahenduse keskmeks pärast konveierit asuv metallist alus, mille külge on kinnitatud teipimispea, andurid ja pneumosilindrid. Pärast konveierilt alusele jõudmist liigutaks pneumosilinder anduritelt saadud signaali saades karbi mööda alust teipimispeani, sealt omakorda kättesaamisalani. Selle süsteemi suureks plussiks on see, et konveierilt tuleb ainult eemaldada konveieri lõpus olev plaat, et karp saaks liikuda alusele. Lahendust saaks vajadusel kergelt eemaldada ja muuta ilma, et lukustimasina algne konstruktsioon väga muutuks.

Puudusteks võib lugeda suuremaid kulusid aluse ehitamise näol, aluse valmistamismaterjali valikust sõltub selle maksumus. Teiseks on lahendus mõõtmetelt pikk ning tõenäoliselt hakkab segama personali, kes seda ala liikumiseks kasutavad. Lahendust saab disainida nii, et komponentide asetust saab muuta, aga karbi liigutamiseks vajalikke pneumosilindreid on keeruline paigaldada alusele nii, et need ei jääks karbile ette.

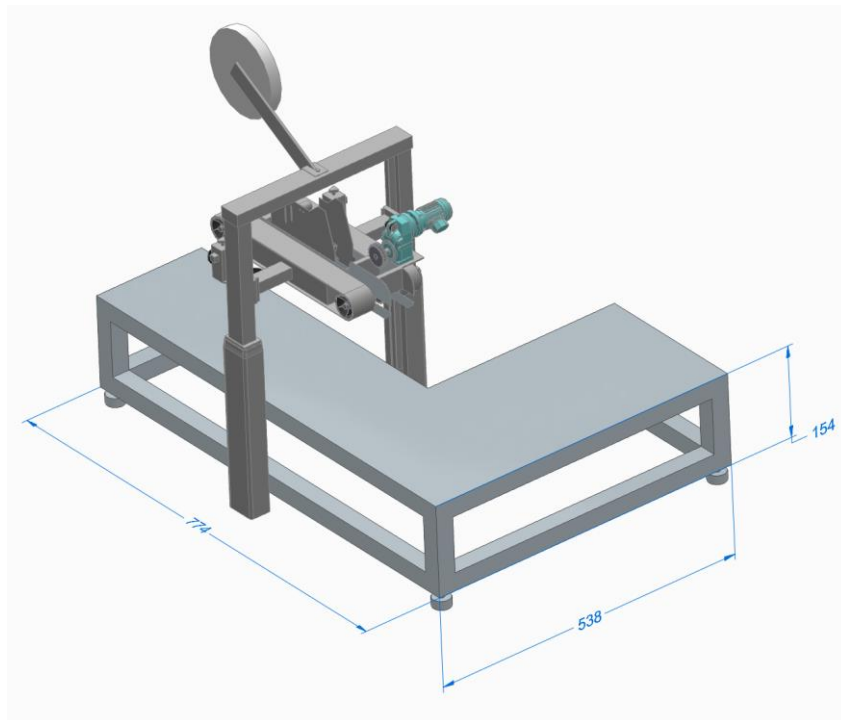


Joonis 5. Lahendus 2 eskis

2.4 Lahendus 3

Nii nagu teisel lahendusel, on ka joonisel 6 kujutatud 3. lahenduse omadusteks asumine eraldi lukustimasinast ning pakkealuse olemasolu. Kuid selle lahenduse puhul on alus kavandatud mõõtmel laiemale, mitte pikemale - selle printsiibi järgimine lahendaks liikumisruumi probleemi. Karp suunatakse pneumosilindri abil pärast alusele jõudmist paremale, kust omakorda järgnev silinder suunaks karbi teipimispea alt läbi. Samuti saab heaks küljeks tuua ka selle, et sorteerimismasina konveierilt peab ainult kätte eemaldama. Lahenduse plussiks lisab autor veel, et silindreid on lihtsam paigutada nii, et need ei jääks karbile ette.

Puuduseks oleks disaini muutumine keerulisemaks, võrreldes teiste lahendustega, kuna 3. lahendusel on suurem hulk liikuvaid osi ning protsess algusest lõpuni pikem. Samuti tuleb kasutada rohkem pneumosilindreid.



Joonis 6. Lahendus 3 eskiis

2.5 Hindamismatriks

Hindamismatriks aitab paika seatud kriteeriumide alusel lahendusi hinnata. Tänu sellele on võimalik valimi hulgast parim lahendus välja filtreerida. Tabelis 1 kujutatud matriksi hindamiskaala on 1 kuni 5, kus 5 tähistab parimat ning 1 nõrgimat tulemust. Kriteeriumid valiti põhiliste karakteristikute alusel, mis iseloomustavad pakkelahendusi. Tabeli 1 põhjal osutus punktide järgi valituks lahendus 3.

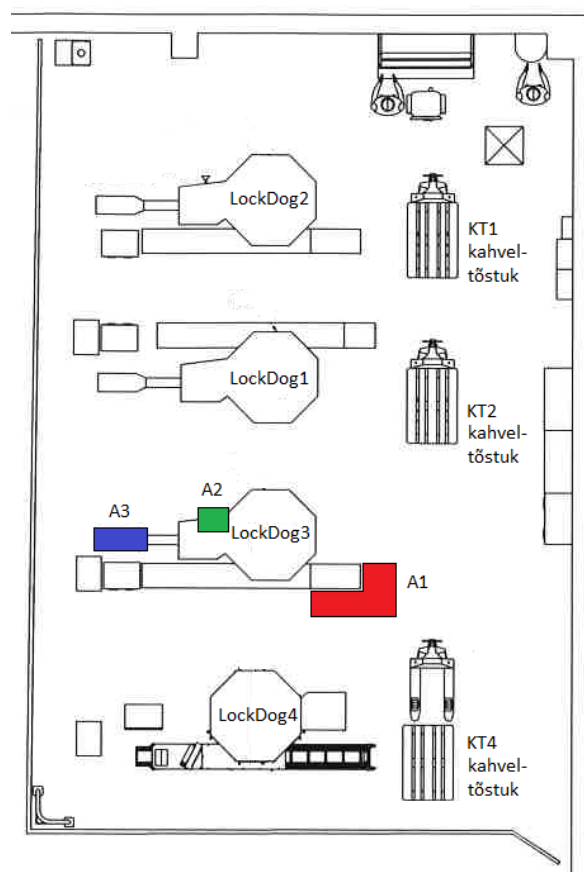
Tabel 1. Lahenduste hindamistabel

Kriteerium	Lahendus 1	Lahendus 2	Lahendus 3
Eeldatav maksumus	5	4	4
Lahenduse eraldiseisvus	1	5	5
Lahenduse pindala	5	4	4
Lahenduse pikkus	5	2	4
Projekteerimise keerukus	4	4	4
Ostukomponentide kogus	5	4	4
Lahenduse tootmise keerukus	4	4	4
Püstitatud ülesande täitmine	4	4	5
Vajadus sorteerimismasina osi modifitseerida	2	5	5
Punktid kokku	35	36	39

3 EELPROJEKTEERITUD SÜSTEEMI ÜLEVAADE

Asendiplaan annab ülevaate seadmete paigutusest tehases - see sisaldab üldist skeemi, mis näitab, kus asuvad erinevad masinad/tööjaamad, käigud ja ladustamiskohad. Asendiplaan aitab töötajatel mõista tehase struktuuri, samuti on see oluline ohutuse ja logistika seisukohalt. Lisaks on see abivahendiks uute seadmete soetamisel, et näha, kas ostetav seade mahub ruumi.

Joonisel 7 kujutatud asendiplaanil on punasega märgitud ala A1, kuhu pakkelahendus asetatakse. Pneumaatiline osasüsteem on ühendatud lukustimasina suruõhuallikasse; A2-ga on tähistatud suruõhuallikas. Elektriline osasüsteem saab on ühendatud lukustimasina elektriallikasse, mis on tähistatud A3-ga, ning saab toitepinge 230 VAC. Antud joonist tuli modifitseerida – KT3 kahveltõstuk on plaanilt eemaldatud, et teha ruumi pakkelahendusele.



Joonis 7. Modifitseeritud IIP-sorteerimisala asendiplaan

3.1 Ostukomponentide valiku kirjeldus

Ostukomponentide valikul lähtus autor nende universaalsusest, kasutaja- ja paigaldamisõbralikkusest, samuti ka tootjabrändi usaldusväärsusest. Autor lisab, et ostukomponentide nimekiri ei ole lõplik ning võib muutuda, kui leitakse odavamaid või funktsionaalsemaid komponente, kui projekt peaks olulisel määral muutuma, või kui selgub, et komponentide tarneaegadega esineb probleeme.

3.1.1 Loogikakontroller

Ettevõtte laoseisu ja süsteemi nõuete põhjal valiti programmeeritav kontroller, mis vastab joonisel 8 kujutatud Siemens Logo! 8.1 6ED1052-1CC08-0BA0 mudelile. Selle kontrolleri programmeerimiseks kasutatakse Siemens Logo Soft Comfort tarkvara, mis võimaldab programme kirjutada nii funktsionaalplokkskeemi kui ka kontaktskeemi programmeerimiskeeles. Kontrolleril on 8 sisendit ja 4 väljundit ning see toimib 24 V alalisvoolul. [8] PLC ülesandeks on hallata süsteemi ehk teiste komponentide tööd ja sidusust.



Joonis 8. Siemens Logo! 8.1 6ED1052-1CC08-0BA0 loogikakontroller [8]

3.1.2 Andurid

Süsteemis kasutatakse ka mahtuvusandureid, mis on kontrolleri sisenditeks. Nende ülesandeks on tuvastada LPK-8 karbi jõudmist pakkimisalasse ning edasta signaal loogikakontrollerisse, et algaks pakkimine. Süsteemi valiti vastavalt töötamisdistantsi ja toitepinge parameetrite järgi joonisel 9 näidatud SICK CM12-08EBP-KC1 mahtuvusandur, mille toitepinge väärtus $U = 10-36$ VDC, töötamisdistants on *flush* paigaldusega 0,5 mm kuni 4 mm ning *non-flush* paigaldusega 0,5 mm kuni 8 mm [9].



Joonis 9. SICK CM12-08EBP-KC1 mahtuvusandur [9]

3.1.3 Toiteplokk

Joonisel 10 on kujutatud Phoenix Contact-i QUINT-PS/1AC/24DC/10 2866763 toiteplokk. Nimetatud toiteplokk muudab sisend 230 V vahelduvvoolu süsteemi komponentide jaoks ümber 24 V alalisvooluks [10], mida nii PLC kui ka andurid tööks vajavad. Nimivooluks on 10 A [10].



Joonis 10. Phoenix Contact QUINT-PS 2866763 toiteplokk [10]

3.1.4 Surunupud ja surunuppude karp

Surunuppudest osutusid valituks Schneideri XB5 seeria surunupud. Nuppude toitepinge on 24 VDC [11] [12] [13], et ühilduda toiteplokkiga. Nuppe on kokku 3 ning need on erinevate värvidega: punane, tootekoodiga XB5AW34B5 (Joonis 11), mis funktsioneerib stopp-nupuna, seejärel roheline, tootekoodiga XB5AW33B5 mis toimib start-nupuna ning oranži värvi nupp, tootekoodiga XB5AW35B5, mille vajutamisel toimub süsteemi lähtestamine. Standardse 22 mm suurusega sobituvad nad nii Schneideri kui ka teiste tootjate kontrollpaneelidesse või nupukarpidesse.



Joonis 11. Schneider XB5 1NO+1NC punane 22 mm XB5AW34B5 surunupp [14]

Selektorlülitiks valiti Schneider XB5 1-0-2 NO XB5AD33 (Joonis 12) ning selle eesmärk on lülitada süsteemi kahe režiimi vahel: töörežiim ning „õhk väljas“ režiim, kus siis esimese puhul toimib süsteem autonoomselt ning teise puhul pneumosilindritesse õhku ei suunata.



Joonis 12. Schneider XB5 1-0-2 NO XB5AD33 selektorlüliti [15]

Kontaktiplokkide hulgast sai valitud Schneider 1NO ZBE101 kontaktiplokk (Joonis 13), mis registreerib surunupu vajutusi ning sulgeb vooluringi. Nimetatud kontaktiplokk on normaalolekus avatud, mis sobib kõikide valitud surunuppudega kui ka selektorlülitiga. 1 Schneider 1NC ZBE102 normaalolekus suletud kontaktiplokk tuleb lisada hädastopile – hädastopid kasutavad üldjuhul normaalolekus suletud kontaktiplokki, kuna turvalisem on vooluring katkestada.



Joonis 13. Schneider XB4/XB5 1NO ZBE101 kontaktiplokk [16]

Hädastopiks valiti joonisel 14 kujutatud Schneider-i XB5 XALK178E, mida kasutatakse hädaolukorras vooluahela katkestamiseks. See hädastopp on eraldi karbis ning on ühilduv surunuppude 22 mm standardiga, ehk hädastopi seennuppu saab välja vahetada sama seeria nuppude vastu. Hädastopp vajab toimimiseks 240 VAC [17].



Joonis 14. Schneider XB5 XALK178E hädastopp [18]

Surunuppude karbiks sai valitud Schneider XB5 XALD04 (Joonis 15). Karbi eespaneelil on avad, kuhu kinnitatakse surunupud, karbi sisse paigutatakse vajalike signaalide edastamiseks neli kontaktiplokki.



Joonis 15. Schneider XB5 XALD04 karp 4 nupule [19]

3.1.5 Pneumaatilised ventiilid ja silindrid

Enne pneumaatiliste silindrite valimist tuleb välja arvutada detailidega pakkekarbi ja terasest valmistatud aluse vaheline seisuhõõrdejõud, mis tuleb ületada, et karp liikuma hakkaks. Selle arvutuskäigu abil saame informatsiooni, mille abil valida sobilik silinder, mis suudaks hõõrdejõu ületada. Hõõrdejõu arvutamiseks on meil kõigepealt tarvis leida täidetud karbi raskusjõud. Teades, et lukusti kaalub 8,35 g (Lisa 3), pakkekarp 111,54 g (Lisa 4) ning et lukusteid on karbis 1000 tükki, saame välja arvutada raskusjõu lähtudes raskusjõu üldvalemist [20] (4).

$$F = mg, \quad (4)$$

kus F – karbi raskusjõud, N,
 m – karbi mass, kg,
 g – raskusjõutegur, N/kg.

$$F = \frac{(8,35 \cdot 1000) + 111,54}{1000} \cdot 9,8 = 8,46154 \cdot 9,8 = 82,923092 \approx 82,93$$

Järgnevalt on tarvis teada terase ja papi vahelist staatilist hõõrdetegurit. Autor ei leidnud veebipõhiseid informatsiooniallikaid, milles oleks see tegur välja toodud, seepärast viidi läbi katsetus, et seda mõõta. Selleks, et staatilist hõõrdetegurit mõõta, tuleb objektid, mille omavahelist hõõrdetegurit soovitakse teada, asetada kokku nii, et üks asub teise peal ning kallutada alumist objekti, kuni ülemine objekt hakkab libisema [21]. Staatiline hõõrdetegur on võrdne aluse ja objektide vahelise nurga tangensiga, mille all hakkab objekt libisema [21].

Katsetamiseks kasutati C60 terasplaati, täidetud komponentidega pakkekarpi, elektroonilist nurgamõõtjat (Lisa 5), graniidist mõõtelauda ning kahte metallist toetuspinda.

Kuna mõõdetav hõõrdetegur on sõltuv mitmetest faktoritest, mille hulka kuuluvad katsetatavate pindade pinnadefektid ja teiste materjalide olemasolu katsetavate pindade vahel, siis täpsustatakse objektide olemust. Terasplaat on mõõtmega 340x180x2 ning plaat on stantsimisõlist paberiga kuivatatud ning selle pinnal esineb mitmeid pinnadefekte – plaadi keskosas on täkkeid ja lihvimisjälgi ning servas, kus on materjali lõigatud, esineb kraat (Lisa 6), kuid kuna pakk ei asetatud katsetuste ajal plaadi defektsele servale, siis see ei mõjutanud katsete tulemusi. Samuti ei ole terasplaat tasapinnaline ning on natuke paindes. Pakkekarbi põhja keskele paralleelsest pikkusteljega on asetatud 50 mm laiune kileteip ühest põhja karbi servast teiseni (Lisa 7).

Esimene metallist toetuspind asetati vastu seina ning terasplaat omakorda selle vastu. Graniidist laua peal oleva terasplaadi parempoolsesse otsa asetati elektrooniline nurgamõõtja, käega hoiti lisades näidatud pildi järgi vasakpoolset terasplaadi serva all, et plaat ei kõiguks ning seejärel nulliti nurgamõõtja. Teine metalltoetuspind asetati terasplaadi parempoolse serva juures alla, et saaks plaadi nurka reguleerida liigutades nimetatud toetuspinda edasi või tagasi (Lisa 8). Viimasena asetati pakkekarp plaadile.

Katse käigus liigutati parempoolset toetuspinda ühtlaselt aeglase kiirusega seina poole, mille tõttu suurenes objektide ja aluspinna vaheline nurk. Metallist toetuspinna liigutamine lõpetati, kui pakkekarp hakkas mööda terasplaati alla libisema. Seejärel fikseeriti tulemus, mida kuvas nurgamõõtja. Katsetusi sooritati kokku 5 korda, mille põhjal arvutati keskmine väärtus, mida kasutatakse järgnevas, staatilise hõõrdeteguri, arvutuskäigus. Katses saadud nurkade tulemused on esitatud tabelis 2.

Tabel 2. Täidetud pappkarbi ja C60 terase libisemisnurk aluspinna suhtes

Katse number	Mõõdetud tulemus, °
1	11,15
2	10,85
3	11,20
4	10,75
5	10,85
Mõõdetud tulemuste keskmine väärtus	10,96

Järgnevalt on tarvis arvutada staatiline hõõrdetegur μ . Selleks kasutatakse taandatud staatilise hõõrdeteguri valemit [20] (5):

$$\tan(\alpha) = \mu, \quad (5)$$

kus α – aluse ja katseobjektide vaheline nurk, °

μ – terase ja papi vaheline hõõrdetegur.

$$\tan(10,96) \approx 0,19$$

Valemi 5 alusel on terase ja papi vaheline staatiline hõõrdetegur $\mu = 0,19$, lähtudes, et pakkekarp seisab stabiilselt alusel, siis on karbi raskusjõud ainuke toereaktsioon, mis karbi ja aluse vahel toimub. See tähendab, et karbi raskusjõu saab võrdsustada toereaktsioonjõuga $F = N$ ning seejärel arvutada staatilise hõõrdejõu F_f järgneva valemiga [22] (6):

$$F_f = \mu N, \quad (6)$$

kus F_f – staatiline hõõrdejõud, N,

μ – terase ja papi vaheline hõõrdetegur,

N – toereaktsioonjõud, N.

$$F_f = 0,19 \cdot 82,93 = 15,7567 \approx 15,76$$

Kokku tuleb süsteemi 3 pneumaatilist silindrit. Esimese 2 silindri puhul on oluline kolvi pikkus - CAD-mudeli põhjal peab esimese silindri kolvi pikkus olema vähemalt 344 mm (Lisa 9), et lükata karp teisele poole alust vastu piiret. Esimeseks silindriks valiti Festo DNC-50-400-PPV-A (Joonis 16). Andmelehe põhjal on selle kolvi pikkuseks 400 mm ning kolvi väljalükkejõud 1178 N (Lisa 10) [23]. Hõõrdejõu ületamise ja kolvi pikkuse nõuded on täidetud.

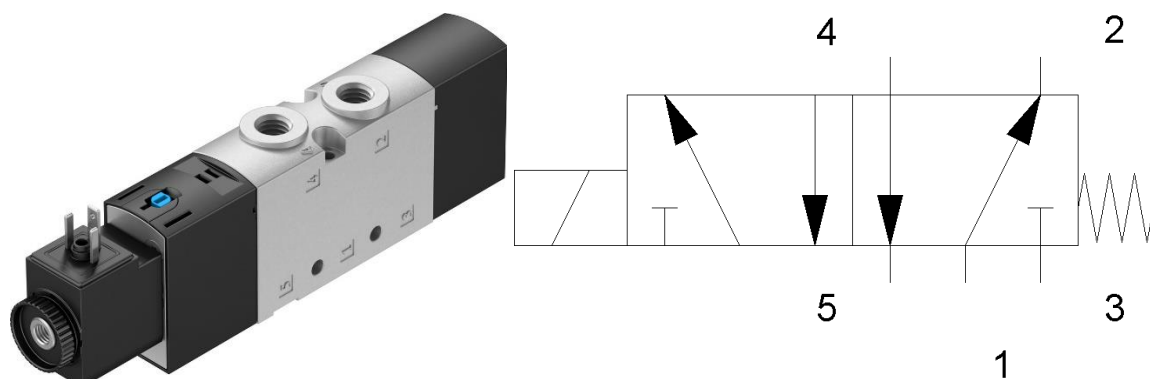


Joonis 16. Pneumosilinder Festo DNC-50-400-PPV-A [23]

Teiseks silindriks valiti Festo DNC-50-600-PPV-A. CAD-mudeli põhjal peab teise silindri kolvi pikkus olema vähemalt 595,55 mm (Lisa 9), et lükata pakkekarp teipimispea alt läbi. Lisa 11 esitatud andmelehe järgi on selle silindri kolvi pikkuseks 600 mm ning kolvi väljalükkejõud 1178 N [24].

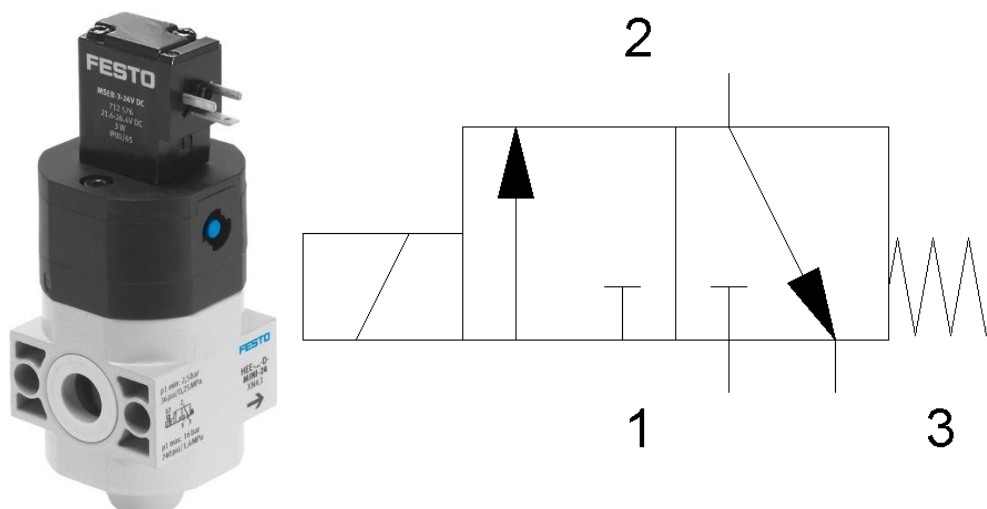
Kolmandaks silindriks sai valitud Festo DNC-50-100-PPV-A. Lisa 12 andmelehe järgi on selle silindri kolvi pikkus 100 mm [25]. Pneumosilinder paigaldatakse ja kinnitatakse teipimispea ette relsi peale ning silinder lükkab alla pakkekarbi tagumist kaant. Silindri asukohta saab vajadusel relsi peal üles-alla suunas muuta.

Silindreid juhivad pneumaatilised suunaventiilid. Süsteemis on tarvis kasutada elektriliselt juhitatavat 5/2 ventiili, et tagada silindri kolvide edasi ja tagasi liikumine vastavalt õhu pealevoolu ja äravoolu puhul. Antud ülesande täitmiseks kasutatakse kõikidel silindritel Festo VUVS-L20-M52-MD-G18-F7-1C1 suunaventiili (Joonis 17). Vedrud tsentreerivad ventiili parempoolsesse asendisse, kui ventiili juhtiv elektromagnet ei ole tööle rakendatud.



Joonis 17. Festo VUVS-L20-M52-MD-G18-F7-1C1 elektriliselt juhitatav suunaventiil [26] ja selle põhimõtteline skeem [26]

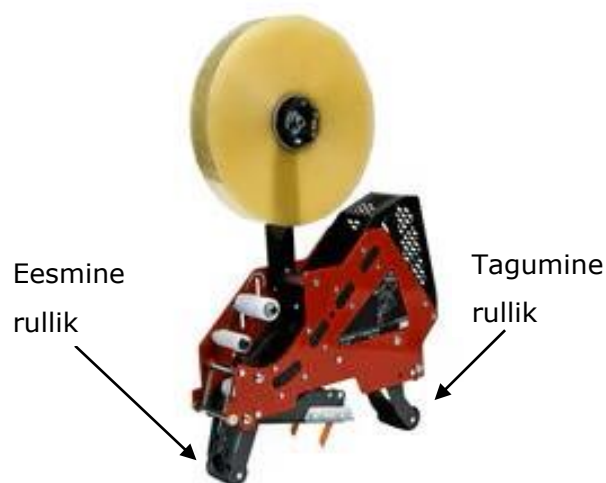
Süsteemis on vaja kasutada elektriliselt juhitatavat 3/2 sulgventiili. Pneumaatiline sulgventiil juhib suunaventiile, kontrollides nende õhu pealevoolu. Joonisel 18 kujutatud sulgventiili kasutatakse süsteemis turvalisuse eesmärgil, et pneumosilindrid ei saaks liikuda, kui personalil on tarvis süsteemi liikuvate osade lähedusse minna.



Joonis 18. Festo HEE-D-MINI-24 sulgventiil [27] ja selle põhimõtteline skeem [27]

3.1.6 Teipimispea

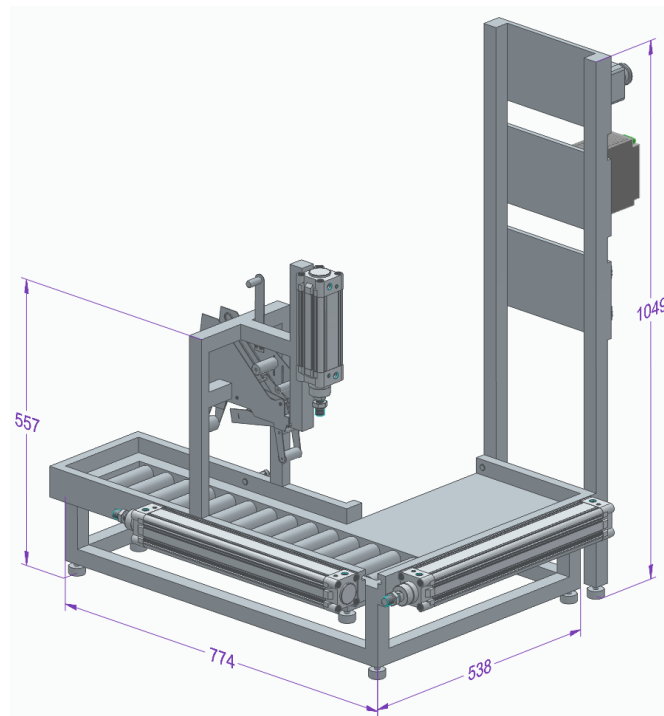
Joonisel 19 on kujutatud 3M AccuGlide teipimispea, mis kasutab 50 mm laiust teipimisrulli. Teipimispea koosneb ainult mehaanilistest osadest. Karp, mis liigub teipimispea alt läbi, lükkab üles teipimispea eesmise rulliku, pärast mida hakkab teipimismehhanism juhtima teipi pakkekarbi peale. Karbi edasi liikumisel lükatakse ka tagumine rullik üles. Eesmise rulliku alla liikumisel lõikavad teipimissüsteemi terad teibi läbi. Tagumine rullik suunab paki küljes oleva äralõigatud teibi otsa, mis ulatub üle paki ääre, karbi küljele. Lisa 13 näitab, kuidas pakkekarbi pakkimisprotsess välja näeb [28]. Kuna joonisel 19 näidatud teipimispeast ei olnud saadaval CAD-mudelit, kasutas autor eelprojekti edasiarendatud süsteemi CAD-mudelis teipimispea näitamiseks teist, veebis leiduvat lihtsustatud AccuGlide 2+ 3M-Matic, teipimispead [29], kuid kui saadakse ligipääs 3M AccuGlide 50mm teipimispea CAD-mudelile, siis asendatakse praegune näidis sellega.



Joonis 19. 3M AccuGlide 50mm teipimispea [30]

3.2 Aluse kirjeldus CAD-mudeli põhjal

Joonisel 20 on kujutatud aluse konstruktsioon CAD-mudelina, konstruktsioon valmistatakse teras S235-st. Aluse koostu joonis mõõtmetega on esitatud eraldi PDF-failina.



Joonis 20. Edasiarendatud süsteemi CAD-mudel

Pakkealus toetub 6 metallalusega tugijalale. Tugijalad on omavahel ühendatud alumises servas toetustaladega, et lisada konstruktsioonile jäikust ning tugevust. Pakkealuse ülemist serva ümbritseb paki piirdesein, et karp ei kukuks aluse pealt maha. Piirdeseina funktsiooniks on ka toetada 2 pneumaatilist silindrit.

Rullikud sai lisatud alusele, et vähendada kontaktpinda aluse ning pakkekarbi vahel. Samuti vähendavad rullikud rullikute ja liigutatava eseme vahelist hõõrdejõudu [31], mille tõttu on vähem jõudu vaja, et objekti liigutada. Kui eelprojekt viiakse projekteerimisfaasi, siis on idee lisada aluse teisele poolele ka rullikud.

Kuna pneumaatilised silindrid, mis karpi lükkavad, on asetatud paralleelselt pinnaga, mida mööda pakkekarpi lükatakse, tuleb ka luua abinõu silindritele. Abinõu esimene ots kinnitatakse silindri kolvi otsa ning teine ots juhatakse mööda aluse äärt piirdeseina sisse kujundatud ava kaudu silindri tagumise külje juurde. Silindri käivitumisel liigub abinõu paralleelselt samas suunas mööda alust ning lükkaks pakkekarpi. Lisa 14 on näidatud abinõu kirjeldavat skitseeringut.

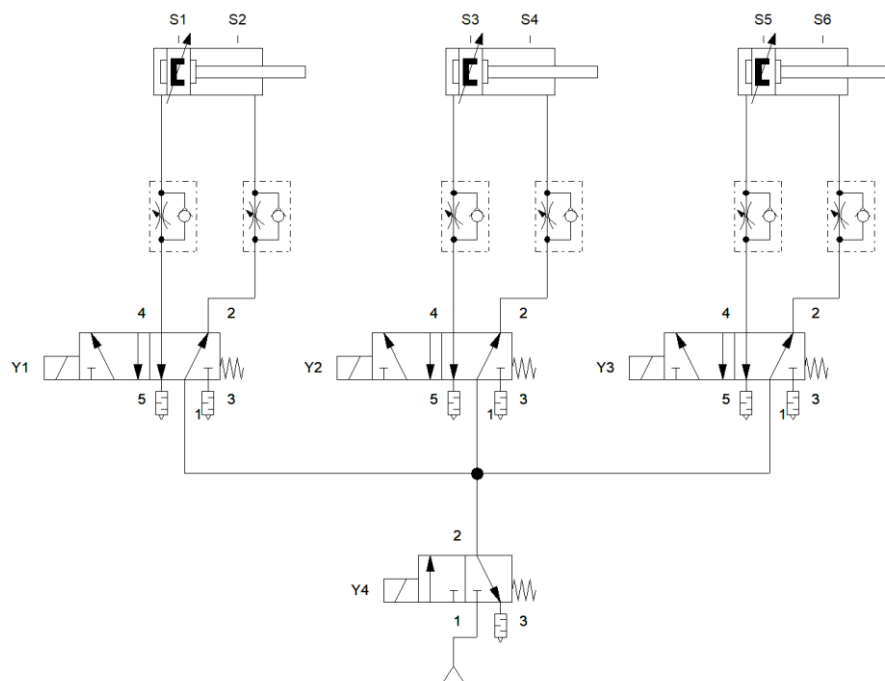
Teipimispea toetusraam on ühendatud aluse raami külge. Lisaks on toetuskonstruktsioonile kinnitatud ka 2 pakkekarbi kaante suunamistoru, mis suunavad karbi külgmised kaaned kinnisesse asendisse. Samuti on ka teipimispea toetuskonstruktsiooni külge paigaldatud pakke sulgeva pneumaatilise silindri toetusraam.

Lisa 15 on näidatud süsteemi kontrollpaneel, kuhu on paigutatud osa süsteemi komponente. Kontrollpaneel omakorda jaguneb 3 osapaneeliks – ülemisele osapaneelile on paigutatud surunupud, keskmisele osapaneelile on asetatud *PLC* ning toiteplokk, alumisele paneelile on seatud sulgventiil ning suunaventiilid. Kontrollpaneel on toestatud 2 tugijalaga, mille alumistes otsades on metallalused. Tugijalad on ühendatud aluse raami külge. Nimetatud elektriliste ja pneumaatiliste komponentide täpsem asetus ja asend kontrollpaneelil täpsustatakse, kui lahendus läheb projekteerimisfaasi.

Pakkeprotseduur on kirjeldatud käesoleva töö peatükis 3.4 loogikakontrolleri programmi algoritmi kirjeldus.

3.3 Pneumaatilise osasüsteemi kirjeldus

Pneumaatiline osasüsteem koosneb suruõhuallikast, kolmest pneumaatilisest silindrist ja kolmest suunaventiilist ja ühest sulgventiilist. Kõik nimetatud komponendid moodustavad omavahel osasüsteemi, mis põhineb joonisel 21 näidatud pneumaatilisel skeemil. Loogikakontroller edastab signaali elektriliselt juhitavatele suunaventiilidele või sulgventiilile. Seejärel lülituvad ventiilid vastavalt signaalile ühte või teise töoasendisse ning sellest tingituna liiguvad pneumosilindrid edasi või tagasi. Signaalide puudumisel hoiab tagastusvedru suunaventiili parempoolses asendis.



Joonis 21. Pneumaatilise osasüsteemi skeem

Lisa 16 on esitatud ka pneumaatilise osasüsteemi juurde kuuluv elektropneumaatiline skeem. Skeemil ei kajastu ohulüliti, kuna nimetatud komponent toimib 240 VAC [17], kuid skeem ise toimib 24 VDC pingel. Skeem on esialgne, sest *reset* nupu integreerimine nimetatud skeemi on veel puudu. Antud skeemil on näidatud surunuppude, releede ja toiteallika ühendused, et töös kasutatavaid ventiile ümber lülitada. Elektropneumatika juhtimiseks kasutatakse kaudset releede kaudu juhtimist. Suunaventiilid, sulgventiil, lülid, nupud ja loogikakontroller kasutavad toiteallikana 24 VDC toitepinget.

3.4 Loogikakontrolleri programmi algoritmi kirjeldus

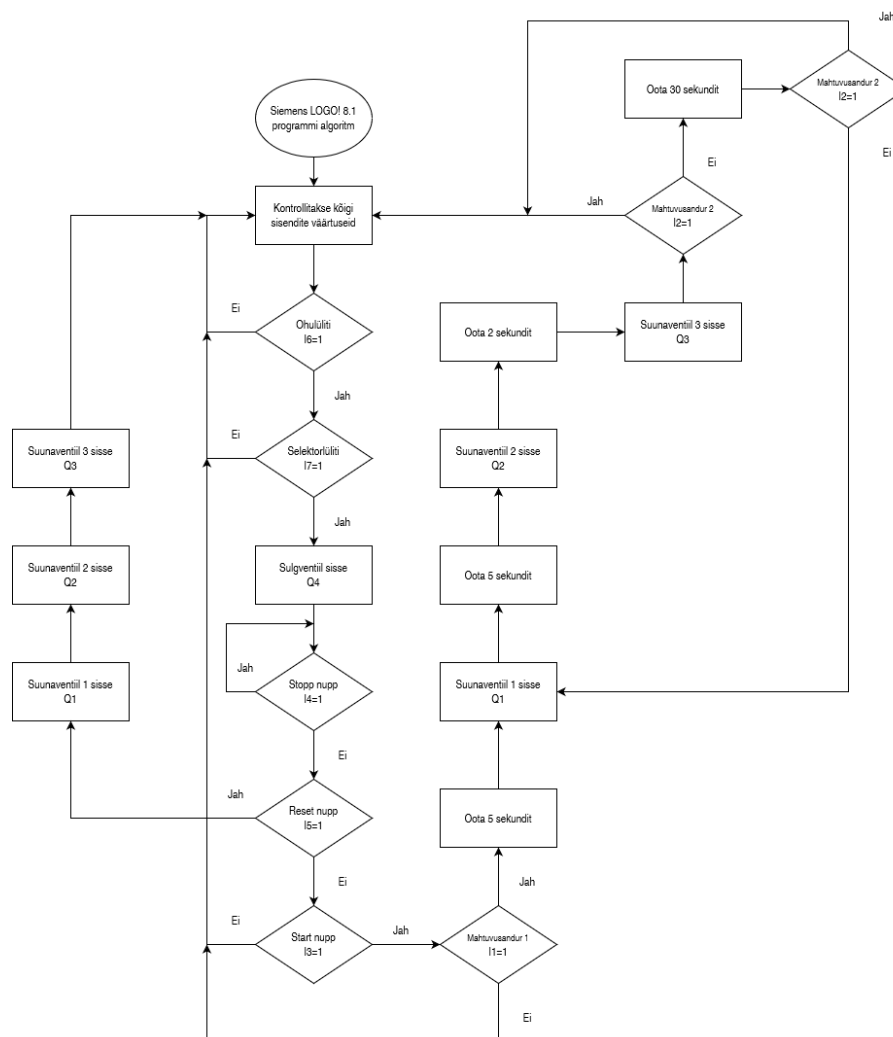
Käesolevas lõputöös arendatava süsteemi üheks osaks on Siemens LOGO! 8.1 kontroller, mis ühendab omavahel induktiivandurid, surunupud ja pneumaatilised silindrid. Tabel 3 abil on näidatud, mis komponent vastab PLC-le seadistatud sisendile või väljundile.

Tabel 3. PLC-sse seadistatud sisendid ja väljundid

Sisend	Komponendi nimetus
I1	Mahtuvusandur_1
I2	Mahtuvusandur_2
I3	Nupp_START
I4	Nupp_STOP
I5	Nupp_RESET
I6	Nupp_OHULULITI
I7	Nupp_SELEKTORLULITI
I8	-
Väljund	Komponendi nimetus
Q1	Suunaventiil_1
Q2	Suunaventiil_2
Q3	Suunaventiil_3
Q4	Sulgventiil_ONOFF

Joonisel 22 on näidatud programmi algoritm. Siemens LOGO! 8.1 kontrollerisse laetakse programm, mis põhineb erinevate süsteemi sisendite kontrollimisel ning vastavalt sellele käskude andmisel. Kontrolleri programm kontrollib surunuppude olekuid – esimese asjana kontrollitakse, kas ohulüliti on rakendatud või mitte. Kui selektorlüliti on töörežiimis, siis rakendatakse sulgventiil tööasendisse. Seejärel kontrollitakse stopp nupu olekut. Stopp nupu vajutamisel masina töö peatatakse. *Reset* nupu rakendamisel käivitatakse masina lähtestamine – kõikidesse silindritesse tagatakse õhuvool ning pärast

silindrite täitumist õhuga liiguvad need algasendisse tagasi. Pakendamiseks ettenähtud programm käivitatakse pärast start nupu allavajutamist, misjärel jääb masin automaatselt toimima. Järgnevalt kontrollitakse esimese induktiivanduriga paki jõudmist arendatava süsteemi alusele. Kui pakk on jõudnud alusele ning mahtuvusandur on fikseerinud paki, oodatakse 5 sekundit ning rakendatakse esimene pneumaatiline silinder, mis liigutab paki konveialale. Süsteem ootab esimese silindri käivitamisest 5 sekundit, pärast mida lülitatakse sisse teine silinder. Teine silinder lükkab paki teipimispea poole. Süsteem ootab teise silindri käivitamisest 2 sekundit, seejärel käivitub kolmas silinder, mis lükkab pakkekarbi tagumise kaane allapoole suletud asendisse. Samaaegselt lükkab teine silinder paki teipimispea alt läbi ja teipimispea poolt sooritatakse paki teipimine. Teine mahtuvusandur kontrollib, kas pakk on pakkeprotseduuri läbinud ning jõudnud andurini. Kui teine mahtuvusandur ei ole signaali edastanud 30 sekundi jooksul PLC-sse, siis käivitatakse pakkeprotsess algusest peale. Kui teine andur on signaali edastanud PLC-sse, siis jätkatakse sisendite kontrollimist algusest.



Joonis 22. Süsteemi loogikakontrolleri programmi algortim

3.5 Eelprojekteeritud süsteemi hinnakalkulatsioon

Eelprojektis on oluline analüüsida süsteemi maksuvust. Süsteemi esialgset maksuvust teades saab seda võrrelda konkureerivate lahenduste kui ka eksisteeriva pakkelahendusega, et hinnata süsteemi arendamise tasuvust - kas on kasulikum jätkata projekti arendamisega või valida konkureeriv lahendus. Tuleb arvesse võtta, et lisaks projektis kajastatud süsteemi maksuvusele lisanduvad muud tasud: arenduskulud/-teenused, varuosade maksumus, kasutuskulud, mille hulka kuuluvad elekter ning õhk, ja ettevõttes seadet kasutava ning hooldava personali töötasu.

Süsteemi aluse koostu materjaliks valiti teras S235. Nimetatud konstruktsiooniterast kasutatakse laialdaselt ehitussektoris madala hinna ja heade omaduste tõttu [32]. Tabelis 4 esitatud andmeid uurides on teras S235 nelikanttoru võrreldes alumiiniumi või roostevaba terastest nelikanttorudega märkimisväärselt odavam [33] [34] [35]. Konstruktsiooniterased on roostetamisele vastuvõtlikud [32], kuid kuna aluse konstruktsioon asub siseruumis, kaitstud ilmastikuolude eest, siis ei pea autor kaitsekihi olemasolu konstruktsioonil tähtsaks. Kui peaks siiski ilmnenema vajadus lisada pinnakate, siis saab selleks kasutada pulbervärvimist [32].

Tabel 4. Alumiinium-, teras- ja roostevaba terasest nelikanttorude hinnad [33] [34] [35]

Materjal	Nimetus	Mõõtmed, mm	Pikkus, mm	Hind (km-ga), €
Alumiinium	AL	50x50x4	3000	65,55
Roostevaba teras	AISI 316	50x50x3	3000	122,18
Teras	S235JRH	50x50x3	6000	40,44

Koostu joonisel on esitatud *BOM*-nimekiri. Selle alusel saab teada, mis mõõtmetega teraskomponente on tarvis aluse konstrueerimiseks. Tabelis 5 on lisatud samade mõõtmetega vajaminevate komponentide pikkused kokku, et teada saada vajalik materjali pikkus aluse konstruktsioonide konstrueerimiseks. Samuti on lisatud tabelisse veebis leitud materjalide mõõtmed, pikkused ja hinnad [36] - [41]. Autor ei leidnud veebis pakkealuse, rullikute ning toetusjalgade aluste mõõtmetele sobivaid materjale, mistõttu tuleb nende soetamiseks esitada eraldi tellimused materjali müügiga tegelevatele ettevõtetele.

Tabel 5. Aluse teraskomponentide S235 maksumus [36] – [41]

Komponendi nimetus	Vajamineva komponendi mõõtmed, mm	Saadaval oleva komponendi mõõtmed, mm	Komponendi hind (km-ga), €
Nelikanttoru	30x30x3 3118	30x30x3 3200	20,18
Nelikanttoru	60x20x3 1028	60x20x3 1100	9,76
Nelikanttoru	30x20x3 697	30x20x3 1000	5,42
Nelikant (latt)	60x20 1302	60x20 1400	39,98
Nelikant	30x30 2792	30x30 2800	61,66
Latt	150x10 834	150x10 1000	36,22
Hind kokku, €			172,22

Tabelis 6 on esitatud süsteemi elektrooniliste ja pneumaatiliste komponentide maksumus [42] - [58]. Tabelis on välja toodud vajaminevate komponentide kogused, 1 komponendi hind, komponentide hind kokku vastavalt kogusele ning tabeli all paremas servas on märgitud kõikide komponentide hind kokku. Kuigi PLC on ettevõtte laos olemas, tuleb see ikkagi kuludesse märkida. Teipimispea hind on konverteeritud Austraalia dollaritest eurodesse [59] ja 600mm silindri hind on konverteeritud USA dollaritest eurodesse [60] ning seejärel tabelisse kantud. Nimekiri ei ole lõplik ja on esialgne, sest osade komponentide hinnad oli esitatud kohaliku riigi käibemaksuga ning osa oli esitatud ilma, samuti jäi selgusetuseks osa komponentide hindade puhul, kas hind on käibemaksuga või mitte.

Tabel 6. Süsteemi elektrooniliste ja pneumaatiliste komponentide maksumus [42] – [58]

Komponent	Komponendi nimetus	Kogus	1 komponendi hind, €	Komponentide hind kokku, €
Mahtuvusandur	SICK CM12-08EBP-KC1	2	110,46	220,92
Toiteplokk	Phoenix Contact QUINT-PS/1AC/24DC/10	1	306,28	306,28
PLC	Siemens Logo! 8.1 6ED1052-1CC08-0BA1	1	92,24	92,24
Hädastopp	Schneider XB5 XALK178E	1	46,50	46,50
Punane surunupp	Schneider XB5 1NO+1NC punane 22 mm XB5AW34B5	1	28,75	28,75
Roheline surunupp	Schneider XB5 1NO+1NC roheline 22 mm	1	28,75	28,75
Oranž surunupp	Schneider XB5 1NO+1NC oranž 22 mm	1	28,75	28,75
Selektorlüliti	Schneider XB5 1-0-2 NO XB5AD33	1	26,75	26,75
Nuppude karp	Schneider XB5 XALD04	1	45,05	45,05
Kontaktiplokk NO	Schneider 1NO ZBE101	4	4,92	19,68
Kontaktiplokk NC	Schneider 1NC ZBE102	1	4,92	4,92

Komponent	Komponendi nimetus	Kogus	1 komponendi hind, €	Komponentide hind kokku, €
Teipimispea	3M™ AccuGlide™ 3 Taping Head, 50 mm, Upper	1	1154,72	1154,72
Silinder 600 mm	Festo DNC-50-600-PPV-A	1	185,63	185,63
Silinder 400 mm	Festo DNC-50-400-PPV-A	1	290,20	290,20
Silinder 100 mm	Festo DNC-50-100-PPV-A	1	269,33	269,33
Suunaventiil	Festo VUVS-L20-M52-MD-G18-F7-1C1	3	95,44	286,32
Sulgventiil	Festo HEE-D-MINI-24	1	157,33	157,33
Kõikide komponentide hind kokku, €				3192,12

Tabel 5 ja tabel 6 esitatud andmete põhjal on seadme esialgseks maksumuseks kokku 3364,34 eurot. Sellele lisanduvad veel pakkealuse konstruktsiooni, rullikute kui ka toetusjalgade aluste maksumus.

Turul on pakkemasinate hinnavarieeruvus suur. Vastavalt suurusele ja funktsioonidele võib nende hinnavahemik kujuneda 1889 eurost 7340 euronni [61] [62]. Selleks, et võrrelda eelprojektis arendatud masina maksumust konkureerivate seadmetega, tuleb uurida masinaid, millel on sarnased põhilised funktsioonid eelprojekti masinaga, näiteks automaatsus, karbi kaante sulgemine ja et pakkealus oleks samal kõrgusel sorteerimisliini lõpuga. Autor ei leidnud veebist masinat, mis nendele kriteeriumidele vastaks. USA2024-SB ja 3M masinatel polnud kajastatud hindu [63] [64]. 2 teise masina puhul oli pakkekarbi kõrgus nende jaoks liiga madal [65] [66] ning masina pakkealuse kõrgus liiga kõrge sorteerimisliini konveri jaoks [65] [66]. Seetõttu otsustati hinnavõrdluse vajaduse tõttu siiski kasutada võrdluses masinaid, millel on maksumus välja toodud, kuid ei sobi pakkekarbi ega sorteerimisliini konveieriga. Tabel 7 on esitatud erinevate pakkelahenduste maksumused [65] [66]. Tabelis näidatud teiste masinate andmete puhul on arvestatud ainult seadmete maksumusega, makse ega transpordikulud ei ole arvestatud. Tabel 7 põhjal jääb autori lahendus maksumuse odavuselt teiseks, soodsaim oli Alibaba veebilehel pakutud pakkelahendus [66], kõige kallimaks osutus Robomatise veebilehel pakutud lahendus [65].

Tabel 7. Pakkelahenduste maksumused [65] [66]

Lahendus	Maksumus, €
Autori edasiarendatud lahendus	3364,34
AUTO-TAPE Automatic Carton Sealer 48-72mm	4199,00
Automatic flaps folding carton sealer case sealer case sealing machine	2063,13

3.5.1 Eelprojekti edasiarendamise plaan

Eelprojekti käigus kinnitati üldine disainitav pakkelahenduse konseptsioon. Selleks, et liikuda eelprojekti faasist projekteerimiseni, peab optimeerima ja täiendama konseptsiooni. Järgnevalt koostas autor edasiarendamise plaani ning toob esile aspekte ja toiminguid, mille kohta tuleb veel uurida või mille arendamisega tuleb tegeleda, et jõuda projekteerimise faasi.

Tuleb kontakteeruda teipimispea toomistevõtte 3M esindajaga, et küsida informatsiooni teipimispea mõõtmete kohta, samuti ka CAD-mudeli olemasolu kohta, et seda pakkelahenduse koostu integreerida ning küsida AS Norma-le pakkumist toote maksumuse kohta.

Projekteerimise käigus tuleb ka valida, kas aluse konstruktsiooni tugijalad ja -talad ühendada aluse raami külge poltidega või keevitada. Samuti tuleb uurida süsteemi komponentide kinnitusi, et aluse raami külge projekteerida vastavad kinnitused komponentide paigaldamiseks.

Koostu joonisel ja CAD-mudelil ja näidatud pakkekarbi kaante suunamistorude mõõtmed ei baseeru pakkekarbi mõõtmeid arvesse võttes. See tähendab, et autoril puudub ülevaade, kas nimetatud suunamistorud realselt suudaksid pakkekarbi küljekaani piisavalt allapoole suunata enne teipimispeani jõudmist. Seetõttu tuleb välja arvutada suunamistorude korrektsed mõõtmed, mis nimetatud toimingut suudaksid teha ning joonisel vastavad muudatused sisse viia.

Joonis 22 näidatud loogikakontrolleri programmi algoritmi baasil tuleb luua loogikakontrolleri programm, kus kajastuksid tabelis 3 näidatud sisendid ja väljundid. Loogikakontrolleri programmi looks lõputöö autor.

Lisa 14 näidatud abinõu skitseeringul tuleb määrata konkreetsed karbi lükkamise abinõu mõõtmed, lisaks täpsustada materjalivalik. Samuti tuleb projekteerida karbi lükkamise abinõule liugursüsteem, mis toetaks abinõud selleks, et see liigutaks karpi stabiilselt.

Tuleks läbi viia aluse konstruktsiooni tugevusanalüüsiks tarvilik simulatsioon, et saada informatsiooni, kas konstruktsioon peab vastu süsteemi komponentidele kui ka täidetud pakkekarbi raskusele.

Süsteemi elektriskeemi joonise loomine on samuti oluline – elektriskeemil näidatakse detailset, kuidas on elektrilised komponendid omavahel ühendatud, mis on oluline süsteemi kokkupanekul ning süsteemi korrektseks toimimiseks.

Joonis 21 ja lisa 16 näidatud elektropneumaatiline ja pneumaatiline skeem toimivad pneumaatilistele silindritele kinnitatud lähedusandurite abiga, mis fikseerivad silindri tööpositsioone. Lähedusandureid autor töös ei käsitlenud, kuid neid on tarvis valida, et süsteem toimiks eelpool nimetatud skeemide põhjal.

Süsteemi maksuvust ja tasuvust hinnates tuleb uurida arenduskulude ning hoolduskulude kohta, samuti ka töötasude kohta, et neid saaks süsteemi tasuvuse analüüsis kasutada. Ettevõttes makstavad töötasud ei ole avalik informatsioon, mis teeb süsteemi tasuvuse võrdlemise operaatori töötasuga keerulisemaks, kuid selle asemel saaks kasutada ettevõttes makstavat keskmist töötasu [67], mis on avalik informatsioon.

Süsteemi projekteerimisel tuleb ka lähtuda süsteemi ohutust käsitlevatest Eesti ja Euroopa Liidu seadustest, nõuetest, määrustest, eeskirjadest ja direktiividest. Nende hulka kuuluvad 95/16/EÜ Masinadirektiiv, ja seda muutev 2006/42/EÜ Masinadirektiiv [68]. Süsteemi tuleb lisada turvalahendus/-kardin, et tagada inimeste ohutus süsteemi liikuvate osade eest. Samuti tuleb välja selgitada, kas käesolevat disaini tuleb olulisel määral muuta, et see vastaks eelnevalt nimetatud regulatsioonidele. Seetõttu on oluline ka dokumentatsiooni loomine. Eelpool nimetatud Masinadirektiivi kohaselt on masinale riskianalüüsi koostamine masina tootja poolt kohustuslik [68, ptk ÜLDPÕHIMÕTTED, lõik 1]. Energiatehnika OÜ veebilehel selgitatakse, et „riskianalüüsis käsitletakse põhjalikult kõiki seadme kasutamisega seotud riske ja nende maandamise meetmeid igas töörežiimis vastavalt standardile EN 12100.“ [69].

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös koostati automaatse pakkelahenduse eelprojekt ettevõttes AS Norma lukusteid sorteerivale sorteerimisliinile LockDog 3, et vähendada masinat opereerivate tööliste töökoormust.

Lahenduste koostamisel välditi mootorite kui ka automaatkonveierite kasutamist, et süsteem oleks lihtne ja töökindel ning eelistati pneumaatiliste lahenduste kasutamist. Autor koostas kolme lahenduse skitseeringud. Esimese lahenduse puhul lisati teipimispea tugijalgadega sorteerimismasina konveierile. Teist lahendust kujutati eraldi pakkealusena, mis asetseb paraleelselt sorteerimismasinaga. Kolmandat lahendust iseloomustab eraldi pakkealus, kus pakkekarp suunatakse ümber sorteerimismasina. Lahendusi hinnati hindamismaatriksi abil. Hindamiskriteeriumide hulka kuulusid lahenduse eraldiseisvus, vajadus modifitseerida sorteerimisliini osi jm. Hindamistabeli põhjal osutus valituks lahendus 3.

Asendiplaanile märgiti lahenduse, elektriallika kui ka suruõhu asukohad. Ostukomponentide valikul lähtuti nende universaalsusest ning tootjabrändi tuntusest. Samuti arvutati välja pakkekarbi staatiline hõõrdetegur, et valida sobiv pneumaatiline silinder, mis suudaks pakkekarpi lükata. Seetõttu valiti pneumaatikalahenduste (pneumaatikasilindrid, suunaventiilid ning sulgventiil) puhul Festo tooted. 3M ja SICK tooted valiti vastavalt teipimispea ja mahtuvusandurite jaoks ning surunuppude ja kontaktide puhul valiti Schneider Electric tooted.

Kolmanda lahenduse põhjal jätkati süsteemi CAD-mudeli arendamist. Lahendusele lisati väljavalitud komponendid kui ka kavandati alust efektiivsemaks - lisati rullikud, et vähendada aluse ja pakkekarbi vahelist hõõrdejõudu, lisati piirdeseinad, et pakkekarp ei kukuks pakkealuselt maha ning et saaks pneumaatilisi silindreid kui ka andureid ühendada süsteemi külge. Koostati kontrollpaneel, kuhu paigaldatakse süsteemi toimimiseks vajalikud suruõhuklapid, PLC ning toiteplokk. Loogikakontrolleri programmi algoritmskeemi ning pneumaatilise osasüsteemi skeemi alusel kirjeldati masina toimimist.

Aluse materjaliks valiti teras S235. Järgnevalt uuriti nii elektriliste ja pneumaatiliste kui ka aluse valmistamiseks vajalike materjalide hindasid, nende põhjal moodustati kokkuvõtlikud tabelid andmete visualiseerimiseks ning esialgse maksumuse arvutamiseks, milleks oli kokku 3364,34 eurot. Edasiarendatud süsteemi maksumust võrreldi kahe teise lahendusega, millest esimene osutus, arvestades praegust edasiarendatud süsteemi maksumust, kallimaks ja teine soodsamaks.

Viimasena kirjeldati eelprojekti edasiarendamise plaani. Selles täpsustatakse, et süsteemi projekteerimisel tuleb lähtuda masina ohutusregulatsioonidest, et maandada ohu riski inimestele, samuti tuleb luua programm loogikakontrollerile jm.

SUMMARY

In this thesis, a preliminary project of an automatic packaging solution was made for the LockDog 3 sorting line owned by AS Norma company, in order to reduce the workload of the sorting machine operators.

When creating the solutions, the use of motors and automatic conveyors was avoided in order to make the system simple and reliable, and the use of pneumatic solutions was preferred. The author made sketches of three solutions. In the first solution, a taping head with support legs was added to the conveyor of the sorting machine. The second solution was presented as a separate packaging base, which is located parallel and next to the sorting machine. The third solution is also characterized by a separate packaging base, where the packaging box is redirected around the sorting machine. The solutions were evaluated using an evaluation matrix. The evaluation criteria included separateness from the machine, the need to modify parts of the sorting line, etc. Based on the evaluation table, solution 3 was selected.

The locations of the solution, power source and compressed air were marked on the layout plan. The selection of purchase parts was based on their universality and the reputation of the manufacturer's brand. The static friction coefficient of the packaging box and base was also calculated to select a suitable pneumatic cylinder that could push the packaging box. Therefore, Festo products were chosen for the pneumatic solutions (pneumatic cylinders, direction valves and shut-off valve). 3M and SICK products were selected for the taping head and capacitive sensors respectively, and Schneider Electric products were selected for the push buttons and contacts.

Based on the 3rd solution, the development of the CAD model of the system was continued. Selected components were added to the solution and the base was designed to be more efficient – rollers were added to reduce the frictional force between the base and the packaging box, boundary walls were added so that the packaging box would not fall off the packaging base, and so that pneumatic cylinders and sensors could be connected to the base. A control panel was created, where valves, PLC and power supply unit necessary for the operation of the system are installed. The operation of the machine was described on the basis of the algorithm scheme of the program and the scheme of the pneumatic system.

Steel S235 was chosen as the base material. Subsequently, the prices of electrical and pneumatic materials as well as the materials necessary for the manufacture of the base were studied, based on these, summary tables were formed for data visualization and the calculation of the initial cost which was a total of 3364,34 euros. The cost of the

system was compared with two other solutions, the first of which turned out to be more expensive, considering the current cost of the advanced system, and the second cheaper.

Finally, the plan for further development of the preliminary project was described. It specifies that the design of the system must be based on the Estonian and European safety regulations of the machine in order to mitigate the risk of danger to people, as well as to create a program for the logic controller, etc.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Eddy current testing,” Foerster Instruments. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.foerstergroup.com/en/usa/technology/eddy-current-testing/>. [Kasutatud 25. märts 2024].
- [2] „Westphal Mechanik,” Westphal Mechanik. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.westphal-mechanik.de/en/>. [Kasutatud 25. aprill 2024].
- [3] „VisiControl”, Visicontrol. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.visicontrol.com/en/>. [Kasutatud 25. aprill 2024].
- [4] „Corrosion Resistance of Zinc Plating”, SPC, (2017), viimati muudetud 16. aprill 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sharrettsplating.com/blog/corrosion-resistance-of-zinc-plating/>. [Kasutatud 11. aprill 2024]
- [5] D. Dorigotti, „Zinc Plating For Improved Wear Resistance: An In-Depth Look”, Dragon Metal Manufacturing, 24. aprill 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dragonmetal.com.au/blog/zinc-plating-for-improved-wear-resistance-an-in-depth-look/>. [Kasutatud 11. aprill 2024].
- [6] Kozak, A., Schedlbauer, G., Wirth, T. *et al.* „Association between work-related biomechanical risk factors and the occurrence of carpal tunnel syndrome: an overview of systematic reviews and a meta-analysis of current research”, *BMC Musculoskelet Disord* **16**, 231, 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0685-0>. [Kasutatud 25. märts 2024].
- [7] „CS-5050B Carton Sealer”, Sealer Sales Inc. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sealersales.com/cs5050b-carton-sealer>. [Kasutatud 09. aprill 2024].
- [8] „Siemens Logo! 8.1 as Modbus TCP server”, Databoom, viimati muudetud 09. november 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://support.databoom.com/hc/en-us/articles/360010716880-Siemens-Logo-8-1-as-Modbus-TCP-server>. [Kasutatud 31. märts 2024].
- [9] „DW-AS-623-M8-001”, AutomationDirect. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/sensors_-z-_encoders/inductive_proximity_sensors/8mm_tubular/dw-as-623-m8-001. [Kasutatud 01. aprill 2024].
- [10] „QUINT-PS/1AC/24DC/10 - Power supply unit”, Phoenix Contact. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.phoenixcontact.com/en-lt/products/power-supply-quint-ps1ac24dc10-2866763>. [Kasutatud 20. aprill 2024].
- [11] „Illuminated push button, Harmony XB5, plastic, red flush, 22mm, universal LED, plain lens, 1NO + 1NC, 24V AC/DC”, Schneider Electric. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.se.com/in/en/product/XB5AW34B5/illuminated-push-button-harmony-xb5->

[plastic-red-flush-22mm-universal-led-plain-lens-1no-+-1nc-24v-ac-dc/](#). [Kasutatud 26. aprill 2024].

[12] „Illuminated push button, Harmony XB5, plastic, green flush, 22mm, universal LED, plain lens, 1NO + 1NC, 24V AC/DC“, Schneider Electric. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.se.com/in/en/product/XB5AW33B5/illuminated-push-button-harmony-xb5-plastic-green-flush-22mm-universal-led-plain-lens-1no-+-1nc-24v-ac-dc/>. [Kasutatud 26. aprill 2024].

[13] „Illuminated push button, Harmony XB5, plastic, orange flush, 22mm, universal LED, plain lens, 1NO + 1NC, 24V AC/DC“, Schneider Electric. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.se.com/in/en/product/XB5AW35B5/illuminated-push-button-harmony-xb5-plastic-orange-flush-22mm-universal-led-plain-lens-1no-+-1nc-24v-ac-dc/>. [Kasutatud 26. aprill 2024].

[14] „Surunupp illumineeritud PUNANE + LED PUNANE 24 + 1NO+1NC, raam, IP66, Schneider“, Viru Elektribandus. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ve.ee/surunupp-illumineeritud-punane-led-punane-24-1no1nc-raam-ip66-schneider>. [Kasutatud 20. aprill 2024].

[15] „Selektorlüliti XB5, 1-0-2, MUST, 2 NO, raam, IP66, Schneider“, Viru Elektribandus. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ve.ee/selektorl%C3%BCliti-xb5-1-0-2-must-2-no-raam-ip66-schneider>. [Kasutatud 20. aprill 2024].

[16] „Kontaktiplokk ZBE, 1NO, (XB4-le, XB5-le), Schneider“, Viru Elektribandus. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ve.ee/kontaktiplokk-zbe-1no-xb4-le-xb5-le-schneider>. [Kasutatud 23. aprill 2024]

[17] „Juhtpult, plastik, kollane, 1 punane seenepää surunupp 40mm, hädaseiskamispeere vabastamiseks, 1NO + 1 NC, märgistamata“, Schneider Electric. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.se.com/ee/et/product/XALK178E/juhtpult-plastik-kollane-1-punane-seenepea-surunupp-40mm-h%C3%A4daseiskamispe%C3%B6%C3%B6re-vabastamiseks-1no-+-1-nc-m%C3%A4rgistamata/>. [Kasutatud 04. mai 2024].

[18] „Hädastopp seen+karp NC+NO komplekt IP65 XB5 Schneider“, Viru Elektribandus. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ve.ee/h%C3%A4dastopp-seenkarp-ncno-komplekt-ip65-xb5-schneider>. [Kasutatud 17. aprill 2024].

[19] „Karp nupule hall, IP65, (XB5-le), Schneider“, Viru Elektribandus. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ve.ee/karp-4-nupule-hall-ip65-xb5-le-schneider>. [Kasutatud 17. aprill 2024].

[20] „The Engineering ToolBox“, *Friction - Friction Coefficients and Calculator*, 2004. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html. [Kasutatud 03. mai 2024].

- [21] A. Duffy, „Measuring μ_s “, Boston University, viimati muudetud 27. september 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://physics.bu.edu/~duffy/semester1/c6_measuremus.html. [Kasutatud 03. mai 2024].
- [22] S. Redney, „Static Friction“, Boston University, 31. jaanuar 2006, viimati muudetud 05. juuni 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://physics.bu.edu/~redner/211-sp06/class05/static.html>. [Kasutatud 03. mai 2024].
- [23] „DNC-50-400-PPV-A“, Festo. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/us/en/a/163379/>. [Kasutatud 25. aprill 2024].
- [24] „Festo DNC-50-600-PPV-A 577107“, Rowse Pneumatics. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rowse-pneumatics.co.uk/festo-dnc-50-600-ppv-a>. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [25] „DNC-50-100-PPV-A“, Festo. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/us/en/a/163373/>. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [26] „VUVS-L20-M52-MD-G18-F7-1C1“, Festo. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/a/575264/>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [27] „VUVS-L20-M52-MD-G18-F7-1C1“, Festo. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/a/575264/>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [28] „ITEM # 3" HEAD, ACCUGLIDE™ TAPING HEADS 2+“, Practical Packaging Solutions, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://catalog.practicalpackaging.com/item/tapes/accuglide--taping-heads-2-/3-head>. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [29] L. Long, „Upper heading tape (A simplified AccuGlide 2+ 3M-Matic)“, GrabCAD, 10. juuli 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://grabcad.com/library/upper-heading-tape-a-simplified-accuglide-2-3m-matic-1>. [Kasutatud 03. aprill 2024].
- [30] „3M™ AccuGlide™ 3 Taping Head, 50 mm, Upper“, 3M. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.3m.co.uk/3M/en_GB/p/dc/v000090964/. [Kasutatud 25. aprill 2024].
- [31] „rolling friction“, Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, *Encyclopedia Britannica*, 09. oktoober 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.britannica.com/science/rolling-friction>. [Kasutatud 04. mai 2024].
- [32] A. Velling, „Teraste S235, S275, S355, S420 vahe ja omadused“, Fractory Solutions OÜ, 07. jaanuari 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://fractory.com/et/terase-s235-s275-s355-s420-vahe-ja-nende-omadused/>. [Kasutatud 05. mai 2024].
- [33] „AL RHS 50X50X4“, AS VMT Tehased. [Võrgumaterjal]. Available: <https://metallikeskus.ee/toode/al-rhs-50x50x4/>. [Kasutatud 05. mai 2024].
- [34] „RHS 50x50x3 S235JRH“, AS VMT Tehased. [Võrgumaterjal]. Available: <https://metallikeskus.ee/toode/rhs-50x50x3-s235jrh/>. [Kasutatud 05. mai 2024].

- [35] „RV RHS 50x50x3 AISI 316“, AS VMT Tehased. [Võrgumaterjal]. Available: <https://metallikeskus.ee/toode/rv-rhs-50x50x3-aisi-316-6/>. [Kasutatud 05. mai 2024].
- [36] „Nelikanttoru 30x30x3,0x6000 S235JRH“, Corm OÜ. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.metall24.ee/tooted/nelikanttoru-30x30x30x6000-s235jrh/teras-s235>. [Kasutatud 09. mai 2024].
- [37] „Nelikanttoru 60x20x3x6000 S235JRH“, Corm OÜ. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.metall24.ee/tooted/nelikanttoru-60x20x3x6000-s235jrh>. [Kasutatud 09. mai 2024].
- [38] „Nelikanttoru 30x20x3x6000 S235JRH“, Corm OÜ. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.metall24.ee/tooted/nelikanttoru-30x20x3x6000-s235jrh/teras-s235>. [Kasutatud 09. mai 2024].
- [39] „Latt 60x20 S235“, Corm OÜ. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.metall24.ee/tooted/latt-60x20-s235/teras-s235-79>. [Kasutatud 09. mai 2024].
- [40] „Nelikant 30x30 S235“, Corm OÜ. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.metall24.ee/tooted/nelikant-30x30-s235/nelikantraud>. [Kasutatud 09. mai 2024].
- [41] „Latt 150x10 S235“, Corm OÜ. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.metall24.ee/tooted/latt-150x10-s235/teras-s235-79>. [Kasutatud 09. mai 2024].
- [42] „Sick CM12-08EBP-KC1“, Eltra Trade. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eltra-trade.com/products/sick-cm12-08ebp-kc1>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [43] „PHOENIX CONTACT 2866763“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/phoenix-contact/quint-ps-1ac-24dc-10/psu-din-rail-24v-10a/dp/2068442>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [44] „SCHNEIDER ELECTRIC XALK178E“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/schneider-electric/xalk178e/control-station/dp/2058592>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [45] „SCHNEIDER ELECTRIC XB5AW34B5, RED“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/schneider-electric/xb5aw34b5/illum-industrial-pb-sw-6a-120v/dp/2614703>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [46] „SCHNEIDER ELECTRIC XB5AW33B5, GREEN“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/schneider-electric/xb5aw33b5/illum-industrial-pb-sw-6a-120v/dp/2614702>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [47] „SCHNEIDER ELECTRIC XB5AW35B5, ORANGE“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/schneider-electric/xb5aw35b5/pb-switch-illum-no-nc-6a-120v/dp/2780579>. [Kasutatud 28. aprill 2024].

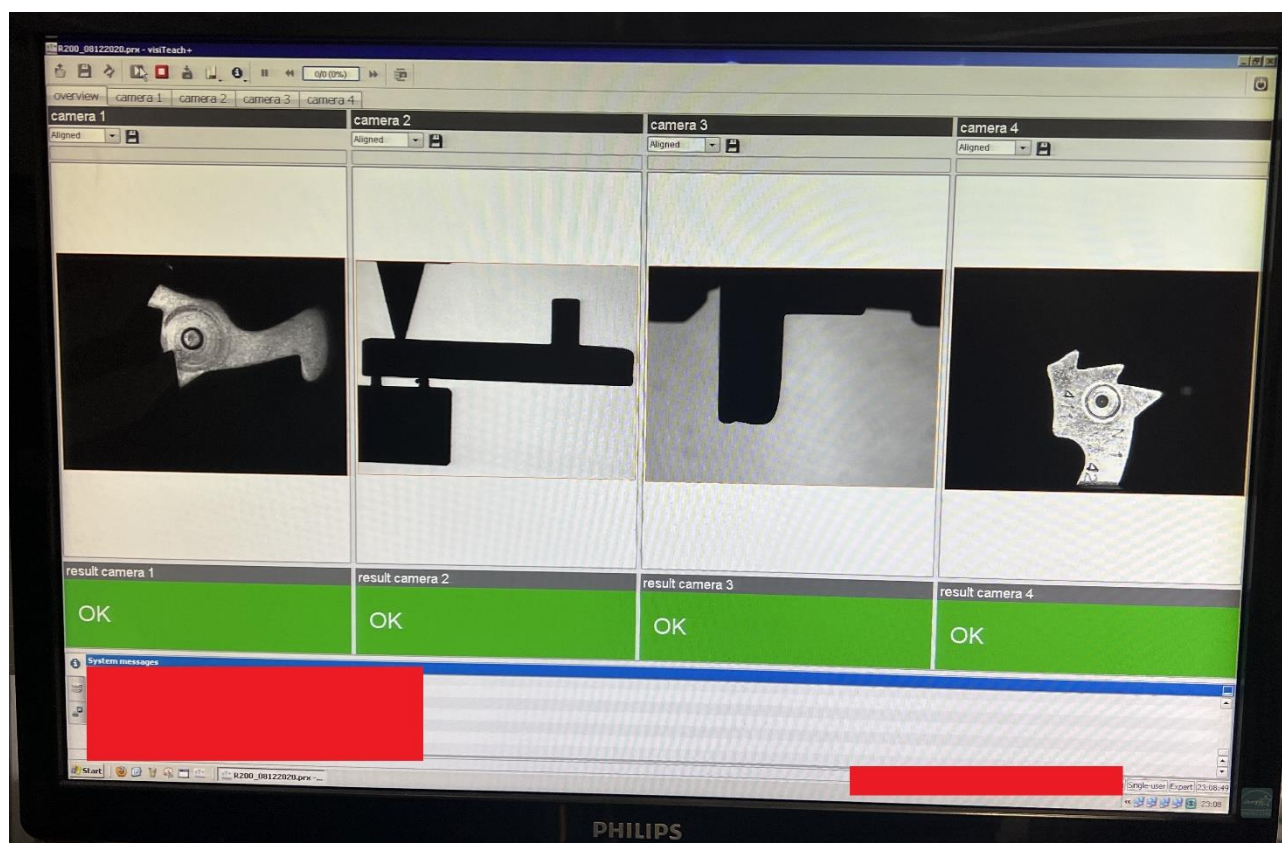
- [48] „SCHNEIDER ELECTRIC XB5AD33“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/schneider-electric/xb5ad33/non-illum-rotary-switch-2pole/dp/2614764>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [49] „SCHNEIDER ELECTRIC XALD04“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/schneider-electric/xald04/enclosure-p-b-4hole/dp/3729047>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [50] „SCHNEIDER ELECTRIC ZBE101“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/schneider-electric/zbe101/contact-block-1no-screw/dp/3052990>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [51] „SCHNEIDER ELECTRIC ZBE102“, Farnell. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ee.farnell.com/schneider-electric/zbe102/contact-block-1nc-screw/dp/3053003>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [52] „3M ACCUGLIDE 3 TAPING HEAD - UPPER 2 IN HIGH SPEED“, Southland Supply Group. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.southland.com.au/3m-accuglide-3-taping-head-upper-2-in-high-speed>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [53] „FESTO DNC-50-600-PPV-A PNEUMATIC CYLINDER (149873 - USED)“, Sigma Surplus. [Võrgumaterjal]. Available: <https://sigmasurplus.com/festo-dnc-50-600-ppv-a-pneumatic-cylinder/>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [54] „Festo DNC-50-400-PPV (163393) Standards-Based Cylin“, ESD Equipment Germany. [Võrgumaterjal]. Available: <https://esd.equipment/en/DNC-50-400-PPV.html>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [55] „Festo DNC-50-100-PPV-A 163373“, Rowse Pneumatics. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rowse-pneumatics.co.uk/festo-dnc-50-100-ppv-a>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [56] „VUVS-L20-M52-MD-G18-F7-1C1 - Solenoid Operated Valve 5/2 G1/8" 1MPa Air, Festo“, Distrelec. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.distrelec.de/en/solenoid-operated-valve-g1-1mpa-air-festo-vuvs-l20-m52-md-g18-f7-1c1/p/30169939>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [57] „HEE-D-MINI-24 SULGURJAOTI -FESTO-“, Memi Varustaja OÜ. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.memi.ee/product/hee-d-mini-24/>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [58] „6ED1052-1CC08-0BA1 LOGO!“, Kemberi OÜ, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://kemberi.ee/toode/6ed1052>. [Kasutatud 09. mai 2024].
- [59] „Australian Dollars to Euros Today“, Wise. [Võrgumaterjal]. Available: <https://wise.com/gb/currency-converter/aud-to-eur-rate>. [Kasutatud 06. mai 2024 kell 14:30].
- [60] „US Dollars to Euros Today“, Wise. [Võrgumaterjal]. Available: <https://wise.com/gb/currency-converter/usd-to-eur-rate>. [Kasutatud 06. mai 2024 kell 14:30].

- [61] „FLEX TAPE Semi automatic Carton Sealer 48-72mm (Kraft or BOPP tape)”, Robomatis. [Võrgumaterjal]. Available: <https://batterystrapping.com/product/flex-tape-automatic-carton-sealer/>. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [62] „SIAT SM11 Fully Automatic Case Sealer 415V (3-Phase)”, Pakprint Tapes, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.pakprint.co.uk/online-shop/case-sealing-machines/siat-case-sealing-machines/siat-sm11-fully-automatic-case-sealer-415v-3-phase>. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [63] „USA2024-SB Uniform Semi Automatic Case Sealer USA2024-SB Uniform Semi Automatic Case Sealer”, Crown Packaging Corp., 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://shop.crownpack.com/usa2024-sb-uniform-semi-automatic-case-sealer/>. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [64] „3M-Matic™ Random Case Sealer 7000r Pro With 2" 3M™ AccuGlide™ 3 Taping Head”, 3M, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.3m.com/3M/en_US/p/d/b40067896/. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [65] „AUTO-TAPE Automatic Carton Sealer 48-72mm (Kraft or BOPP tape)”, Robomatis. [Võrgumaterjal]. Available: <https://batterystrapping.com/product/auto-tape-automatic-carton-sealer-48-72mm-kraft-or-bopp-tape>. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [66] „Automatic flaps folding carton sealer case sealer case sealing machine”, Alibaba, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/Automatic-flaps-folding-carton-sealer-case_60549583204.html. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [67] „NORMA AS töötajad ja palgad”, Storybook OÜ. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ssb.ee/10043950-NORMA-AS/tootajad-palgad>. [Kasutatud 06. mai 2024].
- [68] „2006/42/EÜ Masinadirektiiv”, EUR-Lex, 17. mai 2006. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006L0042>. [Kasutatud 04. mai 2024].
- [69] „Seadmete ja masinate ohutus, riskianalüüs ja testimine”, Elektritehnika OÜ, viimati muudetud 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://energiatehnika.ee/seadmete-ja-masinate-riskianaluus-ja-testimine/>. [Kasutatud 04. mai 2024].

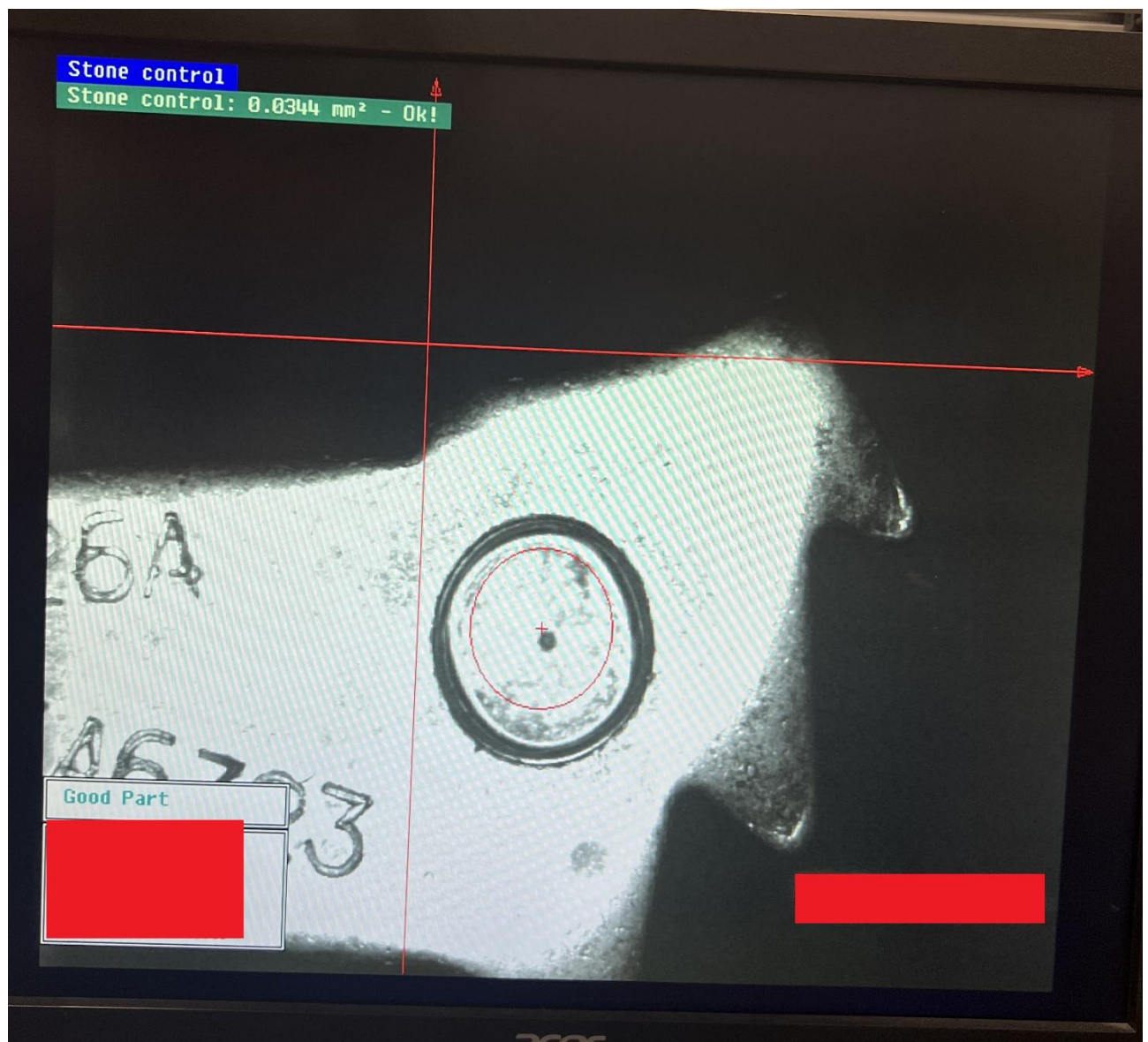
LISADE LOETELU

- Lisa 1. LockDog 3 kaamerate *HMI*
- Lisa 2. LockDog 1 kaamerate *HMI*
- Lisa 3. Mahtuvusandur CM12-08EBP-KC1 andmeleht
- Lisa 4. Tühja pakkekarbi kaalumisprotsess
- Lisa 5. Elektrooniline nurgamõõtja
- Lisa 6. Terasplaadi kontaktpind pakkekarbiga
- Lisa 7. Pakkekarbi põhi
- Lisa 8. Terasplaadi ja pappkarbi nurga mõõtmise konstruktsioon
- Lisa 9. Pakkekarbi liigutamise pikkused 3. lahenduse edasiarenduse alusel
- Lisa 10. Festo DNC-50-600-PPV-A andmeleht
- Lisa 11. Festo DNC-50-400-PPV-A andmeleht
- Lisa 12. Festo DNC-5 0-100-PPV-A andmeleht
- Lisa 13. Teipimispea teipimisprotseduuri konseptsioon
- Lisa 14. Pakkekarbi liigutamise abinõu skitseering
- Lisa 15. Pneumaatilise osasüsteemi esialgne elektropneumaatiline skeem
- Lisa 16. Edasiarendatud süsteemi kontrollpaneel

Lisa 1. LockDog 3 kaamerate HMI



Lisa 2. LockDog 1 kaamerate HMI



Lisa 3. Lukusti kaal



Lisa 4. Tühja pakkekarbi kaal



Lisa 5. Elektrooniline nurgamõõtja Horex 46 7564



Lisa 6. Terasplaadi kontaktpind pakkekarbiga



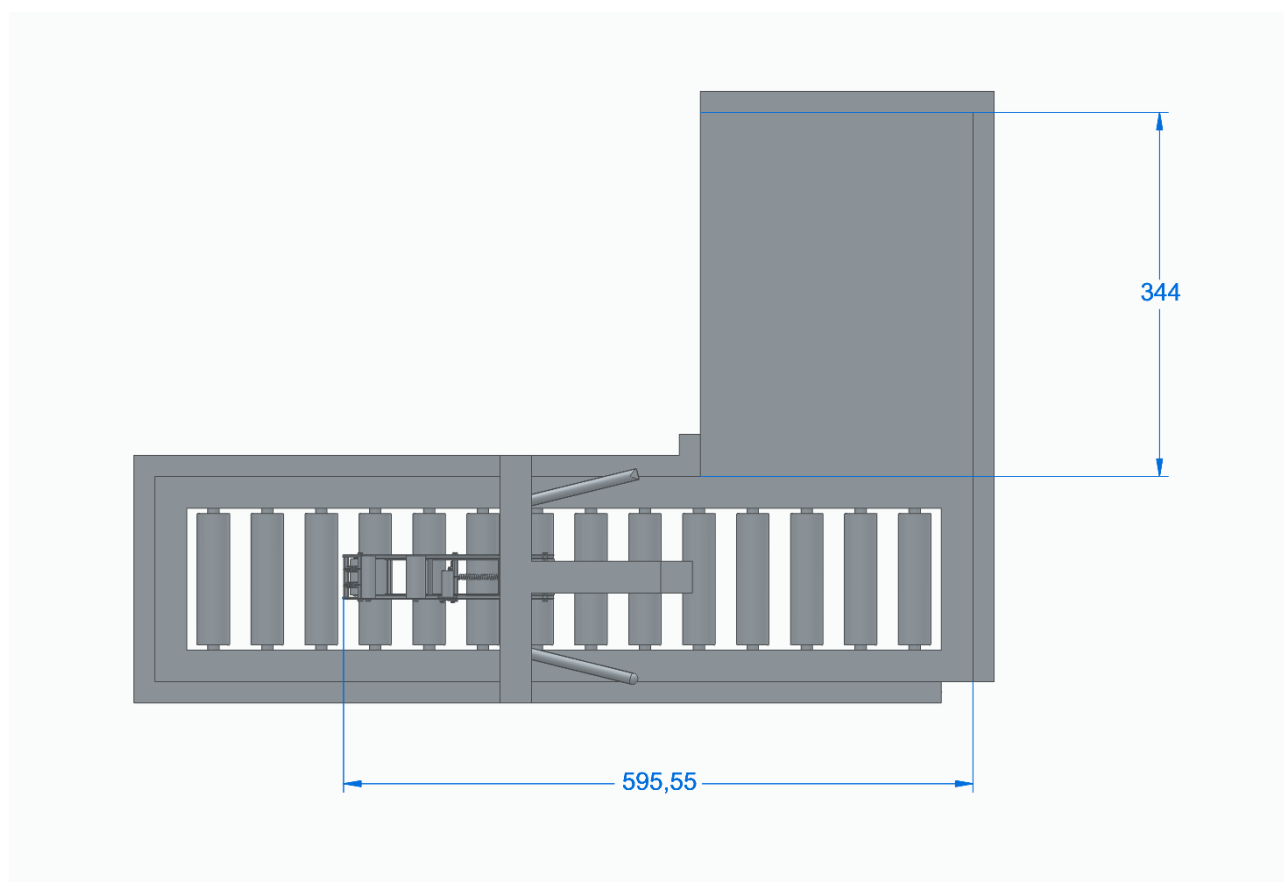
Lisa 7. Pakkekarbi põhi



Lisa 8. Terasplaadi ja pappkarbi nurga mõõtmise konstruktsioon



Lisa 9. Pakkekarbi liigutamise distantssid 3. lahenduse edasiarenduse alusel



Lisa 10. Festo DNC-50-600-PPV-A andmeleht

Technical Information



See Similar Products **0**

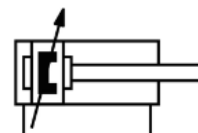
Accessory Size: DNC-50mm	
Conforms to Standard: ISO 15552	☐
Cushioning: Pneumatic Cushioning, Adjustable	☐
Cylinder Barrel Material: Wrought Aluminium Alloy	
Cylinder Type: Standard Cylinder	☐
Force at 6 bar, advance stroke: 1178N	
Force at 6 bar, return stroke: 990N	
Mode of Operation: Double-Acting	☐
Piston Bore Size: 50mm	☐
Piston Rod Material: High Alloy Steel	
Piston-rod Thread: M16x1.5	
Position Detection: For Proximity Sensor	
Manufacturer: Festo	☐
Range: DNC	☐
Stroke Length: 600mm	☐
Commodity Code: 84123100	
Country of Origin: DE	
Weight: 5.0000Kg	
Pack Quantity: 1	

Lisa 11. Festo DNC-50-400-PPV-A andmeleht

ISO cylinder DNC-50-400-PPV-A

Part number: 163379

FESTO



 General operating condition

Data sheet

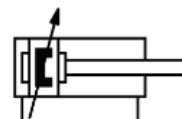
Feature	Value
Stroke	400 mm
Piston diameter	50 mm
Piston rod thread	M16x1.5
Cushioning	Pneumatic cushioning, adjustable at both ends
Mounting position	Any
Conforms to standard	ISO 15552
Piston rod end	External thread
Structural design	Piston Piston rod Profile barrel
Position sensing	For proximity sensor
Symbol	00991235
Variants	Piston rod at one end
Operating pressure	0.06 MPa ... 1.2 MPa
Operating pressure	0.6 bar ... 12 bar
Mode of operation	Double-acting
Operating medium	Compressed air as per ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Information on operating and pilot media	Operation with oil lubrication possible (required for further use)
Corrosion resistance class (CRC)	2 - Moderate corrosion stress
LABS (PWIS) conformity	VDMA24364-B1/B2-L
Ambient temperature	-20 °C ... 80 °C
Impact energy in the end positions	0.2 J
Cushioning length	22 mm
Theoretical force at 6 bar, retracting	990 N
Theoretical force at 6 bar, advancing	1178 N
Moving mass at 0 mm stroke	538 g
Additional moving mass per 10 mm stroke	25 g
Basic weight with 0 mm stroke	1260 g
Additional weight per 10 mm stroke	64 g
Type of mounting	With internal thread With accessories
Pneumatic connection	G1/4
Note on materials	RoHS-compliant
Cover material	Die-cast aluminum Coated
Seals material	TPE-U(PU)

Lisa 12. Festo DNC-50-100-PPV-A andmeleht

ISO cylinder DNC-50-100-PPV-A

Part number: 163373

FESTO

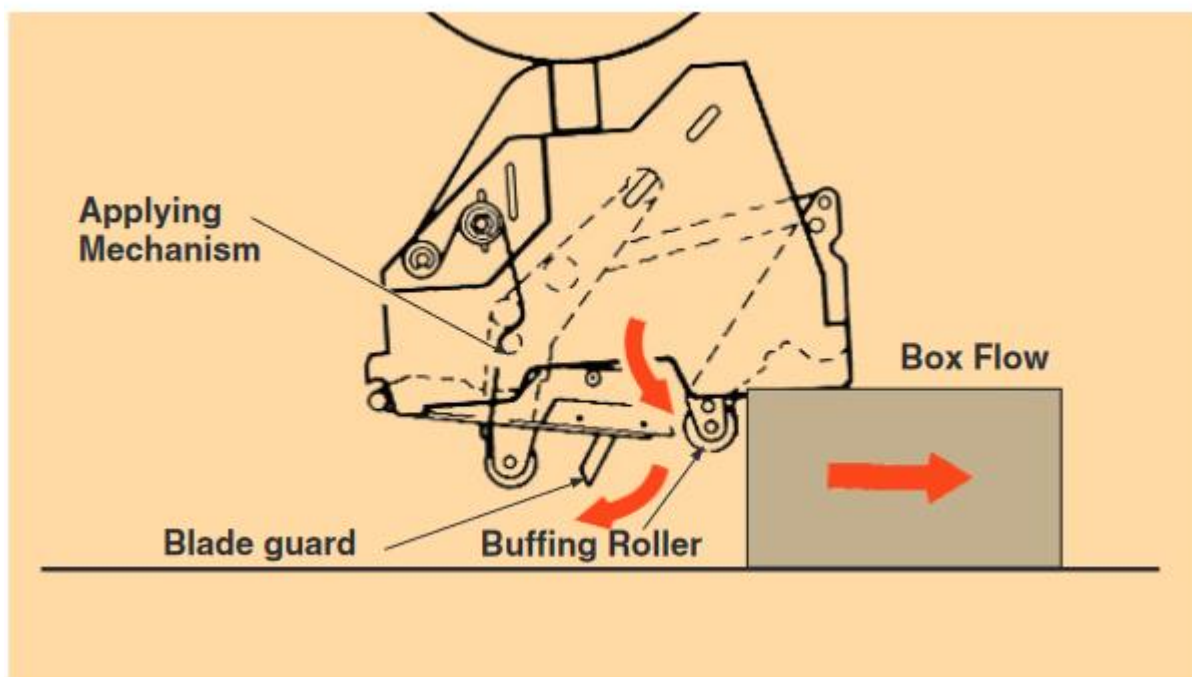
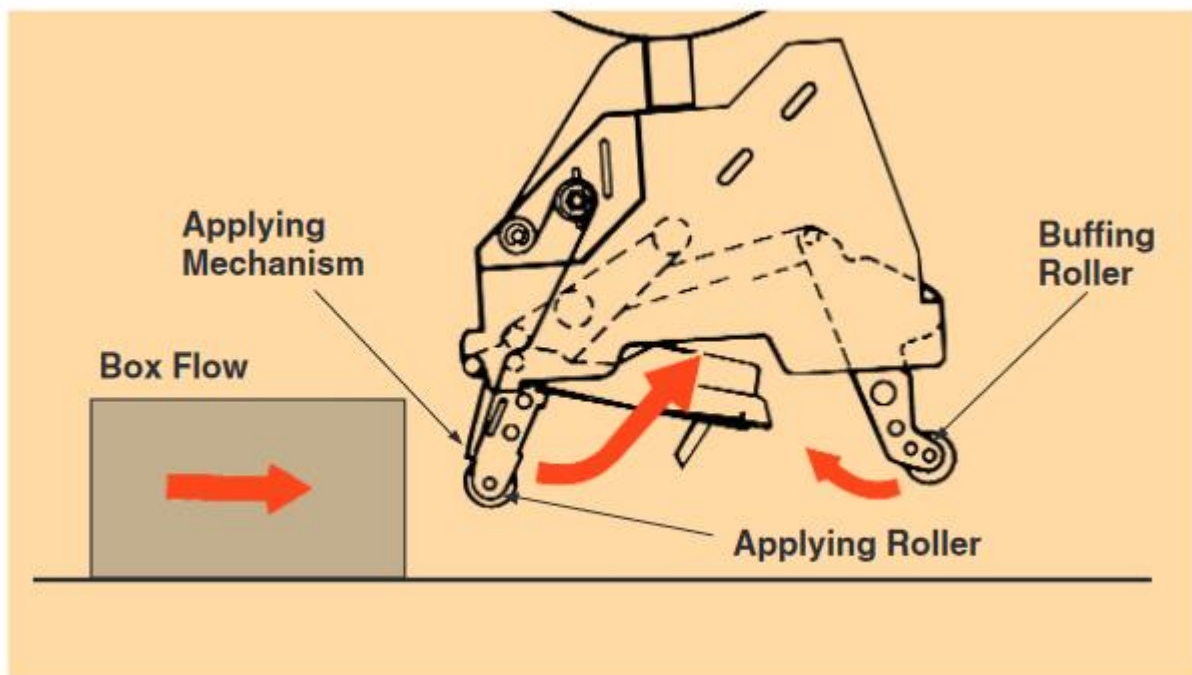


Data sheet

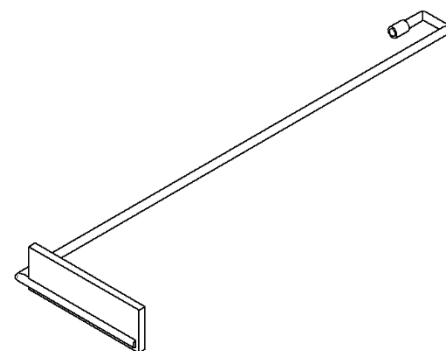
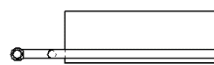
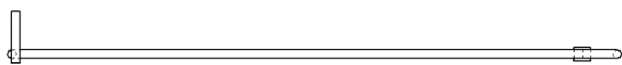
 General operating condition

Feature	Value
Stroke	100 mm
Piston diameter	50 mm
Piston rod thread	M16x1.5
Cushioning	Pneumatic cushioning, adjustable at both ends
Mounting position	Any
Conforms to standard	ISO 15552
Piston rod end	External thread
Structural design	Piston Piston rod Profile barrel
Position sensing	For proximity sensor
Symbol	00991235
Variants	Piston rod at one end
Operating pressure	0.06 MPa ... 1.2 MPa
Operating pressure	0.6 bar ... 12 bar
Mode of operation	Double-acting
Operating medium	Compressed air as per ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Information on operating and pilot media	Operation with oil lubrication possible (required for further use)
Corrosion resistance class (CRC)	2 - Moderate corrosion stress
LABS (PWIS) conformity	VDMA24364-B1/B2-L
Ambient temperature	-20 °C ... 80 °C
Impact energy in the end positions	0.2 J
Cushioning length	22 mm
Theoretical force at 6 bar, retracting	990 N
Theoretical force at 6 bar, advancing	1178 N
Moving mass at 0 mm stroke	538 g
Additional moving mass per 10 mm stroke	25 g
Basic weight with 0 mm stroke	1260 g
Additional weight per 10 mm stroke	64 g
Type of mounting	With internal thread With accessories
Pneumatic connection	G1/4
Note on materials	RoHS-compliant
Cover material	Die-cast aluminum Coated
Seals material	TPE-U(PU)

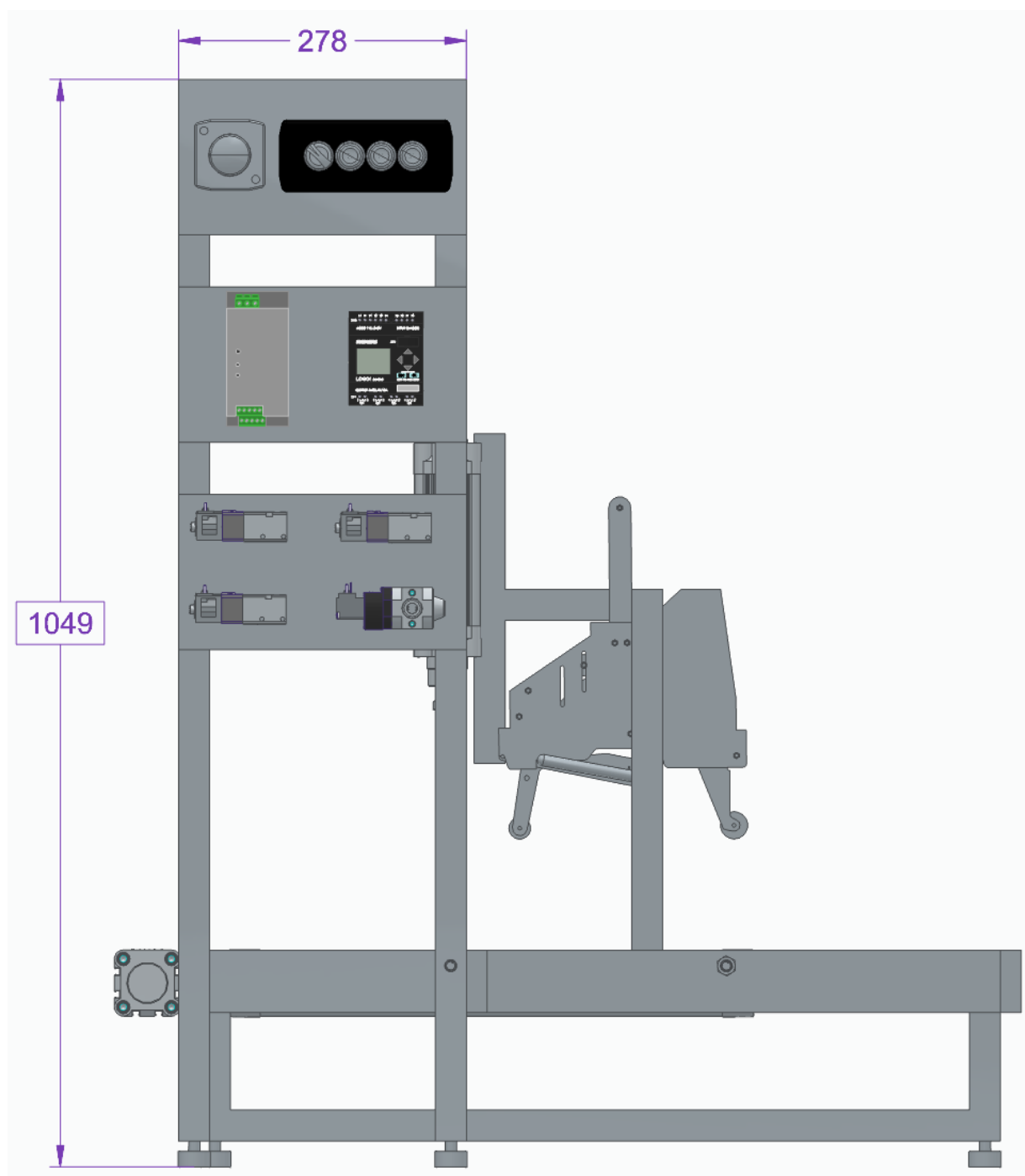
Lisa 13. Teipimispea teipimisprotseduuri konseptsioon



Lisa 14. Pakkekarbi liigutamise abinõu skitseering



Lisa 15. Edasiarendatud süsteemi kontrollpaneel



Lisa 16. Elektropneumaatilise osasüsteemi esialgne skeem

