



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**EELKOOSTAMISPRESSI  
AUTOMATISEERIMISVÕIMALUSTE ANALÜÜS AS  
NORMA NÄITEL**

**THE ANALYSIS OF PRE-ASSEMBLY PRESSING MACHINE  
AUTOMATION IN AS NORMA**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Janno Kikojan

Üliõpilaskood: 207657MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor  
Martinš Sarkans, vanemteadur

Tallinn 2022

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Janno Kikojan

Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Eelkoostamispressi automatiseerimisvõimaluste analüüs AS Norma näitel, mille juhendajad on Toivo Tähemaa ja Martinš Sarkans.

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

1. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

2. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# MEHAANIKA JA TÖÖSTUSTEHNIIKA INSTITUUT

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Janno Kikojan, 207657MATM (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: MATM, Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Kaasprofessor, Toivo Tähemaa, 50 91918 (amet, nimi, telefon)  
Vanemteadur, Martinš Sarkans, 5020251 (amet, nimi, telefon)  
**Konsultant:** .....(nimi, amet)  
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

### Lõputöö teema:

*Eelkoostamispressi automatiseerimisvõimaluste analüüs AS Norma näitel*

The Analysis of Pre-Assembly Pressing Machine Automation in AS Norma

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Eelkoostamispressi automatiseerimisvõimaluste leidmine
2. Masina töötsükli käigus tekkiva praagi ja mittevastavate toodete vähendamine
3. Tarnija leidmine uue masina ehitamise jaoks

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Olemasoleva eelkoostamispressi tööpõhimõtete ja tekkivate probleemide analüüs	jaanuar
2.	Automatiseerimislahenduste väljatöötamine ning parima lahendi valimine	aprill
3.	Tarnija otsimine ja hinnapakumiste tegemine	mai

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

**Üliõpilane:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	7
TABELITE LOETELU .....	8
JOONISTE LOETELU .....	9
SISSEJUHATUS.....	11
1. AS NORMA KIRJELDUS.....	14
2. OHUTUSVARUSTUSE KOMPONENTIDE TUTVUSTUS.....	15
2.1 Turvavöö rihtm .....	15
2.2 Kõrgusregulaator .....	16
2.3 Eelkoostatavad tooted - pressitavad kronsteinid.....	16
3. ÜLEVAADE OLEMASOLEVAST PRESSIMISMASINAST.....	18
3.1 Seadme põhimõtte ja tehnilised parameetrid .....	18
3.2 Pressimismasina põhiosad .....	19
3.3 Masina seadistamine sobiva toote jaoks .....	21
4. LINDIJUHTIJA JA OTSMISE KRONSTEINI KOOSTAMISE PROTSESS.....	22
4.1 Komponentide tellimine tootmisliinile .....	22
4.2 Toote koostamisprotsess praeguse seadme abil .....	22
5. OLEMASOLEVA MASINA PROBLEEMSED KOHAD.....	24
5.1 Puuduv komponent või vale asetsemisjärjekord .....	24
5.2 Tootmises kasutavate rakiste hulk .....	25
5.3 Tööjaama ohutusnõuded.....	25
6. UUE SEADME ARENDAMINE.....	27
6.1 Esialgse kontseptsiooni loomine .....	27
6.2 Cognex IS-7801 kaamera ja In-Sight Explorer programmi ülevaade .....	28
6.3 Kontseptsioonprogrammi loomine ja ülesehitus .....	29
6.4 Erinevate seadmete kasutamine samaväärsel ülesande lahendamiseks.....	32
6.4.1 Keyence IV3-600CA kaamera ja IV-3 Navigator programm.....	32
6.4.2 Profiliandur IFM OPD100.....	33
6.4.3 Intel RealSense D415 kaamera ja Nvidia Jetson Nano mikrokontroller.....	34
6.5 Süsteemi edasiarendus ja kasutavate komponentide ülevaade .....	35
6.5.1 Toote vertikaalne pressimise mehhanism.....	36
6.5.2 Horisontaalselt liikuv sahtlisüsteem .....	38
6.5.3 Seadme juhtimissüsteem .....	40
6.5.4 Turvakardin ohutuse tagamiseks.....	42

6.5.5	Ohutusnupp protsessi seiskamiseks .....	43
6.5.6	Kahe käe nupud töö alustamiseks .....	44
6.5.7	Valgusfoor lamp seadme oleku näitamiseks .....	45
6.5.8	Punase kasti süsteem praaktoote eemaldamiseks .....	46
6.5.9	Komponentide hoidmisriiul .....	48
6.5.10	Valmislahenduste ülevaade ja tööjaama protsess.....	49
6.6	Ergonoomika .....	51
6.7	Uue süsteemi maksumus .....	53
7.	ÜLDSPETSIFIKATSIOONI KOOSTAMINE JA TARNIJA LEIDMISPROTSESS .....	57
8.	TULEVIKUPLAANID .....	59
8.1	Kahekorruseline palletkonveieri lahendus.....	59
8.2	Toote eristamise ja pakkimise meetod .....	60
8.3	Robotiseeritud süsteemide kasutamine .....	60
	KOKKUVÕTE.....	63
	SUMMARY .....	66
	KASUTATUD KIRJANDUS.....	69
	LISAD .....	76
	Lisa 1 Eelkoostamispressil kasutatavad tooted .....	77
	Lisa 2 Silindrite poolt arendatava jõu, rõhu ja kolviläbimõõdu tabel [52] .....	87

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

<i>AS</i>	Aktsiaselts, äriühing
<i>CNC</i>	Arvprogrammjuhtimine APJ (ingl Computer Numerical Control)
<i>CPU</i>	Süsteemikeskne tööelement, protsessor (ingl Central processing unit)
<i>GB</i>	Andmete edastamiseks kasutatav infoühik (ingl Gigabyte)
<i>HS</i>	Pressimisseadme kangi tagasiliikumise lukustusmehhanism (ingl Return travel lock)
<i>ISO</i>	Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon (ingl International Standards Organization)
<i>MES</i>	Tootmisseadme konstrueerimisel loodav dokument iseloomustamaks masina tööprotsessi ning selle juurde käivaid alamkomponente (ingl Manufacturing Equipment Specification)
<i>MicroSD</i>	Väikeste füüsiliste mõõtmetega mälukaardi formaat
<i>NC</i>	Elektriline ühendus, mis on normaalses või tavaolekus suletud (ingl Normally closed)
<i>Piksel</i>	Andmete töötlemiseks kasutatav kujutisel paiknev väikseim osake
<i>PLC</i>	Programmeeritav loogika kontrolleri (ingl Programmable logic controller)

## TABELITE LOETELU

Põhiosas leitavad tabelid:

Tabel 6.1. Põhikonstruktsiooni ning mehaaniliste komponentide nimekiri.....	54
Tabel 6.2. Pneumaatika- ja elektroonikasüsteemide loomiseks kasutatavate komponentide nimekiri. .....	55

Lisa osas leitavad tabelid:

Tabel 9.1. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 1-3.....	77
Tabel 9.2. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 4-6.....	78
Tabel 9.3. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 7-9.....	79
Tabel 9.4. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 10-12.....	80
Tabel 9.5. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 13-15.....	81
Tabel 9.6. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 16-18.....	82
Tabel 9.7. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 19-21.....	83
Tabel 9.8. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 22-24.....	84
Tabel 9.9. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 25-27.....	85
Tabel 9.10. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 28-30.....	86
Tabel 9.11. Silindri poolt arendatava jõu, rõhu ja kolviläbimõõdu omavaheline seos. ....	87



# JOONISTE LOETELU

Põhiosas leitavad joonised:

Joonis 2.1. Turvavöö rihm koos peamiste komponentidega.....	15
Joonis 2.2. Kõrgusregulaator koos peamiste komponentidega.....	16
Joonis 2.3. Otsmine (asetseb vasakul) ja lindijuhtija kronstein (asetseb paremal) koos komponentidega.....	17
Joonis 2.4. Turvavarustuse komponentide paiknemine sõidukis. Joonisel on kollasega toodud turvavöö rihm koos kinnituspoldiga, sinisega kõrgusregulaator, oranžiga lukk keele komponendi sisestamiseks ja rohelisega lõputöös vaadeldavad kronsteinid. [5] .....	17
Joonis 3.1. Hammaslatt pressi tööpõhimõte [6].....	18
Joonis 3.2. Eelkoostamise pressimismasin koos komponentidega.....	19
Joonis 3.3. Toote pressimise rakis koos komponentidega. ....	20
Joonis 3.4. Pressimismasina seadistamisel kasutatavad kõrguse silindrid.....	21
Joonis 4.1. Toote koostamise protsess. ....	23
Joonis 4.2. Pressimismasina voodiagramm. ....	23
Joonis 5.1. Toote koostamisel tekkivad probleemid.....	24
Joonis 5.2. Erinevate turvaelementide kasutamine ohutusnõuete tagamiseks uue tööjaama konstrueerimisel. Nendeks on turvakardin, kahe-käe nupud operatsiooni alustamiseks, ohutusnupp seiskamiseks, valgusfoor lamp ning ohutussümbolid operaatori tähelepanu tekitamiseks [9] [10] [11] [12] [13]. ....	26
Joonis 6.1. Toote uurimise kontseptsioon kaameralahenduse abil.....	27
Joonis 6.2. Ekraanitõmmis In-Sight Explorer programmist, mille abil on võimalik kontrollida toote õigust ning vastavust joonisele. Lisaks annab see ülevaate teostatud vigade ja praagi kohta ning lihtsustab hilisemat analüüsimisprotsessi.....	30
Joonis 6.3. Cognex kaamera ja programmi seadistamise järjekord In-Sight Explorer programmis. ....	31
Joonis 6.4. Seadmete valik samaväärsete ülesannete lahendamiseks. [19] [20] [24] [25] [26] .....	35
Joonis 6.5. Vertikaalse pressimise mehhanismi näidislahendus. Täpsem protsessi kirjeldus on toodud töö alumises osas oleval skeemil (vt Joonis 6.8). ....	38
Joonis 6.6. Horisontaalse sahtlisüsteemi näidislahendused. Vasakpoolsel tagatakse liikumine horisontaalsete liugurite ning paremal teleskoopmehhanismi abil. ....	39
Joonis 6.7. Siemens S7-1500 kontrolleri koos peamiste komponentidega. Nendeks on toiteplokk, ekraani ja nuppudega kontrolleri, sisend-, väljund ja kommunikatsiooni moodulid ja relss seadmete kinnitamiseks. [37].....	41
Joonis 6.8. Turvakardin ja selle komponendid [41]. ....	42
Joonis 6.9. Ohutusnupp koos peamiste komponentidega [42].....	43
Joonis 6.10. Kahekäe nuppude kasutamise võimalused. Vasakul paikneb vastavalt Captron SCA4 ning paremal Banner STBVP6Q5 tüüpi lahendused koos peamiste komponentidega. [43] [44].....	45
Joonis 6.11. Valgusfoor lamp koos peamiste komponentidega. Nendeks on elektriliste ühendustega indikaatorlambid näitamaks masina seisundeid ning seadme kinnituse mehhanism. [46].....	46
Joonis 6.12. Kahe anduriga praaktoote kõrvaldamise süsteem. ....	47
Joonis 6.13. Komponentide hoiustamisriiuli näidislahendus. ....	48
Joonis 6.14. Tööjaamade valmislahendused, kus vasakul paikneb U- ja paremal L-kujuline ülesehitus. ....	49

Joonis 6.15. Tööjaama protsessi diagramm. ....	51
Joonis 8.1. Kahekorruselise pallekonveieri tüüplahenduse eestvaade. Punasega on toodud tühjad, kollasega pressimistsükli ootavad ning rohelisega valmistooted koos palletidega. ....	59
Joonis 8.2. Silindri ja füüsilise barjääri abil teostatava toote eristamise protsessi lahendused [50]. .....	60
Joonis 8.3. Tööstusroboti kasutamine komponentide võtmiseks ja aluspinnale asetamiseks [50] [51]. ....	61

## SISSEJUHATUS

Lõputöö eesmärgiks oli uurida ettevõttes AS Norma kasutatava eelkoostamispressi tööpõhimõtteid ja protsessi käigus tekkivaid probleeme. Sealjuures olid keskseteks teemadeks ka lahenduste leidmine ning automatiseerimisvõimaluste elluviimise meetodid. Need annavad võimaluse sellise süsteemi loomist, kus mittevastavate toodete tuvastamine ja väljapraakimine on kasutaja jaoks turvaline ning pettusekindel. Lisaks olid olulisel kohal uue töökeskkonna mugavus ja vastavus ergonoomilisuse nõuetele.

Esimeses etapis kirjeldatakse toodete tutvustamist ja seondatavust ohutusvarustuse põhikomponentide ehk turvavöö rihma ning kõrgusregulaatoriga. Sealjuures luuakse ülevaade objektide ülesehitusest, alamosadest ja põhi- ning lisafunktsioonidest. Käesolevas töös olid vaadeldavateks komponentideks kronsteinid, mis paiknevad turvavarustuse küljes ning täidavad eri eesmäärke. Neist esimese abil kinnitatakse turvavöö rihm masina kere külge ning teine võimaldab sõiduki kasutajal seadistada rihma kõrgust, hoides linti stabiilselt õiges sihis ning orientatsioonis.

Järgmisteks teemadeks olid olemasoleva pressimismasina tutvustamine ja alamosadeks jaotamine. See hõlmas nii seadme tööpõhimõtet, tehnilisi parameetreid, koostisosi kui ka protsessilooget skeemi. Sealjuures antakse ülevaade pressilülide tähtsuse ja kasutusvaldkonna kohta. Lisaks kirjeldatakse ka masina seadistamist sobiva toote või tellimuse jaoks. Samuti olid autori arvates olulisel kohal operaatori olemasolu süsteemis ning toodete liikumine lao ja masina vahel. Selleks kirjeldatakse komponentide tellimise meetodit, mille eesmärgiks oli seisakute ennetamine ja pideva tootmisvoo tagamine liinil.

Kolmandas peatükis alustatakse praaktoote etapiga, kus uuritakse selle tuvastamis- ja käsitlemismeetodeid. Kirjeldavateks teemadeks olid puuduva või mittevastava komponentide järjekorraga toote eristamine ning ohutusnõuete tagamine süsteemis. Sealjuures ei olnud olemasoleva seadme pressimistsükkel automaatne ega turvaline, mistõttu võis kaasneda nii inim- kui ka masinvigastuste tekkimise oht. Lisaks ei olnud masina tööprotsessi teostamiseks tehtud piisavat riskianalüüsi, mille üldeesmärgiks on probleemivaba ning turvalise tootmise tagamine. Seega soovib autor uue seadme konstrueerimisel lisada nii kasutaja kui masina ohutust tagavaid elemente.

Edasised teemad hõlmasid nii tekkinud probleemide analüüsi kui ka seadme automatiseerimisvõimaluste uurimist. Selleks kirjeldatakse esmaseid ülesande käigus tekkivaid mõtteid ning lahenduskäike. Sealjuures jaotatakse loodav süsteem alamosadeks, mis lihtsustavad töö ülesehitust ning parima võimaliku meetodi leidmist. Nendeks olid nii kaamera abil toote kontrollimine, vertikaalne objekti pressimise seade, horisontaalselt liikuv sahtlimehhanism, ohutusnuppude ja turvaseadmete olemasolu kui ka komponentide hoiustamise riul ja praaktoote eristamise ning eemaldamise lahendus. Sealjuures antakse ülevaade soovitatavatest kasutatavatest seadmetest ning nende vajalikkusest uues loodavas süsteemis. Lisaks võrreldakse valmislahenduste meetodeid ning kirjeldatakse tööprotsessi nii ühe kui ka mitme operaatori koostöötamisel.

Seejärel uuritakse tööjaama konstrueerimisel arvestatavaid ergonoomika nõudeid. Nendeks on nii keskkond, töötamise protsess ja selle järjekord, ohtude tekkimine kui ka operaatorit mõjutavate vaimsete ning psühholoogiliste faktorite ilmnemine. Sealjuures on olulisel kohal tööpinna seadistamisvõimaluste tagamine, koormuse ühtlane jaotamine ja liigse jõu rakendamist nõudvate tegevuste vältimine. Lisaks peab keskseks teemaks olema masin, mitte operaator. See vähendab tekkivate pingete kujunemist ning loob produktiivsema töökeskkonna. Samuti peavad tagatud olema töökoha valgustatavus ning sobivad heli- ja vibratsioonitasemed. Nende abil muudetakse süsteem kasutajasõbralikuks, mis lihtsustab sealset protsessi. Sealjuures täidetakse nõudeid vastavalt inimvõimete piiride ja harjumuste abil.

Samuti kuulub uue lahenduse leidmise juurde ka maksumuse analüüs. See hõlmab nii kasutatavate komponentide tellimisest ja transpordist kui ka ülesseadmisest ning hooldusprotsessidest tulenevaid kulusi. Sealjuures arvestatakse aluskonstruksiooni peamiste detailide, pneumaatiliste silindrite valiku ja masinnägemise võimekusest tingitud parameetritega. Samuti on olulisel kohal ka lahendusmeetodi ohutus, mis tagatakse elektrooniliste komponentide ja PLC süsteemi toel. Lisaks kirjeldatakse alamkoostude hoidmise, praaktoote eristamise ja kõrvaldamise mehhanisme, mis aitavad tagada korrektset ja kasutaja mugavust soosivat detailide käsitlemisprotsessi.

Seadme tarnija leidmisel alustatakse vajaliku dokumentatsiooni koostamisest. Selleks on üldjuhul masina lõplik spetsifikatsioon, mis kirjeldab nii tööprotsessi, alamkomponente kui ka lepingu sõlmimisest tingitud nõudeid. Nende hulka kuuluvad ka jooniste ja skeemide olemasolu, seadme füüsilised mõõtmed ning soovitatavad tsükli- ja toote vahetamise ajad. Lisaks hõlmab see masina kohaletoometamise, ülesseadmise kui ka hooldusprotsessi tegevusi. Seega on eesmärgiks on osapoolte vahelise mõistmise tagamine ja nõuetele vastava ajaplaani täitmine.

Viimasena kirjeldatakse süsteemi tuleviku plaane, mis hõlmavad uuenduslikke ja protsessi parendavaid lahendusi. Nendeks võivad olla nii kahekorruseline palletkonveier detailide transportimiseks, korrektse ja mittevastava toote eristamise meetodi süsteem kui ka robotiseeritud mehhanismide kasutamine. Nende abil vähendatakse operaatori liikuvust tööjaamas ning suurendatakse kvaliteetse toodangu tekkimist. Samuti annab see võimaluse parima tsükliaja ning täpsuse saavutamiseks. Sealjuures tagatakse ohtlike olukordade vältimise ja töökindluse taseme maksimeerimine, sest automatiseeritud lahenduste abil on komponentide asukoht igal ajal fikseeritud. Lisaks võimaldatakse ebamugava või monotoonse tegevuse eemaldamist ning süsteemi edasist optimeerimist läbi pideva arengu.

# 1. AS NORMA KIRJELDUS

Käesolev lõputöö on teostatud koostöös ettevõttega AS Norma. Firma on rahvusvahelisse Autolivi suurkorporatsiooni kuuluv tööstusettevõtte, mis tegeleb peamiselt sõidukite turvasüsteemi komponentide tootmise ja rihmade koostamisega. Sealjuures on ettevõtte klientideks nii korporatsioon ise kui ka globaalses autotööstuses olevad sõiduki valmistajad.

Ettevõttes on kasutusel lai spekter tööstuslikke protsesse, mis aitavad tagada elupäästvate funktsioonidega komponentide kõrgeid kvaliteedinõudeid. Nende hulka kuuluvad nii CNC-freesimine, treimine, mahterosioon, koordinaatlihvimine kui ka laserkeevitamine ja detailide korrosioonikindluse tagamine galvaanilise katmisega. Samuti leidub ka termilise töötamise ja isotermiline karastamine kui ka lehtmaterjali stantsimise ning plastmassi survevalu meetodeid. Lisaks kasutatakse turvavöörihma koostamisel rakiseid, et tagada komponentide õige orientatsioon tootmises. [1]

Sealjuures kuulub firma alla tütarettevõttena töötav Tööriistavabrik, mille tegevusvaldkondadeks on seeriatootmise rakiste projekteerimine ja valmistamine, sh stantside ja plastvaluvormide tootmine pressimiseadmetele. Lisaks pakub ettevõtte ka ohutussüsteemide toorearenduses olevat inseneriteenust alates uue toote esimese disaini faasist kuni lõpp-toote valmimiseni. [2]

Ettevõtte alustas tegutsemist aastal 1891, kus tegeleti peamiselt plekk-esemete valmistamise ja nende peale trükkimisega. Toodeks olid nii ämbrid, vannid, kastekannud kui ka trossid, toiduainete karbid, purgid jms tarbekaubad. Järgmise viiekümne aasta jooksul vahetas ettevõtte mitmel korral nii nime kui ka omanikke. Selle aja jooksul muutus firma siht ning suuremat rõhku hakati asetama lastele mõeldud toodetele – mänguasjadele. Lisaks võeti pleki asemele kasutusele nii plastmass kui ka puitmaterjalid ja tehnoloogia areng tõi kaasa ka elektriliste mikromootorite ajastu. Aastal 1973 sõlmisid tolle aja Norma ja rahvusvaheline autotööstus koostöölepingu, milles seisnes sõidukite ohutusrihmade tootmine. Sellest kujunes aastate jooksul ka ettevõtte põhitoodang. [3]

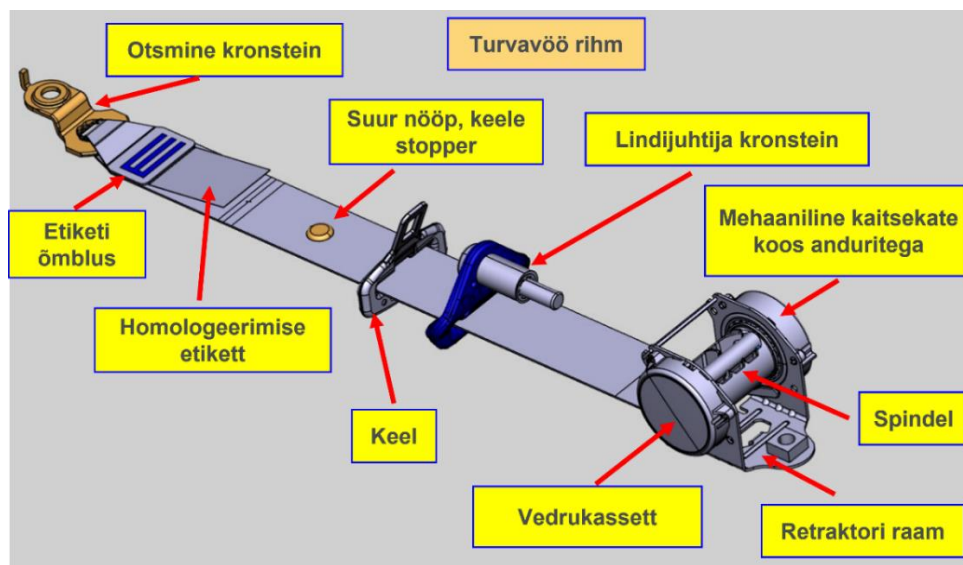
2022 aasta esimese kvartali seisuga oli Normas 952 töötajat. Peamisteks ametikohtadeks olid operaatorid, insenerid, seadistajad ja meistrid. Samuti leidub ettevõttes logistikuid, tootmisanalüütikuid, katsedetailide ja muudatuste koordinaatoreid kui ka teiste valdkondade spetsialiste. Lisaks oli ettevõtte käive samas kvartalis ligikaudselt 27,4 miljonit eurot. [4]

## 2. OHUTUSVARUSTUSE KOMPONENTIDE TUTVUSTUS

### 2.1 Turvavöö rihm

Turvavarustuse üheks põhikomponentideks on turvavöö rihm, mis koosneb erinevatest alamosadest. Nendeks on peamiselt keel, lint, homologeerimise etikett, otsmine kronstein ja retraktor ehk rull (vt Joonis 2.1). Viimane koosneb omakorda nii üleskeeratavast spindlist ja vedrukassetist, raamist, mehaanilisest kaitsekattest kui ka lukustist ning liigkiiruse või jõu mõjul aktiveeruvast andurist. Sealjuures saab lisafunktsioonide näitena tuua nii suure kui ka väikese nõobi olemasolu, mis on vastavalt keele või lindi liikumise takistamiseks sõidukis. Samuti võib kohata ka lasermarkeeringuga komponendi kasutamist, retraktori raami külge kinnituvat lindisuunajat, lapseluku mehhanismi, mürasummutamise viltide olemasolu jms kliendi või kasutaja mugavust soodustavate komponentide kasutamist.

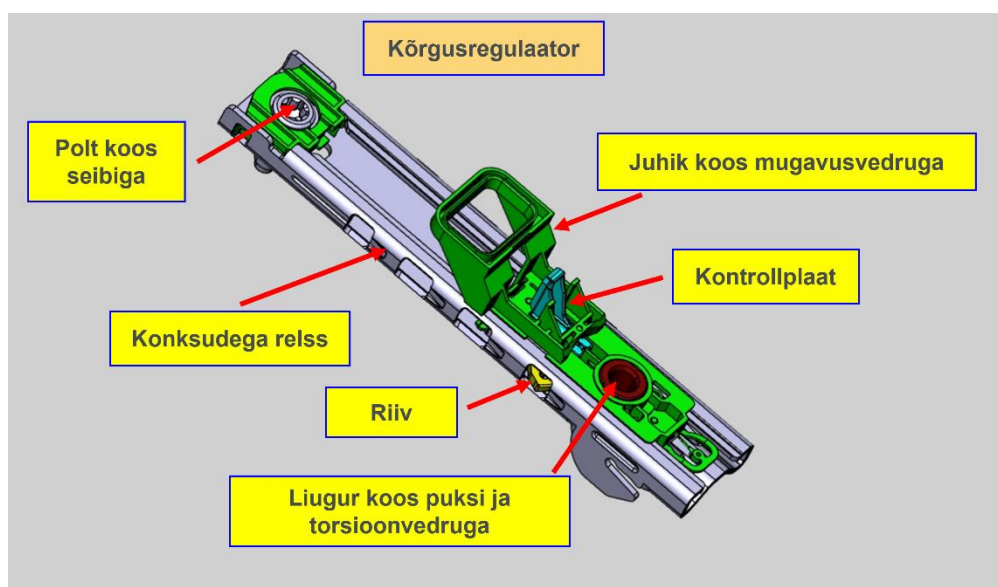
Lisaks tuleb arvestada ka turvavöö paiknemise asukohaga autos. Olulisel kohal on sõidukite tehnilised näitajad ja füüsilised gabariitmõõtmed. Sealjuures nii esimeses, teises ja kolmandas istmerekas kui ka keskel või ääres istudes, on ohutusrihma kinnitamisvõimalused, ülesehitus ja nii-öelda käeliskus erinevad. Seega täidavad sõiduautode, maasturite, kaubikute ja veoautode turvavööelemendid küll sama eesmärki, kuid võivad teineteisega võrreldes olla erisugused. Lõputöö üheks vaadeldavaks detailiks on turvavöö rihma küljes olev otsmine kronstein, mille abil kinnitatakse see sõiduki kere külge (vt Joonised 2.1 ja 2.3).



Joonis 2.1. Turvavöö rihm koos peamiste komponentidega.

## 2.2 Kõrgusregulaator

Turvavarustuse teiseks põhikomponendiks on kõrgusregulaator, mis üldjuhul paikneb sõiduki B-piilari küljes öla kõrgusel. Nimest tulenevalt aitab see kasutajal seadistada turvarihma kõrgust. Selle komponentide hulka kuuluvad nii konksudega relss, juhik, liugur koos puksiga, kaks riivi, kleebitav etikett kui ka kompressioon- ja torsioonvedru ning kontrollplaat (vt Joonis 2.2). Lisafunktsioonide hulka võib lugeda poldi ja seibi kasutuse ning mugavusvedru olemasolu, mis mõjutavad kasutaja heaolu. Kõrgusregulaatori puksi avasse kinnitatakse turvarihma teine kronsteinidest, mille eesmärgiks on lindi hoidmine ning liigutamise võimaldamine (vt Joonis 2.3). Lõputöö järgnev osa keskendub eelnevalt mainitud kronsteinide koostamisseadmetele- ja tootmisprotsessidele.



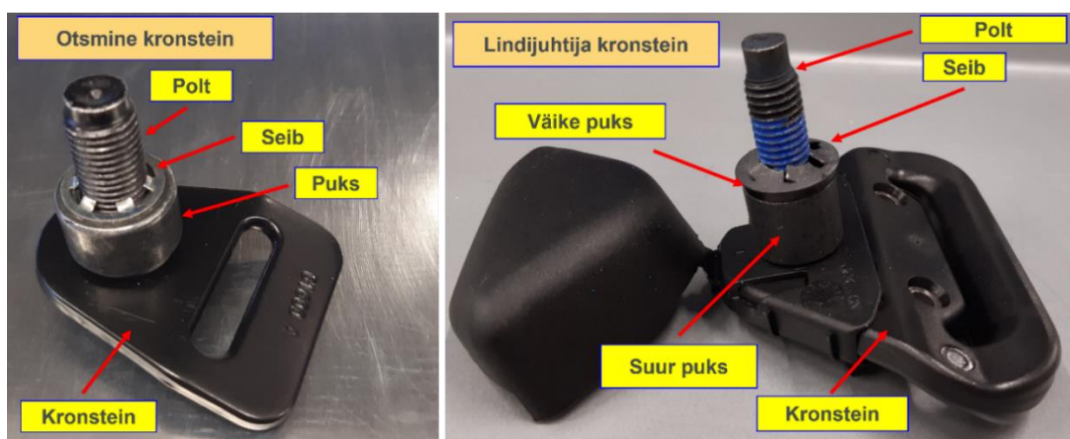
Joonis 2.2. Kõrgusregulaator koos peamiste komponentidega.

## 2.3 Eelkoostatavad tooted - pressitavad kronsteinid

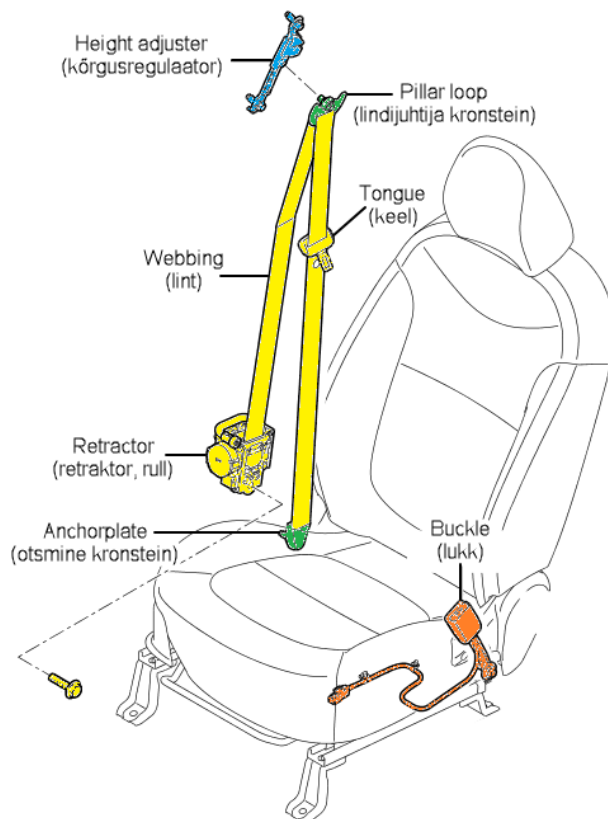
Vaadeldavad tooted koosnevad mitmest alamosast. Peamiselt on nendeks polt, kronstein ja seib. Lisaks võib sellel olla ka eripaksusega pukse, millega reguleeritakse pressitava seibi kõrgust (vt Joonis 2.3). Klientide ja sõidukite erisuse tõttu on Normas kasutusel kolmkümmend teineteisest eristuvat pressitavat toodet (vt Lisa 1). Need saab jaotada peamiselt kahte suurde gruppi – otsmine ja lindijuhtija kronstein.



Neist esimene kinnitatakse auto istme alla või selle lähedusse ühendamaks turvavööd sõidukiga ning teine varasemalt mainitud piilari küljes paikneva kõrgusregulaatori külge (vt Joonis 2.4). Kuna toodete valmistamine toimub varem kui nende kinnitusprotsess turvarihma külge, võib neid nimetada ka eelkoostavateks toodeteks. Sealjuures kasutatakse koostamiseks pressimismasinat, mille silindri liikumine ja pressimistsükli teostamine toimub manuaalselt inimjõu toimele.



Joonis 2.3. Otsmine (asetseb vasakul) ja lindijuhtija kronstein (asetseb paremal) koos komponentidega.

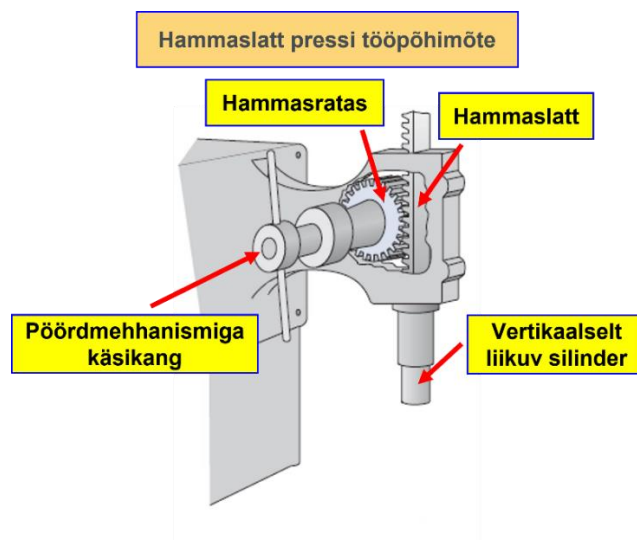


Joonis 2.4. Turvavarustuse komponentide paiknemine sõidukis. Joonisel on kollasega toodud turvavöö rihtm koos kinnituspoldiga, sinisega kõrgusregulaator, oranžiga lukk keele komponendi sisestamiseks ja rohelisega lõputöös vaadeldavad kronsteinid. [5]

### 3. ÜLEVAADE OLEMASOLEVAST PRESSIMISMASINAST

#### 3.1 Seadme põhimõte ja tehnilised parameetrid

Pressimismasin on manuaalselt töötav süsteem, mis on mõeldud väikeste partiide tootmise jaoks. Masina tööpõhimõte põhineb hammasratta ning hammaslatti omavahelisel liikumisel. Sealjuures on neist esimese külge kinnitatud pöördmehhanismiga käsikang, mille abil on seadme operaatoril võimalik genereerida pöörlev liikumine (vt Joonis 3.1). Teine komponent on üldjuhul statsionaarne ning liigub hammasratta poolt tekitatava energia abil. See tähendab, et kangilt saadav pöörlemine muundatakse pressimissilindri jaoks vertikaalseks üles-alla liikumiseks.



Joonis 3.1. Hammaslatti pressi tööpõhimõte [6].

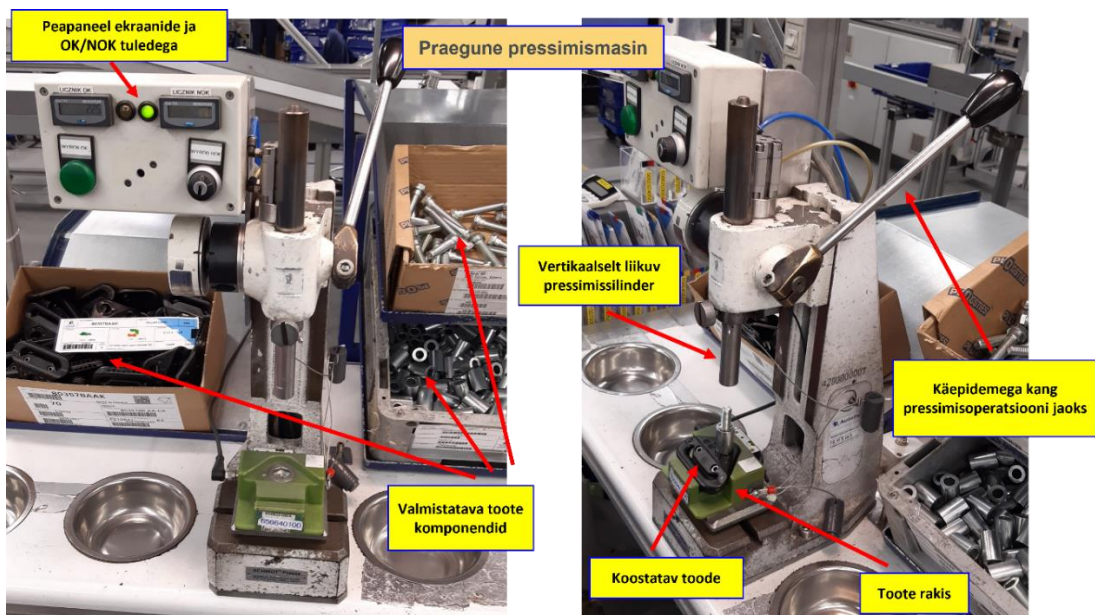
Kasutatava seadme mõõtmed on vastavalt 110 x 165 x 360 mm (pikkus x laius x kõrgus) ning mass 8,5 kg. Toote pressimiskangi maksimaalne pöörderaadius on 95° ja käik 40 mm. Lisaks on teoreetiline saavutatav jõud ligikaudselt 1,2 kN. Samuti vajab seade töötamiseks nii elektri- kui ka pneumaatikaühendusi. Kasutatavateks suurusteks on vastavalt 220 V ja 5,5...6,5 bar suurune rõhk.

Sealjuures on lõputöös kasutatav seade nii-öelda parema käeline. Sama tootja uuemad pressid on aga mõlema poolse ülesseadega. Selle teostamiseks tuleb kangi kinnitusemehhanism tõsta teisele poole ja masina külge kinnitada. Lisaks on seadmel kangi lukkumise süsteem (HS), mis aitab tagada liinil kvaliteetse toodangu. Selle abil antakse operaatorile märku pooleli jäävatest operatsioonidest ning takistatakse mittevastava toote pakkimist ja edasisattumist järgnevatele tootmisprotsessidele. Toote valmistamise tsükli aeg on 5 sekundit.

## 3.2 Pressimismasina põhiosad

Eelkoostatava toote press koosneb peamiselt kolmest osast. Nendeks on inimjõul liikuv kang, peapaneel ja pressimissilindriga rakis kasutatavate kronsteinide jaoks (vt Joonis 3.2). Lisaks paikneb press laua või aluse peal, kus samuti asuvad ka riulid ja alumiiniumkausid kasutatavate komponentide jaoks. Peapaneeli abil on operaatoril võimalik näha, kas pressitud lõpp-toode on sobilik või mitte. Sellest annavad märku vastavalt roheline ja punane signaaltuli. Sealjuures tekib mittevastav toode juhul, kui silinder ei liigu täielikult välja ning liikumiskäik jääb poolikuks. See tähendab, et operaator lasi kangi liiga vara tagasi ja enkoodri maksimaalne asend jäi saavutamata.

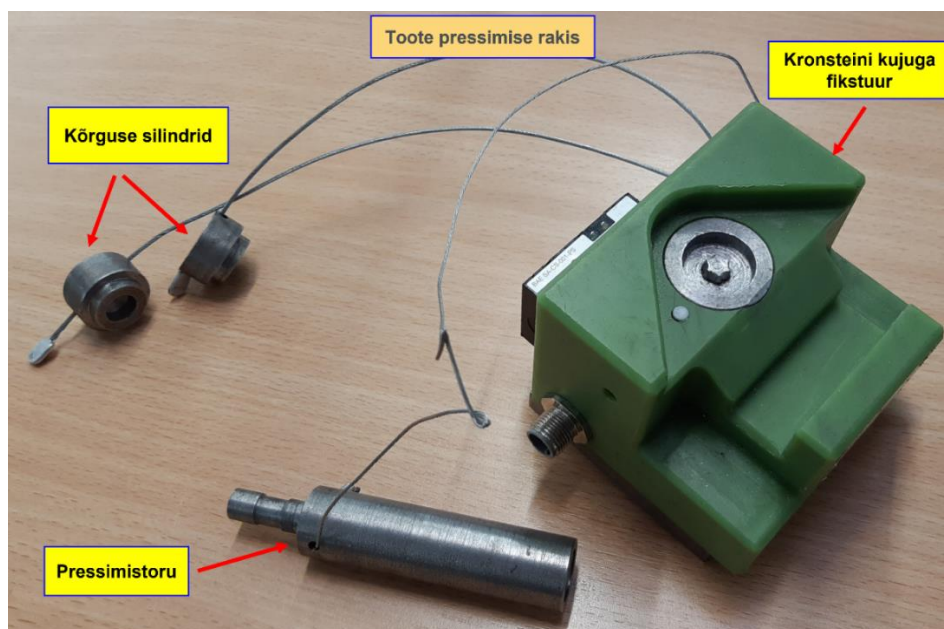
Samuti asuvad paneelil kaks ekraani, millelt on võimalik lugeda nii korrektselt pressitud kui ka praak-tükkide koguarvu. Need annavad tootmistöötajale ülevaate, kui suur osa toodangust on nõuetele vastav. Kuna sobilik ja mittevastav toode tuleb teineteisest eraldada, on operaatoril füüsiliselt võimalik tükid ise üle lugeda ning kontrollida ekraanil olevate väärtustega. Tulemused peavad omavahel klappima. Vastasel korral võib valesti pressitud toode sattuda järgmisele tootmisliinile ning jõuda ka ohutusrihma külge või kliendini. Sealjuures on nii töövahetuse alguses kui ka toote koostamise jätkamisel operaatori üheks ülesandeks veenduda, et loenduri väärtus algab nullist. Kui aga tulemus on olemas, tuleb see eemaldada. Selleks on ekraanide alumises osa sinine lüliti, millele vajutades taaskäivitatakse koguse lugemise mehhanism manuaalselt. Masina käivitamisel viiakse seade enda algseadistusse automaatselt ning loenduri väärtus algab taaskord nullist.



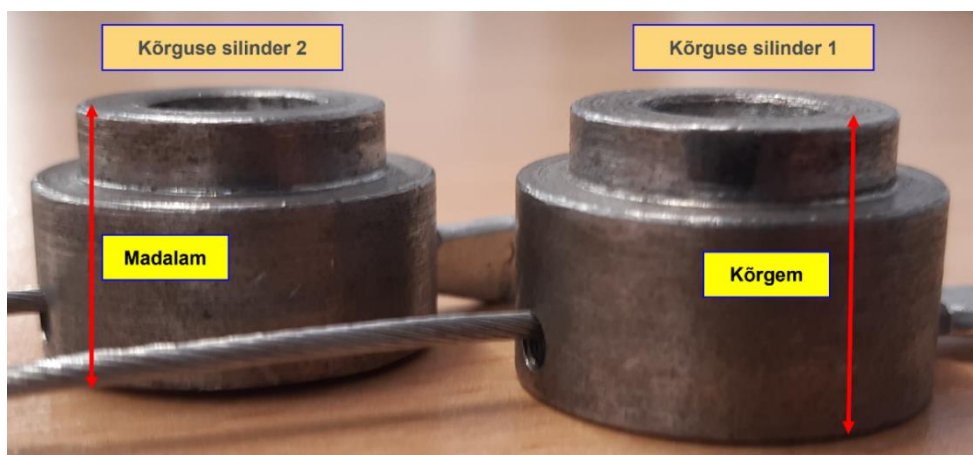
Joonis 3.2. Eelkoostamise pressimismasin koos komponentidega.

Viimaseks seadmelülüks on rakis, mida kasutatakse toote stabiilsena hoidmisel ning pressimistsükli teostamiseks. See koosneb omakorda neljast osast. Nendeks on pressimissilinder, süvis või šabloon, kaks kõrgussilindrit ja poldipesa (vt Joonis 3.3). Neist esimese eesmärgiks on nii toote küljes oleva seibi kui ka teiste kasutatavate komponentide pressimine õigele kõrgusele. Selle vertikaalseks liigutamiseks on seadme küljes pöörderaadiusega käsikang, mille liikumine on tingitud inimjõu rakendamisega. Sealjuures tuleb arvestada ka toodete erinevusega, sest ühel versioonil pressitakse seib täielikult vastu teist detaili, teisel jääb komponentide vahele teatud distants. Üldjuhul on selleks 10-15 mm. Seibi kõrgus tootes määratakse kõrgussilindrite abil (vt Joonis 3.4). Nendega seadistatakse pressimissilindri minimaalne ja maksimaalne lõpp-asend. See tähendab, et kui operaatori kangiliigutus jääb antud tolerantsivahemikku loetakse lõpp-toode korrektseks. Vastasel juhul hakkab ekraanil põlema punast värvi tuli, mis iseloomustab praakoperatsiooni tekkimist.

Järgmiseks on rakisel süvis, et tagada õige kujuga komponendi kasutamine. Mittevastava toote asetamisel ei mahu see rakisesse või jääb silmaga märgatavalt loksuma. Lisaks peab fikstuuris olev andur saama signaali, sest selle puudumisel on seadme kang lukus ning pressimistsükli alustada ei ole võimalik. Samuti on rakises vastava toote jaoks sobiv poldipesa. Samaselt eelnevale ei ole sinna võimalik asetada vale diameetriga komponenti. Sealjuures on pesas ka kõrgendatud kuusnurga kujuline osa, mis takistab mittevastava või teist tüüpi poldi kasutamist.



Joonis 3.3. Toote pressimise rakis koos komponentidega.



Joonis 3.4. Pressimismasina seadistamisel kasutatavad kõrguse silindrid.

### 3.3 Masina seadistamine sobiva toote jaoks

Operaatoril on teada kõikide toodetavate lõpp-toodete artiklinumbrid. Tellimuse tekkimisel on ta kohustatud valima õigele tootele sobiva rakise. Vastasel korral samal tootmisliinil toota ei ole võimalik. Sealjuures on igal fikstuuril ainulaadne kood, mis on kleebitud rakise enda peale. Samuti on operaatori abistamiseks loodud ka tabel, mis iseloomustab eelkoostamise komponendi ja kasutatava rakise omavahelist vastavust.

Võttes õige fikstuuri, tuleb see asetada ning kinnitada masinaplaadi külge. Selle jaoks on seadmealusel polt ning rakisel ava, mis omavahel kohakuti peavad olema. Seega rakist tagurpidi või teises orientatsioonis kasutada ei ole võimalik. Sealjuures on pressimissilinder ja tootes kasutatav polt alati teineteise suhtes tsentreeritud.

Seejärel tuleb operaatoril asetada võti tööpaneelil asuvasse pesasse ning pöörata päripäeva. Hoides võtit paar sekundit selles asendis hakkab paneelil vilkuma suur roheline tuli. Lisaks loenduri nullimisele, algab masina seadistamise etapp uue toote jaoks. See tähendab, et operaator peab asetama kõrgusesilindrid teineteise järel ning teostama maksimaalse pressimise liigutuse. Sellega pannakse paika kasutatava toote seibi kõrguse tolerants. Masina seadistamise protsess võtab aega ligikaudselt mõni minut ning selle edukal teostamisel saab liini operaator alustada komponentide tellimise ja toodete koostamisprotsessidega.

## **4. LINDIJUHTIJA JA OTSMISE KRONSTEINI KOOSTAMISE PROTSESS**

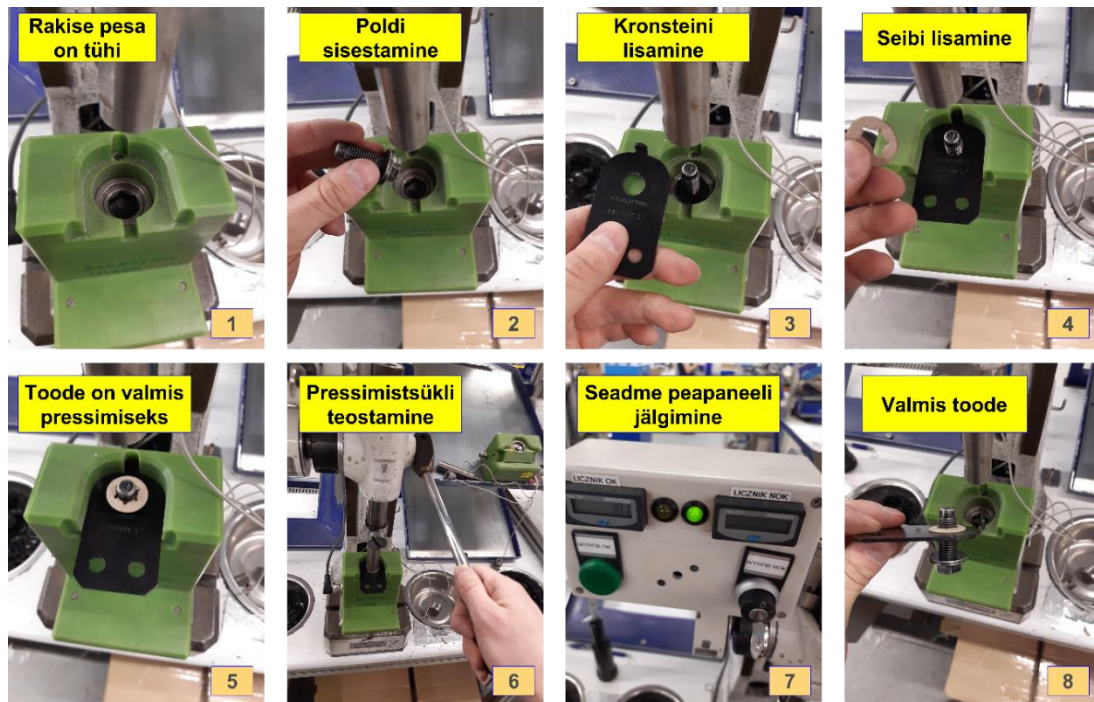
### **4.1 Komponentide tellimine tootmisliinile**

Komponentide tellimisel kasutatakse Kanban süsteemi, mida iseloomustab kulusäästlik tootmine. Meetodi abil keskendutakse nii üleliigsete ja lisategevuste osakaalu vähendamisele kui ka väärtust loovate protsesside ning tootlikkuse suurendamisele. Lisaks on olulisel kohal jätkusuutliku arengu tagamine ja pideva infovoo liigutamine erinevate üksuste vahel. Samuti kuulub meetodi kasutamine laovara kontrolli ja haldamissüsteemi juurde, mis aitavad tagada minimaalset komponentide varu ning ennetada defitsiidi teket. Seega edastatakse informatsiooni abil ülesanded mida toota, kui suurtes kogustes ning milliste vahenditega. See tähendab, et tootmisliinile tellitakse sobiv kogus tooteid, et neid jõuaks ära tarbida. Sealjuures üritatakse vältida koostamisprotsessi käigus komponentide otsasaamist ning sellest tulenevaid liinide seisakuid. Seega on eesmärkideks nii tootmistähtaegadest tingitud tarneaegade täitmine, maksimaalne ressursi kasutamine kui ka probleemsete osade ennetamine ja vältimine. [7] [8]

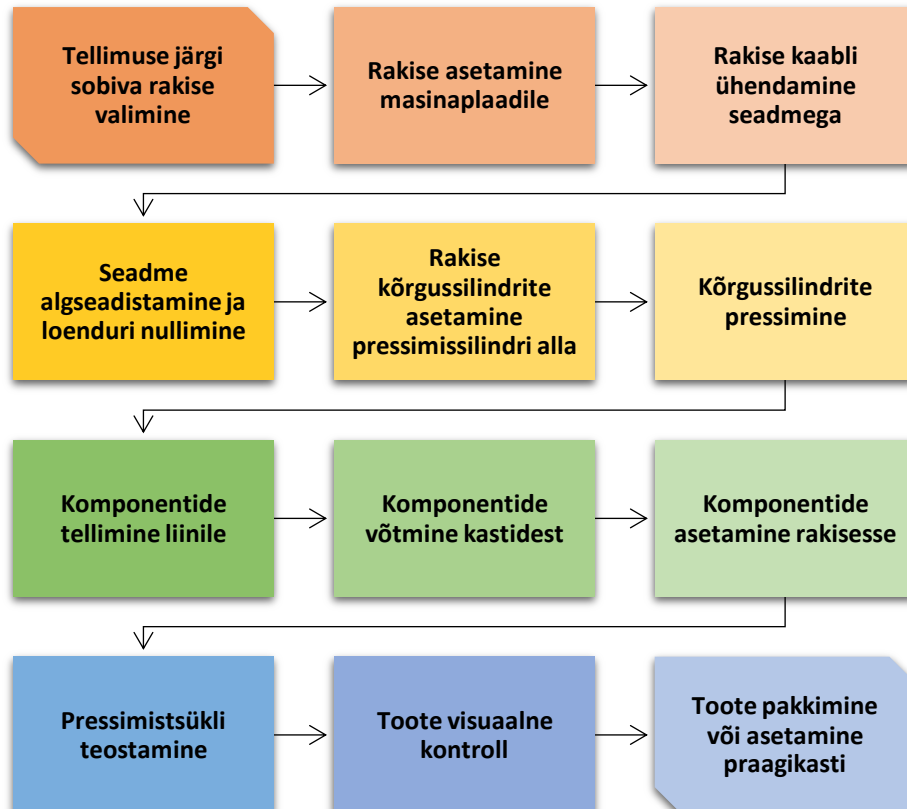
### **4.2 Toote koostamisprotsess praeguse seadme abil**

Töö alustamisel võetakse kastidest õiged komponendid ning asetatakse rakise peale. Sealjuures tuleb jälgida kasutatavate komponentide õigsust ning paiknemisjärjekorda. Seda on võimalik kontrollida liinil asuvate tootejooniste abil. Õigete komponentide kasutamisel laseb masin pressimistsükli alustada. Selleks tuleb operaatoril pöördmehhanismiga kang ülevalt-alla tõmmata ning vaadata, et silinder teostab enda käigu maksimaalselt. Järgmiseks tuleb kang tagasi lasta ning jälgida seadme peapaneeli tulesid. Rohelise tule süttimisel antakse operaatorile märku, et pressimistsükkel õnnestus. Sellisel juhul tuleb pressitud toode asetada spetsiaalsesse kasti ning anda hiljem edasi järgmisele operatsioonile. Üldiselt on selleks turvarihma koostamine.

Tsükli ebaõnnestumise korral hakkab pressimisoperatsiooni kang järk-järguliselt ning tõrkuvalt tagasi liikuma – ehk ei liigu vabalt. Lisaks ilmub ekraanile punane tuli, mis iseloomustab mittevastava toote teket. See tähendab, et koostatud produkt tuleb asetada masina punasesse praaktoote kasti. Sealjuures ei saa järgmist pressimistsükli alustada kuni kasti andur ei ole saanud vajaliku signaali, et toode on tõepoolest kõrvaldatud. Kui vajalik protseduur on teostatud, saab alustada komponentide asetamist rakisele ning jätkata lõpp-toote koostamist (vt Joonised 4.1 ja 4.2).



Joonis 4.1. Toote koostamise protsess.

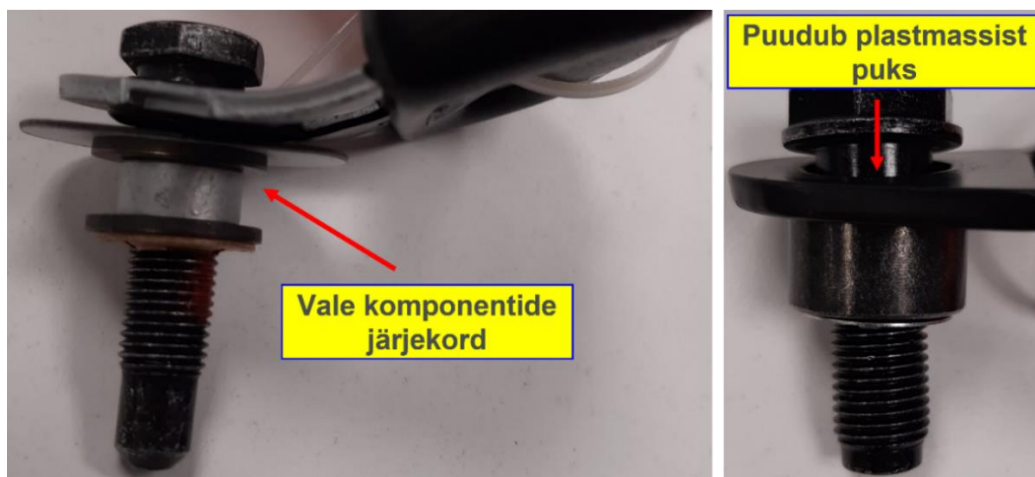


Joonis 4.2. Pressimismasina voodiagramm.

## 5. OLEMASOLEVA MASINA PROBLEEMSED KOHAD

### 5.1 Puuduv komponent või vale asetsemisjärjekord

Praegusel seadmel ja toote pressimise meetodil on mõningaid puudujääke. Nii pressimismasinal kui ka valmistoodangu liinidel on leitud mittevastavaid tooteid. Peamiselt saab need jaotada kahte kategooriasse. Esimeseks on toode puuduva komponendiga (vt Joonis 5.1). Sellisel juhul on pressitava seibi lõpp-kõrgus väiksem kui nõutud. Sealjuures on praegune masin suuteline eristama õiget ja mittevastavat komponentide asetsemise distantsi ning sellest ka tootmisliini operaatorit teavitama. Kui aga komponendi mõõtmed on piisavalt väikesed, ei pruugi masin seda tuvastada, sest pressimise kõrgus jääb tolerantsi piiridesse. Sellisel juhul süttib seadme peapaneelil roheline tuli ning tootmistöötaja saab toote asetada pakkimisealale järgnevate tegevuste ja protsesside jaoks. Sealjuures ei ole võimalik vähendada komponentide tolerantsi piire ega suurendada olemasoleva masina töökindlust. Seega ei ole seadmel olev kontroll piisav. Teiseks mittevastavuseks on toode, mille komponentide järjekord ei vasta joonisele (vt Joonis 5.1). Lisaks võib sellisel juhul toote lõpp-kõrgus olla ka õige. Sealjuures on mõlemat probleemi praegusel tootmisliinil keeruline tuvastada, mis iseloomustab uue seadme arendamisvajadust.



Joonis 5.1. Toote koostamisel tekkivad probleemid.



## 5.2 Tootmises kasutatavate rakiste hulk

Komponentide erisuse tõttu on tootmises kasutusel suur hulk erinevaid rakiseid. Sealjuures võtab nende otsimine, liini külge ühendamine ja seadme seadistamine uue toote jaoks vajalikku ressursi ning aega. Probleemi saab optimeerida, kui vähendada fikstuuride arvu. Selleks saab rakised liigitada, kas kasutatavate kronsteinide või poltide alusel. Sealjuures on võimalik muuta rakise kasutamise põhimõtteid. Olemasoleva rakise eesmärgiks on õige komponendi kasutamise kontrollimine. Selleks on sobiva kronsteini-kujuline süvis, kuhu mittevastavat toodet asetada ei ole võimalik. Uue lahendusena saab samalaadset kontrolli teostada kaamera abil, mis jälgib komponentide väliskontuuri. Selle teostamiseks saab kasutada näiteks Cognex, Keyence jms objektituvastusega tööstuslike süsteeme või profiiliandureid. Sealjuures tuleb erinevate potentsiaalsete lahenduste seast sobiva leidmisel arvestada nii hinna kui ka töökindluse ja võimekusega. Lisaks peab toote pressimise ajal olema piisav kronsteini puute- või toetamispiind. Vastasel juhul ei ole pressimistsükkel stabiilne ning toode võib pesast nihkudes deformeeruda või puruneda. Seega on rakise olemasolu tähtis, kuid süvise osa muutmisevõimeline.

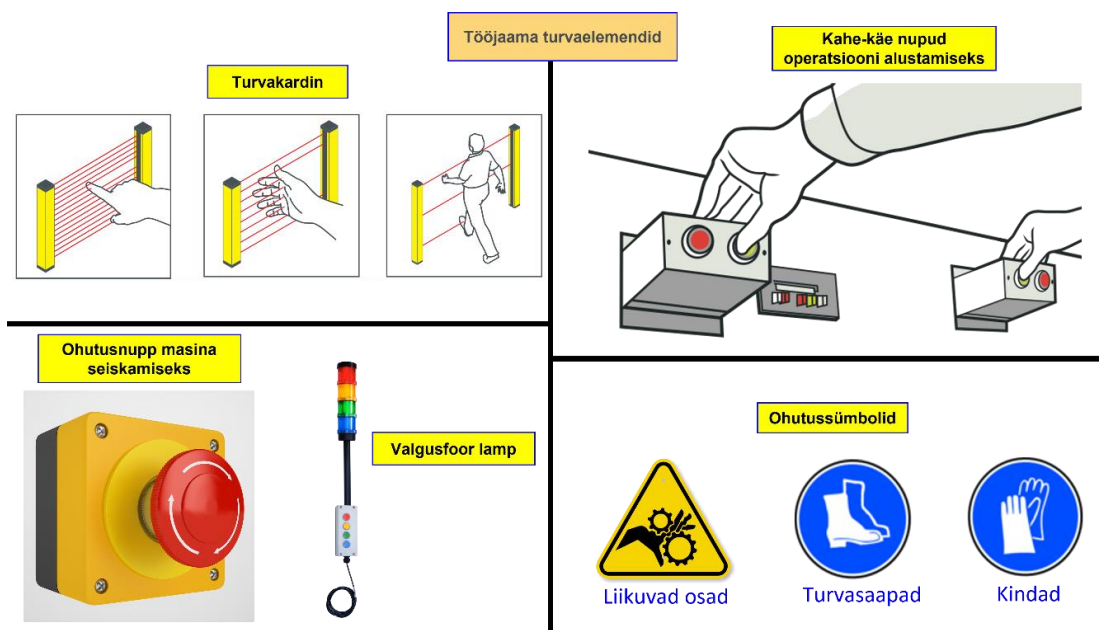
## 5.3 Tööjaama ohutusnõuded

Seadme töötsükkel põhineb käsikang mehhanismi liigutamisel. Kuna tegemist on manuaalse ja ühe käe operatsiooniga, ei ole see piisavalt turvaline. Seega ei ole tagatud kõik ohutusnõuded. Sealjuures võivad näpud jääda pressimise silindri ja rakise või kasutatavate komponentide vahele. Samuti võib pressitud objekti küljest eemalduda ebavajalikke ning teravaid detaile, mis halvimal juhul võivad ka inimvigastusi tekitada. Probleemi lahendamiseks soovib autor uue automaatseadme koostamisel lisada turvalisust tagavaid elemente. Nendeks võivad olla nii kahe käe nuppude kasutamine, turvakardina olemasolu, kui ka ohutusnupp masina seiskamiseks ning võimalikult väikese vaate ning suure kaitseseinaga pressimisala operaatori turvalisuse tagamiseks (vt Joonis 5.2).

Neist esimese abil on operaatoril ainult üks võimalus pressimistsükli alustada. Selleks on mõlema käega samaaegselt nuppude vajutamine. Sellise meetodi abil peab tootmistöötaja enne operatsiooni olema veendunud, et silindri liikumist ei takistata ning teisi segavaid faktoreid süsteemis ei ole. Sealjuures pole seadme operaatoril võimalik enda jäsemeid liikuvate osade vahele jätta, sest tema mõlemad käed on samaaegselt hõivatud. Sellega tõstetakse süsteemi turvalisust ja tagatakse üks osa ohutusnõuetest.

Lisaks aitab riske maandada turvakardina olemasolu, mis peatab ohtliku olukorra tekkimisel masina automatprotsessi. See tähendab, et pressimistsükli ajal on kardin aktiivne ning turvapiiri ületamisel lõpetab seade koheselt töö. Sellisel juhul tuleb töötajal PLC ekraanil kinnitada juhtunut, veenduda, et tööala on taas ohutu ning masin viia tagasi töörežiimi.

Lisaks on kohustus uute seadmete arendamisel kasutada suurt ohutusnuppu, mille vajutamine tagab turvalisuse igal ajahetkel. Selle abil on töötajal võimalik protsess peatada nii masina riknemisel kui ka erinevate riskantsete olukordade tekkimisel. Sealjuures tuleb juhul, kui nupp on alla vajutatud ning masin seiskunud ja soov jätkata varasemat tööprotsessi, see tagasi enda poole tõmmata ning kätuda sarnaselt eelnevalt mainitud turvakardina alasse sattumise olukorraga. Lisaks on Autoliv korporatsioonil ohutusnõuete standard, mis käsitleb nii seadme konstrueerimise kui ka protsessis tekkivate probleemide ennetamise ja lahendusmeetodeid. Seega tuleb kõik eelnev kaasata uue seadme arendamise- ja ehitusplaanidesse.



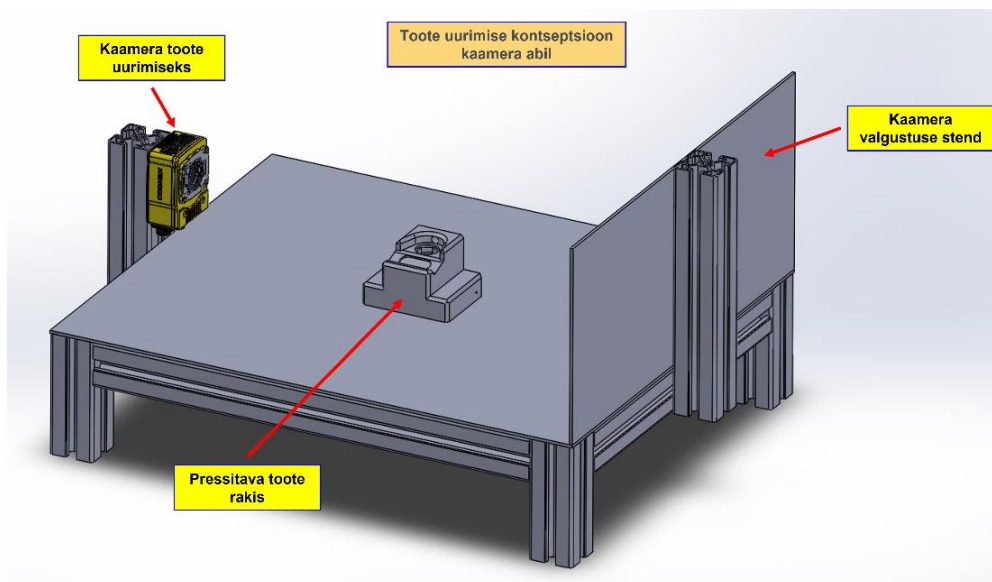
Joonis 5.2. Erinevate turvaelementide kasutamine ohutusnõuete tagamiseks uue tööjaama konstrueerimisel. Nendeks on turvakardin, kahe-käe nupud operatsiooni alustamiseks, ohutusnupp seiskamiseks, valgusfoor lamp ning ohutussümbolid operaatori tähelepanu tekitamiseks [9] [10] [11] [12] [13].

## 6. UUE SEADME ARENDAMINE

### 6.1 Esialgse kontseptsiooni loomine

Uue seadme arendamist alustas autor probleemsete osade esiletõstmise, lahendusviiside loomise ning nende analüüsimisega. Esimeseks on valmistoote kontrollimismeetodi parendamine. Selleks loodi süsteem, kus statsionaarselt paikneva rakise peal asub nii-öelda pressitav toode. Sealjuures vaadeldakse seda külje pealt kaamera abil (vt Joonis 6.1). Selle eesmärgiks oli mittevastavate toodete eristamine, praakimine ning tootmisest kõrvaldamine. Samuti oli uuritavateks alamosadeks õigete komponentide olemasolu, järjekord ning pressitud seibi kõrgus.

Lisaks põhines esialgne kontseptsioon olemasoleval masinal, kuhu oli juurde lisatud kaamera kasutamise võimalus. Töös kasutatav kaamera on seitsmenda generatsiooni Cognex ettevõtte toodang, mis on piisava masinnägemise võimekusega. Selle valik põhines peamiselt ettevõttes olevatel tööjaamadest ja protsessidel, kus sarnane lahendus kasutusel on. Lisaks ei olnud vaja sellekohast lisa investeeringut, sest seade oli juba olemas ning kasutuskõlblik. Siinkohal soovib autor rõhutada, et praegune meetod ei ole ainuke, sest tööstuslikke kaamerasüsteeme on veel teisigi ning nende kasutusvaldkond üüratult lai. Seega sobivad lahenduste hulka ka teiste ettevõtete toodangud.



Joonis 6.1. Toote uurimise kontseptsioon kaameralahenduse abil.

## **6.2 Cognex IS-7801 kaamera ja In-Sight Explorer programmi ülevaade**

Kasutatav kaamera on piisavalt võimekas ja tarkvara kergesti arendatav. See sobib masinnägemise valdkonda, kus tööstuslikus keskkonnas objekti vaadelda ning selle erinevaid alamosasid tuvastada [14]. Selleks on süsteemil samaaegne protsesside töötlemise võimalus, mis tagab kiire andmeühenduse ning piisava täpsuse. Sealjuures on maksimaalseks kasutavaks resolutsiooniks on 1280 x 1024 pikslit (laius x kõrgus) 76-kaadriga sekundis. See sõltub omakorda nii koodi pikkusest ja keerukusest kui ka seadme jõudlusest ning tekkivast latentsusajast. Lisaks on kaamerale ka MicroSD mälukaardi kasutamise võimalus, millele saab salvestada nii programmikoodi kui ka töötlemiseks vajaminevaid vaadeldavate esemete ja komponentide pilte. Sealjuures on suurimaks võimalikuks 32 GB suurune andmete hulga salvestamise ruum. Ülesande keerukusastme alusel on praegusel hetkel kasutusel ainult 8 GB. [15] [16]

Samuti on seade oma mõõtmetelt väike 35,7 x 60,5 x 90,1 mm (pikkus x laius x kõrgus) ja massilt kerge 240 g. Sealjuures on kasutavateks elektrilisteks parameetriteks 24 VDC pinge ja 1,5 A voolutugevus ning seadme seadme ja arvutikeskkonna ühenduse loomine võimaldatud Ethernet kaabli abil. Samuti on olulisel kohal sobivate valgustustingimuste tagamine. Praeguses ülesandes toimub see nii kaamerasüsteemi siseste kui ka väliste kontrollmehhanismide kaudu. Selleks saab kasutada ka suurt valgustusstendi, et vaadeldav toode oleks võimalikult hästi nähtav ning selle kontuurid ja alamosad tuvastatavad. Samuti mõjutavad tulemusi erinevate objektiivide olemasolu ning kasutamisevõimalused. Sealjuures sobivad kaamerale nii S- ja C-tüüpi seadmevalikud, mis tagavad süsteemi head omadused erinevates keskkondades. Lisaks jääb toote töötemperatuur vahemikku 0...50°C, mis suurendab probleemide lahendamisevõimekust erinevates töövaldkondades. Kuigi seade on hea vibratsiooni kindluse ja IP67 kaitsmistugevusega, ei soovitata seda kasutada väga niiske, tolmu ja kõrge kuumusega keskkonnas. [15] [16]

Võrgus olevate Cognex seadmete nägemiseks, seadistamiseks ning masinnägemise valdkonnas kindlate ülesannete andmiseks on võimalik kasutada In-Sight Explorer programmi [17]. Sealjuures on praeguses ülesandes selleks versioon 5.7.4. Selle korrektse ja sobiva seadistuse tagamiseks on esimeseks etapiks kaamera pildi fookusesse saamine. Üheks lahenduseks on programmi reaalaaja pildi kasutamine ning kaamera küljes olevate reguleerimiskruvide pööramine täpse ja terava kujutise saamiseni.

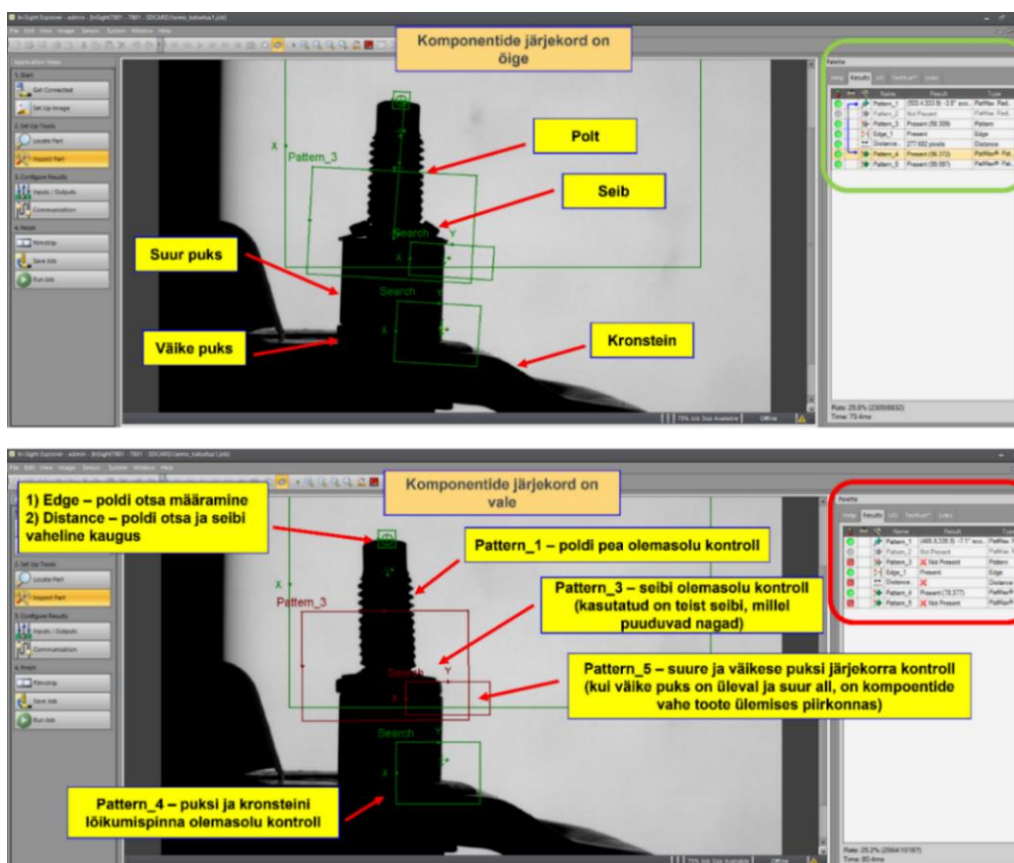
Lisaks on selle kontrollimiseks loodud ka programmisine funktsioon (Focus Metric), mille abil saab kasutaja näha potentsiaalset reguleerimispunkti koos minimaalse ja maksimaalse väärtusega. Parima tulemuse saamiseks peab see olema võimalikult kõrgel – see tähendab, et kaamera pilt on fookuskauguse lähedal. Samuti on programmil ka selle alane automaatne seadistamise süsteem. Selle kasutamise järel saab hakata looma nii-öelda programmikoodi, mille järgi kaamera pilti töötlemata hakatakse. Selleks on erinevate käskude kogum, mille seast tuleb valida enda jaoks sobiv. Nende hulka kuuluvad nii komponendi või kindla mustri otsimine, esemete vahelise distantse määramine, 2-D koodi lugemine, servade, piksliväärtuste ja nurkade leidmine kui ka koguse loendamine pildilt. Funktsioonide kasutamine sõltub kaamera võimekusel ja erinevate võimaluste olemasolul. Lisaks saab kasutada ka matemaatilisi tööriistu, mille abil on võimalik seadistada programmi lõpp-tulemust ja seadme väljundsignaale.

Siinkohal toob autor olukorra, kus programmikood koosneb erinevatest alamfunktsioonidest. Loogiliste funktsioonide (ja, või) kasutamisel saab programmi väljundi üles ehitada selliselt, et see sõltuks kõikidest osadest. See tähendab, et ühe mittevastava tulemuse tekkimisel, on lõpp-tulemus sama väärtusega. Selle eesmärgiks on ebasobiva toote kiire avastamine. Vastasel juhul võib ekraanil olla küll visuaalselt mittevastav tulemus, kuid kaamerasüsteemi enda jaoks defineeritakse seda, kui korrektset tulemust ning edastatakse OK-signaal. Sellisel juhul saadetakse toode edasi järgmisele operatsioonile välja praakimata. Sealjuures saab kasutada ka filmilindi funktsiooni, mille abil salvestatakse kõik mittevastavad pildid ühte kausta. Lisaks on nende juures ka väljundsignaali väärtused, mis lihtsustavad süsteemi hilisemist uurimist ning praaktoote analüüsimisprotsessi. Toodud tingimuste poolest sobivad nii kaamera kui ka programm lõputöö valdkonda ning on üheks parimaks lahendiks sarnaste probleemide lahendamisel.

### **6.3 Kontseptsioonprogrammi loomine ja ülesehitus**

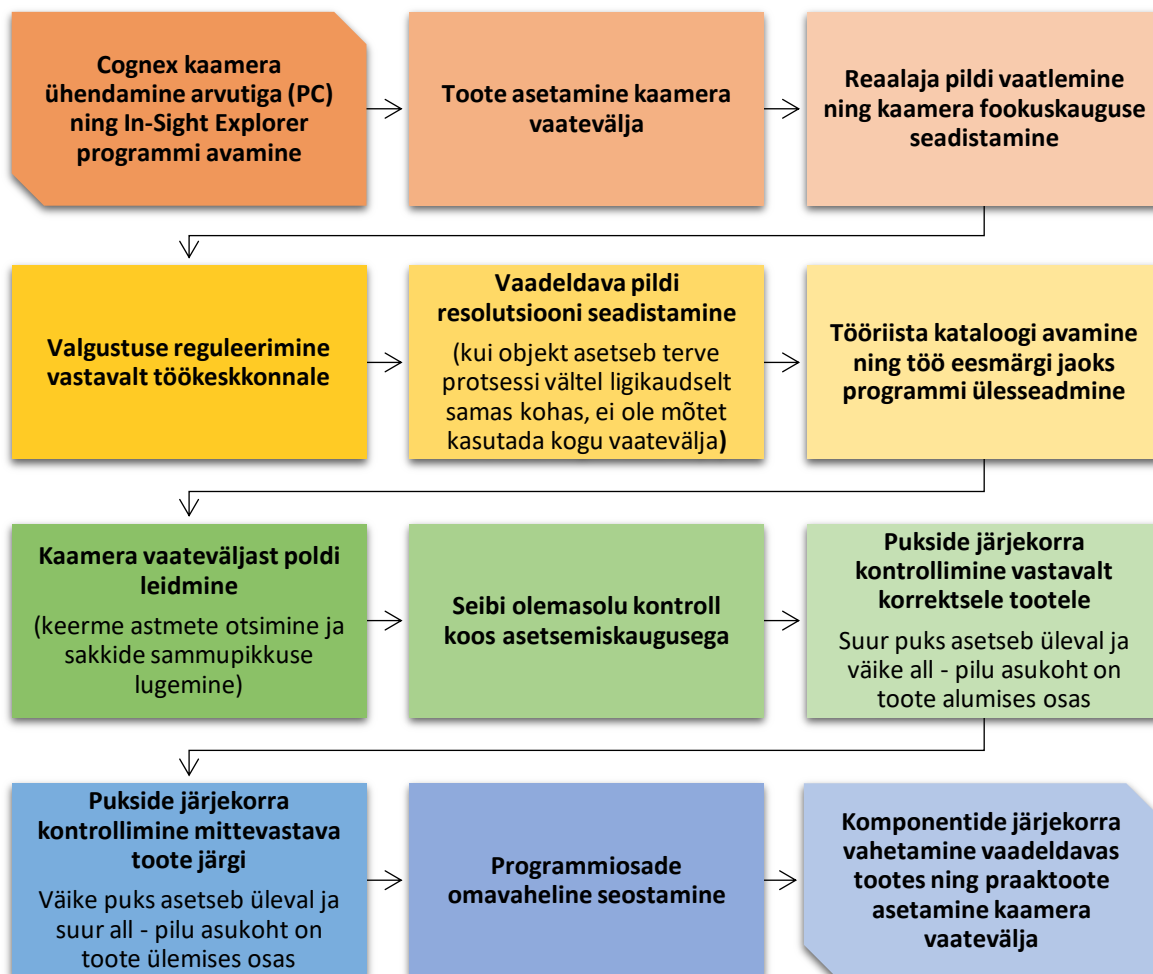
Autori esialgses näites asus rakis võrreldes alusplaadiga alati samas positsioonis. Seega sai eeldada toote komponentide paiknemisasukohta. Sama põhimõtet oli kasutatud ka edasistel tootmisliini kontseptsioonilahenduste arendamisel. Toote vaatlemise programm oli loodud In-Sight Explorer programmis EasyBuilder funktsiooni abil. Selle esimeseks osaks oli kaamera vaateväljast poldi leidmine. Selleks otsitakse keerme astmeid ning loetakse sakkide sammupikkust. Tulemuste ühtimisel seadistusega ilmus paremal olevasse aknasse esimese rea juurde roheline märg. See tähendab, et otsitav komponent on õige ning paikneb sobivas alas (vt Joonis 6.2).

Järgnevalt uuritakse seibi olemasolu ning asetsemiskaugust. Selle tuvastamiseks kasutatakse eelnevalt leitud komponendi ülemist osa, mille tippu joonestatakse horisontaalne servjoon. See märgistab kõrgeimat piiri ning on alati komponendi endaga risti. Sealjuures on ka kasutatava seibi alumine osa joonega märgistatud ning nende mõlema ühendamise abil seadistakse selle paiknemise kõrgus peale pressimisoperatsiooni (vt Joonis 6.2). Samuti on süsteemis erinevate mõõtmetega pukside tuvastamine. Korrektsel tootel on suurem puks üleval ning väiksem all. Kasutatavate komponentide vahele tekib väike pilu, mille uurimiseks on loodud kaks otsingumustrit. Neist esimene paikneb komponendi suhtes ülemises ning teine alumises osas. Sealjuures kontrollivad mõlemad küll sama mustrit, kuid üks olemasolu ning teine selle puudumist (vt Joonis 6.2). See tähendab, et korrektsel tootel tekib pilu objekti enda suhtes alla, mittevastaval üles. Sealjuures kontrolliti esialgsel katsetamisel neist ainult ühte, kuid probleemide tekkimisel lisati ka teine kontroll juurde. Sellisel juhul on ka kaamera kontrollimisprotsess rohkem aeganõudev. Kuna autori arvates oli üheks eesmärgiks kvaliteediprobleemide lahendamine, on seetõttu keskendatud rohkem kontrollimisele kui parima andmetötluse kiiruse saavutamisele.



Joonis 6.2. Ekraanitõmmis In-Sight Explorer programmist, mille abil on võimalik kontrollida toote õigust ning vastavust joonisele. Lisaks annab see ülevaate teostatud vigade ja praagi kohta ning lihtsustab hilisemat analüüsimisprotsessi.

Lisaks oli algse kontseptsiooni tulemusel võimalik sellise süsteemi loomine, kus seadistatud parameetrite abil toimus toote vaatlemine ning selle alamosade kontrollimine (vt Joonis 6.3). See tähendab, et kasutades eelnevalt mainitud programmikoodi ning vahetades tootes olevate komponentide järjekorda, olemasolu või väljanägemist, saab eristada nii korrektset kui ka mittevastavat toodet. See andis omakorda positiivset tagasisidet loodud lahendusmeetodi kohta ning võimalusi selle edasi arendamiseks.



Joonis 6.3. Cognex kaamera ja programmi seadistamise järjekord In-Sight Explorer programmis.

## **6.4 Erinevate seadmete kasutamine samaväärse ülesande lahendamiseks**

### **6.4.1 Keyence IV3-600CA kaamera ja IV-3 Navigator programm**

Lisaks on peale Cognexi ka teisi seadmeid, mille abil on samaväärseid ülesandeid võimalik lahendada (vt Joonis 6.4). Üheks selliseks kasutatavaks seadmeks on Keyence IV3-600CA kaamera. See on samuti masinnägemise võimekuse ja laia vaateväljaga ning suuteline edastatud piltide põhjal otsustama, kas vaadeldav toode on korrektne või mitte. Lisaks on selle abil võimalik tuvastada objekti olemasolu, kogust, mõõtmeid, kujundeid, värve kui ka erinevatel toodetel olevaid servi ning nurki. Sealjuures on süsteemi seadistamiseks 65 võimalikku tööriista, mille abil saab luua ülesannetele vastava programmikoodi. Lisaks on seadmel automaatne valguse kalibreerimise meetod ja 50...2000 mm suurune nägemisulatus, mis annavad piisava variatsiooni probleemide lahendamisel ning eesmärkide saavutamisel. Samuti on tootel hea vibratsiooni taluvus, madal sari-, ja latentsusaeg, IP67 kaitseklass ning 0...40°C suurune temperatuuri kasutusvahemik. Need annavad eelise kasutada kaamerat ka tööstuslikus keskkonnas. Sealjuures on maksimaalseks kasutatavaks resolutsiooniks 1280 x 960 pikslit (laius x kõrgus), mis annab piisava pildikvaliteedi ning aitab kasutaja poolt valitud elemente teineteisest eristada. [18]

Kaamerasüsteemi jaoks toimub programmikoodi koostamine IV-3 Navigator programmi abil, mida on seadistajal lihtne kasutada. Sealne tegevus hõlmab nii korrektsetest kui ka praaktodetest piltide tegemist ning nende abil seadme õpetamist. See toimub tehisintellekti abil, mis suudab edastatud informatsiooni alusel nii sorteerida kui ka eristada vaadeldavad objektid teineteisest. Sealjuures on parima võimaliku seadistuse saamiseks soovituslik kasutada rohkem kui kümme ning maksimaalselt paarkümmend erinevat pilti. Need annavad piisava toodete varieeruvuse erinevates asendites või positsioonides. Sealjuures võib ka liigse informatsiooni edastamine tuua ebatäpse programmi, sest osad matemaatilised seosed võivad omavahel minna vastuollu. Samuti tekitab probleeme suurte andmehulkade haldamine, sest seadme võimekus on piiratud ning info läbitöötamine võtab vajalikku ressursi. Seega võib programm muutuda liiga aeglaseks või tekkida informatsiooni lüngad, mis tööprotsessi mõttes sobilikud ei ole. [19]



Lisaks on loodav kood ebapiisava ning väheste edasiarendamis võimalustega. Sealjuures on tööriistade sisu tootja poolt valmis programmeeritud ning kasutajal ei ole võimalik nende sisu muuta. See võib takistuseks saada nii erineva valgustugevusega keskkondades kui ka keerulisemate toodete uurimisel. Kuigi praeguses töös ei ole vaadeldav objekt oma olemuselt kuigi komplitseeritud, võib see lähiaastatel muutuda. Arvestades tootmisliini tulevikuplaane, tuleb leida piisavalt laia ulatusega kaamerasüsteem. Selle abil tagatakse ka hilisemas tootejärgus probleemideta ning võimalikult suure ulatusega süsteemi seadistamisvõimalused. Seega on autori arvates Keyence kaamera kasutamine praegusel hetkel piisav, kuid tulevikku arvestades see töösse ei sobi.

#### **6.4.2 Profiliandur IFM OPD100**

Järgmiseks lahenduseks on OPD100 profilianduri kasutamine, mis sobib toote kuju vaatlemiseks ning selle ristlõike joonistamiseks (vt Joonis 6.4). See annab objektist piltliku kujutise defektsete toodete tuvastamiseks. Lisaks on pildilt võimalik näha nii avasid, nurki, astmeid kui ka kumeraid servi. Nende abil on võimalik koostada matemaatilisi tehteid ning leida sooritatud arvutuste põhjal vastavus korrektsele tootele. Lisaks sobivad töövaldkonda ka ebaühtlased, tumedad või tagasipeegelduvad pinnad, millega tavakaamerad üldjuhul hästi hakkama ei saa. Lisaks on seadmel IP65 kaitseklassi tase,  $-10...55^{\circ}\text{C}$  kasutusvahemik ning 150...300 mm suurune vaatluspiirkond, mis tagavad piisava variatsiooni tööülesannete teostamisel. Sealjuures on andurit lihtne seadistada ja hiljem reguleerida. Selleks saab kasutada nii seadmel olevate nuppude kui ka vastava tarkvara abi. [20]

Anduri õpetamisprotsess algab vaatluspiirkonna määramisega. Selleks asetatakse toode kaamera ette ning leitakse sellele vastav nägemisvahemik koos tolerantsmõõtmega. Sealjuures tuleb arvestada ka objekti võimaliku liikumisulatusega. Vastasel korral võib andur anda mittedobivaid või väärtulemusi ning õige toote tuvastamine ei täida soovitud funktsiooni. Lisaks on seadmel väikeste mõõtmega ekraan, millel edastatakse vaadeldava objekti vastavusprotsent seadistatule. Selle abil saab operaator jälgida korrektse ja mittevastava toote eristamist. [20]

Loodud programmi salvestamise järel on süsteem valmis järjestikprotsessiks või seeriatootmise tingimusteks. Kuigi profiiliandur sobib enda omaduste ja ülesehitusega objekti tuvastamise valdkonda, ei ole sellel piisavat võimekust, et seadistada süsteem kolmekümne erineva toote vaatlemise jaoks. Seega antud lahendus esitatud tööülesannet täita ei võimalda.

### **6.4.3 Intel RealSense D415 kaamera ja Nvidia Jetson Nano mikrokontroller**

Sealjuures võivad nii kaamera kui ka mikrokontroller olla erinevad tooted. Näitena saab tuua Intel RealSense D415 kaamera ja Nvidia Jetson Nano mikrokontrolleri (vt Joonis 6.4). Neist esimese abil on võimalik vaadeldavast tootest teha pilt, mida salvestada mälukaardile. Sealset edasist tööd haldab kontroller, mis lähtub koostatud algoritmpõhisest programmikoodist. Lisaks on Jetson Nano piisava infotötluse võimekusega, seega suudab pildil olevaid andmeid kergesti töödelda [21]. Selline lahendus sobib masinnägemise valdkonda, kus eesmärkideks on objekti tuvastamine, selle mõõtmete ja 3-D andmete saamine või tehisintellekti kasutamine seadme õpetamiseks. [22] [23]

Negatiivse poole pealt on mitme seadme kasutamine süsteemi haldaja ja arendaja jaoks kulu. Lisaks on kaamera ilma suuremate vibratsioonikaitseteta, mistõttu vajab see stabiilset töökeskkonda. Sealjuures on olulisel kohal ka ruumi valgustus ning seadme pidev kalibreerimine pildimoontuste tekke vältimiseks. Samuti on lahendusmeetodi ülesseadmine ning hilisem seadistamisprotsess kasutaja jaoks aeganõudev. Sealjuures on programmikoodi kirjutamiseks küll nii-öelda vaba valik, kuid erinevate teekide otsimine, lisamine ja ülesande jaoks korrigeerimine keeruline. Peamiselt on nendeks matemaatiliste tehete-, pilditötluse-, masinnägemise- kui ka närvivõrkude tekitamise ja töötlemisfunktsioonide kasutamine. Teekide rohkuse, seadmete arvu ning töökeskkonnast tingitud nõuete tõttu ei ole kirjeldatud lahendus sobilik.



Joonis 6.4. Seadmete valik samaväärsete ülesannete lahendamiseks. [19] [20] [24] [25] [26]

Selles peatükis kirjeldati ning analüüsiti samaväärsete ülesannete lahendamiseks võimalikke kasutatavaid lahendusi. Nendeks olid Cognex IS-7801 kaamera, Keyence IV3-600CA kaamera, IFM OPD100 profiiliandur ja Intel RealSense D415 kaamera koos Nvidia Jetson Nano mikrokontrolleriga. Arvestades töökeskkonna, seadme võimekuse, seadistamisvõimaluste ja kasutamislühtsuse parameetreid on autor valinud parimaks lahendiks ettevõtte Cognex toote.

## 6.5 Süsteemi edasiarendus ja kasutatavate komponentide ülevaade

Varasema algülesande baasil peab uue seadme arendus tagama korrektse ja mittevastava toote eristamise. Sealjuures tuleb tuvastada erinevate komponentide olemasolu ning paiknemisjärjekorda. Lisaks on olulisel kohal ohutusnõuete täitmine ning masina seiskumine riskide tekkimisel. Lahenduse edasiarendamiseks tuleb uurida seadme konstruktsiooni võimalikke ülesehitusi ning valida selleks sobivad komponendid. Selleks jaotatakse masin erinevateks alamosadeks. Nendeks on toote vertikaalne pressimise mehhanism, horisontaalne sahtlisüsteem, seadme juhtimis- ning ohutussüsteemid, praaktoote eemaldamise ning komponentide hoiustamise riikli lahendusmeetodid.

### 6.5.1 Toote vertikaalne pressimise mehhanism

Nimest tulenevalt on selle eesmärgiks toote küljes oleva seibi vertikaalne pressimine õigele kõrgusele. Selleks luuakse süsteem, mis koosneb tööd tegevast silindrist, tugelega raamist, masinnägemise võimekusega kaamerast, alus- ja põhjaplaatidest ning nende kinnitusmehhanismidest (vt Joonis 6.4). Kasutavate komponentide valikul alustatakse pneumaatilise silindri valikuga. Selleks võetakse aluseks olemasoleva seadme suurused ja parameetrid. Sealjuures on pressitavaks jõuks 1,2 kN ja süsteemis olevaks rõhuks 6 bar. Nende andmete baasil on võimalik leida sobiva suuruse ja kasutusvõimega silinder. Selleks leitakse kõigepealt teoreetiline kolvi diameeter, mille abil valitakse standardsete suuruste seast sobiva läbimõõduga toode. Lisaks kontrollitakse varuteguri olemasolu, mis annab piisava varu ning tagab seadme töö erinevates olukordades. Nendeks võivad olla jõu suurenemine või rõhu lekked süsteemis. Lisaks on all toodud sellekohane arvutuskäik (vt Valemid 6.1 ja 6.2).

#### 1) Kolvi diameetri leidmine

$$F_{teor}^+ = p \cdot A = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{teor}^+}{p \cdot \pi}} \quad (6.1)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1200}{600000 \cdot \pi}} = 0,050 \text{ m} = 50 \text{ mm}$$

kus  $F_{teor}^+$  – silindri poolt arendatav jõud, N  $\rightarrow F_{teor}^+ = 1200$  N,

$p$  – rõhk süsteemis, Pa  $\rightarrow p = 5,5 \dots 6,5$  bar = 550 000 ... 650 000 Pa  $\rightarrow p = 600\,000$  Pa,

$A$  – silindri kolvi pindala, m<sup>2</sup>,

$D$  – silindri kolvi diameeter, m.

#### 2) Silindri valimine kolvi läbimõõdu järgi

Arvutusest tulenevalt on silindri kolvi läbimõõt 50 mm. All olevast loetelust tuleb valida minimaalseim suurus, mis on suurem, kui saadud arvutustulemus. Selleks on 63 mm suurune läbimõõt. See annab piisava varuteguri ülesande lahendamisel. See tähendab, et silindri valikul tuleb arvestada peale standardse tööjõu (lökkamine/tõmbamine) ka teiste lisateguritega. Nendeks on üldjuhul sisemised hõõrdejõud laagrites ja juhikutes kui ka rõhukaod filtrites oleva mustuse või tihendite läbilaskvuse tõttu. Vaadates tabelit (Lisa 2) selgub, et sellise diameetriga silindri teoreetiline arendatav jõud on 1870 N. Seda suurust kasutatakse järgnevas arvutuses, et leida koormusteguri väärtus.

Kolvi läbimõõdud ISO standardi alusel on järgmised: 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 140, 160, 200, 250, 320 mm.

### 3) Koormusteguri arvutamine

Koormusteguri arvutuse tulemus peab jääma vahemikku 0,5-0,7. Sellisel juhul on tagatud piisav varu ning silinder jõuab ilma probleemideta enda tööülesande ära täita. Sellest tulenevalt on praeguses ülesandes väärtuseks 0,64.

$$L_o = \frac{F_{vajalik}}{F_{sil\_teor}} = \frac{F_{teor}^+}{F_{sil\_teor}} \quad (6.2)$$

$$L_o = \frac{1200}{1870} = 0,64$$

kus  $L_o$  – koormustegur, (ühikuta),

$F_{vajalik}$  – tegelik silindri poolt arendatav jõud, N  $\rightarrow F_{vajalik} = 1200$  N,

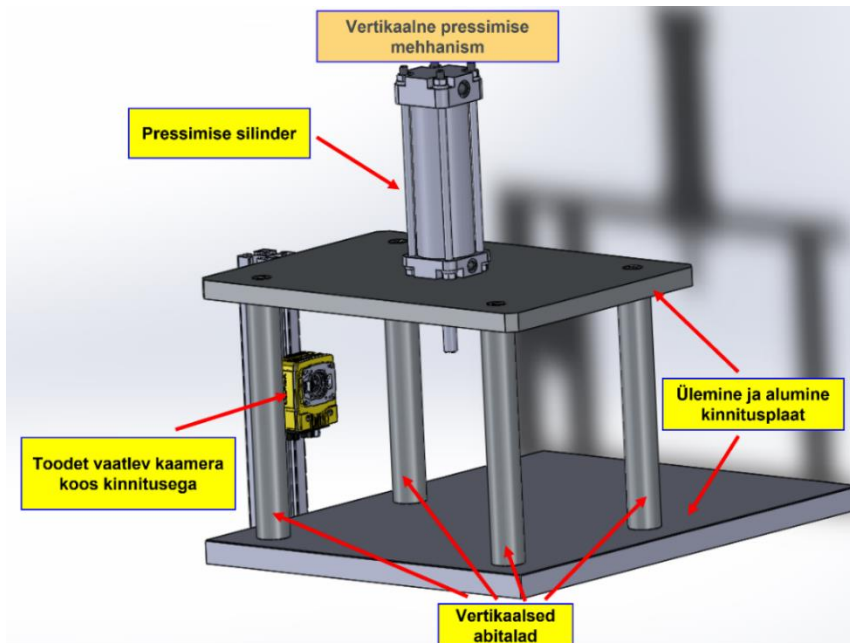
$F_{sil\_teor}$  – silindri poolt arendatav maksimaalne jõud, N  $\rightarrow F_{sil\_teor} = 1870$  N.

### 4) Silindri valik Festo kataloogist

Valitud toode on ettevõtte Festo toodang DSBC-63-100-PPVA-N3, mille kasutusvaldkond ning kolvi liikumisulatus sobivad praeguse ülesandega. Silinder ise on kahepoolse toimega, mis tagab kontrollitud ja kiire liikumise mõlemas suunas. Sealjuures on olulisel kohal ka mass, hind, pikajaline kasutatavus ja hoolduskulud ning saavutatav pressimisjõud pluss suunalisel liikumisel (välja liikumine). Lisaks on seadme standardsuse tõttu lai rõhuregulaatorite, suunaventiilide, summutite, manomeetrite, andurite ja erinevate kinnitusmehhanismide ning varuosade kasutusvõimalus. [27] [28]

### 5) Silindrit hoidev raam

Raam koosneb Bosch Rexroth 45x45 mm (pikkus x laius) alumiiniumprofiilidest või ümartaladest ning nende vahele ühendatavatest alus- ja põhjaplaatidest (vt Joonis 6.4) [29]. Olulisel kohal on nii süsteemi vastupidavus kui ka jäikus, mis peavad tagama stabiilse keskkonna töösükli jooksul. Sealjuures tuleb arvestada ka silindri liikumisest tekkiva koormuse ja võimalike deformatsioonidega. Sarnaselt eelnevale on tooted standardiseeritud, mis võimaldavad kasutada kolmnurk-kinnitusi, M-keermega polte ja seibe. See lihtsustab raami ülesseadmist, hooldust kui ka võimalikku komponentide väljavahetamist ja asendamist.



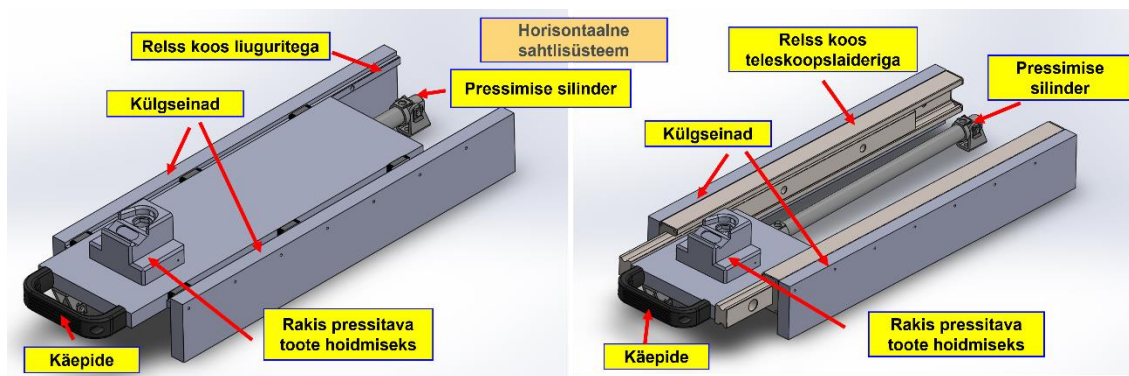
Joonis 6.5. Vertikaalse pressimise mehhanismi näidislahendus. Täpsem protsessi kirjeldus on toodud töö alumises osas oleval skeemil (vt Joonis 6.8).

### 6.5.2 Horisontaalselt liikuv sahtlisüsteem

Sahtlisüsteemi eesmärgiks on pressitava toote hoidmine rakisel ning liigutamise võimaldamine nii seadmesse sisse kui ka välja. See toimub silindri abil, mis on kinnitatud liigutatava alusplaadi külge. Sealjuures aitavad stabiilsust tagada külgseintel paiknevad relsid koos liugurmehhanismidega (vt Joonis 6.5). Sellise meetodi negatiivseks pooleks on aga pooltühjana seisev alusplaat. Seega on osa materjalist justkui kasutamata. Vähendades detailide mõõtmeid on üks kasutuslahenditest kruvi pöörlemisel liikuva mehhanismi uurimine. Selle abil on süsteem küll piisavalt stabiilne ning sujuva ja kontrollitava liikumisega, kuid hõõrdumisest tingitud üpris aeglane. Masina tsükliaja liigse pikenemise tõttu ei sobi meetod lõputöö raamidesse. Järgmiseks uuritavaks lahendiks on lintülekande abil liikuv platvorm, mis on kiire, vaikne ning võimekuselt sobiv toodete horisontaalseks transportimiseks. Negatiivse poole pealt peab see olema statsionaarne ning paiknema ka operaatori käeulatuse tagamiseks pressimisalast väljas. See tõstab süsteemi keerukusastet ning ebamugavust nii seadistamisel kui ka tööprotsesside teostamisel. Lisaks on tekkivate ülekandekadude osakaal üpris suur, mistõttu ei ole platvormsüsteem sobilik.

Probleemi olemasolu saab optimeerida teleskoopslaideri abil. Selline lahendus aitab komponendid hoida minimaalsete mõõtmetega ning tagada liikumise ajal ka stabiilne ning mittekõikuv asend. Üheks selliseks tooteks on Accuride DZ2431-0030, mis on 20 kg kandevõime ja 300 mm liikumisulatusega [30] [31]. Lisaks asetseb alusplaadi eesotsas käepide, mille abil on kasutajal võimalik sahtlit manuaalselt liigutada [32]. Kuigi liikumisprotsess ise on automaatne ning tagatud pneumaatikasüsteemiga, on siiski soovituslik alles jätta ka käsilahendus. Selle kasutamise vajadus võib esile kerkida nii masina seadistamisel kui ka hooldusprotseduuride teostamisel.

Kasutatava silindri valikul lähtutakse varasemal lahenduskäigul ning defineeritud valemitega (vt Peatükk 6.5.1). Kuna sahtlisüsteem töötab nii sisse- kui ka väljaliikumisel, on olulisel kohal jõu suurus mõlemas suunas. Sarnaselt eelnevale on silinder kahepoolse toimega ning Festo toodang. Autor on valinud sobivaks komponendiks Festo DSNU-25-300-P-A silindri, mille käigupikkus on 300 mm [33] [34] [35]. Lisaks on arvestatud ka väljaliikumisel tekkiva võimaliku varda deformeerumise või paindumisega. Sealjuures pole koormuse mass maksimaalse raskusega liigutatava toote lähedal. See annab võimaluse võimalikest tekkivatest probleemidest eemale hoida ning töötada efektiivselt ja murevabalt.



Joonis 6.6. Horizontaalse sahtlisüsteemi näidislahendused. Vasakpoolisel tagatakse liikumine horisontaalsete liugurite ning paremal teleskoopmehhanismi abil.

### 6.5.3 Seadme juhtimissüsteem

Lähtudes Autoliv korporatsiooni standarditest ja nõuetest on uute projektide tekkimisel võimalik kasutada ainult ettevõtte Siemens poolt toodetavaid PLC-kontrollereid. Sealjuures on süsteemi minimaalseks nõudeks seitsmes generatsioon, millega tagatakse usaldusväärne, töökindel ning kiire andmete edastus. Lisaks peab tagatud olema PROFINET IO kasutamise võimalus. See on kommunikatsiooni protokoll, mida kasutatakse kontrolleri ja seadmete vaheliseks andmevahetuseks tööstuslikus keskkonnas. [36]

Seega on üheks sobivaks seadmeseeriaks Siemens Simatic S7-1500. Sealjuures on mooduli komponentidel vähemalt IP20 klassi kaitseomadused ning maksimaalseks töötemperatuuri vahemikuks 0...+60°C. Need aitavad tagada piisava turvalisuse ja laialdase kasutusulatuse erinevates tingimustes. Toote protsessorid saab jaotada erinevate alamkategoriate abil. Nendeks on kasutamiseesmärk ning selle varieeruvus, võimsus, mälu suurus, maksimaalsete kasutatavate ühenduste hulk ning seadme füüsilised mõõtmed [37] [38].

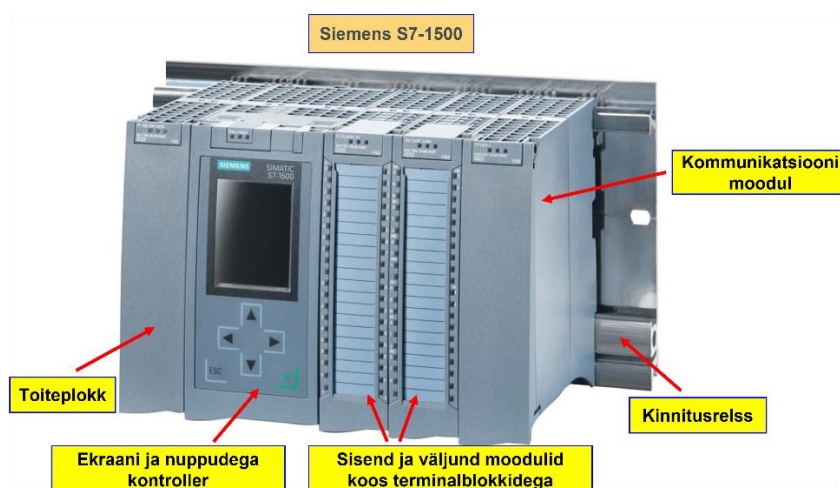
Suure valiku tõttu tuleb leida nende seast sobiv, mis haakub töö eesmärgi ning loodava protsessiga. Lisaks tuleb järgida ressursi kasutamise nõudeid ja tavaid, vältides nii jõudluse üleküllust kui ka puudujääke. Sealjuures on seadme standardversioonil vastavalt 5 ja 2 analoogsisendit- ja väljundit ning 16 ja 16 digitaalsisendit- ja väljundit. Samuti võib erimudelitel nende hulk olla nii suurem kui ka väiksem. Need sobivad praeguse ülesande lahendamise juurde, seega laiendusmoduleid juurde ei vajata. Lisaks on seadmel kuni 32 GB suuruse mälukaardi kasutamisevõimalus, mille eesmärk on nii projektiandmete kui ka sellega seonduvate dokumentide salvestamine. Samuti on tootel nappudega ekraan, mille abil on võimalik programmi juhtida ja seadistada ning näha ühendatud seadmete nimekirja ja kasutatavate funktsioonide olekuid. Samuti edastatakse selle kaudu tekkivaid süsteemi- ning diagnostikaprobleeme. [38] [39]

Seadme programmeerimiseks tuleb kasutada Siemens TIA portal programmi, mille praeguseks viimaseks versiooniks on V17. Sealses keskkonnas on kasutajal võimalik defineerida nii sisend- kui ka väljundfunktsioonid ning koostada nende alusel programmikood/blokk. Selleks tuleb tunda redel-programmeerimiskeele põhitõdesid ning loogikaoperaatoreid. Nende abil saab koostada aritmeetilisi tehteid ja võrrandeid, salvestada andmeid hilisemaks operatsiooniks puhvritesse ning võrrelda erinevaid registriväärtuseid. Sealjuures on soovituslik peafunktsioon jagada osaülesanneteks, et seda oleks kergem vaadelda ning tekiks hea ülevaade probleemsete kohtade ennetamiseks.



Lisaks saab koostatud koodi kontrollida ja käivitada ka virtuaalselt, ilma, et reaalse seade defineeritud operatsioone koheselt teostama hakkaks. Sellise meetodi kasutamisel tagatakse ohutus rakenduse siseselt ja operaatoril on võimalik tekkivaid veateateid näha programmis ilmneva animatsiooniakna abil. Lisaks on koodi katsetamine, muutmine ja reaalse süsteemiga töötamine kasutaja jaoks lihtsasti ülesehitatud ja mugav. Sealjuures annavad mitmete muutujate, mälubittide, loendurite, taimerite, ooteaegade ja virtuaalse PLC monitori kasutamine võimaluse süsteemiga siduda rohkem seadmeid. Selliselt tagatakse piisav omavaheline suhtlus ka keeruliste ülesannete lahendamisel.

Varasemate versioonidega võrreldes on S7-1500 seeria uuema tehnoloogia baasil, millega tagatakse kiirem andmeühendus, väiksem latentsusaeg ning rohkem võimalusi süsteemi programmeerimiseks. Sealjuures saab kasutada maksimaalselt 32 erinevat moodulit, mille hulka kuuluvad nii sisend- ja väljund kui ka kommunikatsiooniühendused. Lisaks on nende füüsiliseks kinnitamiseks seadmete tagumisel küljel kinnituskonksud- või mehhanism, mis ühtib relsi soontega (vt Joonis 6.7). Nende abil saab seadmeid liigutada nii paremale kui ka vasakule, mis annavad ülesannete lahendamiseks erinevaid võimalusi ning lisavad suuremat variatsiooni ka erinevate skeemitüüpide koostamisel. Arvestades seadme füüsilisi mõõtmeid, toote hinda kui ka kasutamise võimalusi on uuem versioon laialdasema lisafunktsioonide võimekusega, mis võimaldab turvalist, kasutajasõbralikku ning kuluefektiivset töö- ja programmeerimiskeskonda. Seetõttu sobib see ka masinägemise valdkonda, kus olulisteks parameetriteks on nii andmevahetuse kiirus kui ka maksimaalne seadistamisvõimekus erinevate ülesannete teostamiseks. [40]



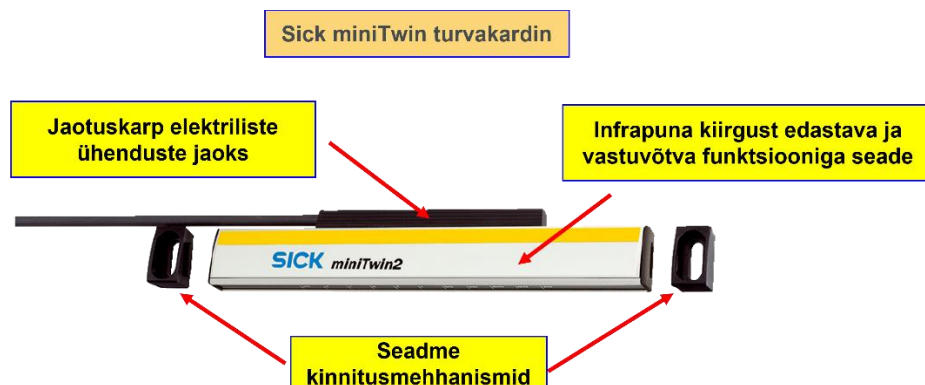
Joonis 6.7. Siemens S7-1500 kontrolleri koos peamiste komponentidega. Nendeks on toiteplokk, ekraani ja nuppudega kontrolleri, sisend-, väljund ja kommunikatsiooni moodulid ja relss seadmete kinnitamiseks. [37]

## 6.5.4 Turvakardin ohutuse tagamiseks

Tootmisettevõttes oleva liini parendamisel või uue projekteerimisel on olulisel kohal ohutussüsteemide nõuded. Selle eesmärgiks on nii inim- kui ka masinvigastuste ärahoidmine või tekkiva tõenäosuse minimeerimine. Sealjuures võivad ohtlikud olukorrad tekkida nii masina riknemisest, tööriista purunemisest kui ka operatori tähelepanematuses või oskusest turvasüsteemidest kõrvale hiilida. Selleks, et probleemseid kohti vältida, tuleb nõudeid hoolega järgida. Samuti aitab see optimeerida tootmisliini protsessi, suurendades nii kvaliteetse ja usaldusväärse toodangu kogust kui ka operatori töötamisjulgust jaamal.

Üheks selliseks ohutussüsteemiks on turvakardina olemasolu tootmisliinil. Lihtsa seadistusvõimaluste ja suure kasutusvaldkonna tõttu on see kompaktne ja efektiivne lahendus probleemide ennetamiseks. Samuti on kontroll kahepoolse toimega ning tuvastavateks objektidest sobivad nii suured kui ka väikesed esemed eri nurkade all. Lisaks on tootekatalooge sirvides piisavalt suur valik, mille seast tuleb valida enda ülesande lahendamiseks sobiv. Sealjuures jagunevad seadmed nii füüsiliste mõõtmete, aktiivse vaatlusalala ja selle tiheduse, resolutsiooni kui ka IP kaitseklassi, töötemperatuuri ning keskkonna alusel. Lisaks on uuema generatsiooni tooted rohkem edasiarendatumad ning võimelised ka iseseisvalt õppida. Seega tuleb kasutajal otsustada ning suurest valikust leida õige toode, mis vastab töö ülesehitusele.

Autori on valinud lahenduseks ettevõtte Sick poolt loodud turvakardina süsteem miniTwin (vt Joonis 6.8). Kasutataval seadmel on 300 mm kõrgune aktiivsustsoon ja 14 mm suurne resolutsioon, mis tagavad piisava kaitsmisulatuses ja sobiva reageerimisaja. Samuti on tootel nii roheline kui ka punane indikaatorlamp näitamaks vastavat seisukorda. Lisaks on seda võimalik juhtida ka PLC süsteemi abil, mis lihtsustab seadistamis- ja jälgimisprotsessi. [41]

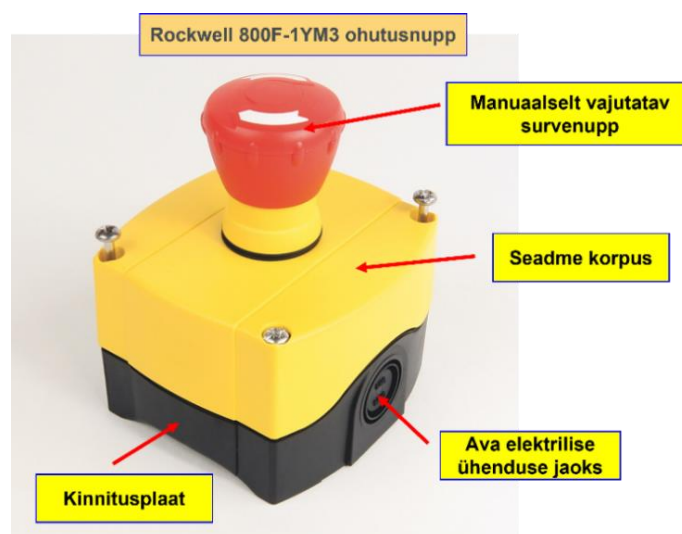


Joonis 6.8. Turvakardin ja selle komponendid [41].

### 6.5.5 Ohutusnupp protsessi seiskamiseks

Järgmiseks turvaelemendiks on ohutusnupp, mida kasutatakse masina riknemisel või hädaohu tekkimisel. Üldjuhul on see elektriliselt suletud ühendusega (NC) ehk normaalasendis kinni. See tähendab, et vajutamise korral peatab see terve süsteemi, eemaldades kontaktid teineteisest lahku. Nupu eesmärgiks on ohutuse tagamine igal ajahetkel ning nii inimesele kui ka süsteemile vigastuste ja kahju tegemise ennetamine. Lisaks saab toote ühendada PLC kontrolleriaga, mille abil toimub ka suhtlus teiste liinil olevate seadmetega. See muudab süsteemi rohkem jälgitavaks ning aitab võimalikud tekkivad veakohad turvaliselt eemaldada. Samuti on olulisel kohal ohutusnupu paiknemisasukoht, kättesaadavus töötajale ning eristatavus teistest seadmetest. Selleks paikneb toode operaatori vaateväljas ja käeulatuse läheduses ning märgistatud üldjuhul punase ehk ohtu kujutava värviga. Lisaks on eritüüpi mudelitel ka kaitseraam, vältimaks juhuslikku puudet või vajutamistsüklit.

Lahendatava ülesande ja töö eesmärkidega sobivuse alusel on autor valinud ettevõtte Rockwell Automation toote 800F-1YM3 (vt Joonis 6.9). See on kahepositsiooniline, mis tähendab, et nupp saab olla nii aktiveeritud kui ka enda tavapositsioonis. Vahepealsete asendite puudumise ja vibratsioonikaitse tõttu on seade piisavalt turvaline ning töökindel. Lisaks on tagatud IP69K kaitseklass, mille alusel saab seda kasutada erinevates töökeskkondades. Sealjuures on nupul kahekordne NC kontakt, mis tõstab ohutustaset ning kõrvaldab ka katkise toitekaabli tekkimisest tulenevaid probleeme. Samuti on seadmel mitmed tööjaama külge kinnitamisvõimalused, mis lihtsustavad selle seadistamis- ja kasutamistprotsessi. [42]



Joonis 6.9. Ohutusnupp koos peamiste komponentidega [42].

## 6.5.6 Kahe käe nupud töö alustamiseks

Järgmiseks ohutussüsteemi osaks on kahekäe nuppude kasutamine. Selle eesmärgiks on operaatori turvalisuse tagamine pressimistsükli teostamisel. Sealjuures saavad andurid signaali ainult juhul, kui mõlemad nupud on samaaegselt aktiveeritud ning alla vajutatud. Kui ühendus katkeb, jääb protsess poolikuks. Lisaks peavad seadmed paiknema teineteisest piisaval kaugusel, et neid ei oleks võimalik ühe käega kasutada. Samuti ei tohi nende vaheline distant olla liiga pikk, sest sellisel juhul ei ole lahendus ergonoomiline ning võib tööjaama operaatorile raskusi valmistada. Sealjuures tõuseb ka masina tsükli aeg ning langeb töö tegemise efektiivsus ja koostatud toodete arv. Seega on olulisel kohal nii nuppude paiknemise asukoht kui ka kasutaja mugavus ning ohutuse tagamine.

Seadme valikul jagab autor need erinevate kasutatavate aktiveerimis- või vajutamismeetodite alusel kolmeks suureks kategooriaks. Nendeks on sõrmede, käe peopesade ja jalgade toimel töötavad lahendused. Sealjuures on ka kombineeritud käe- ja jalaversioone, mis lihtsustavad operaatori tööprotsessi. Lisaks on seadmetel nii roheline kui ka punane indikaatorlamp näitamaks selle hetkelist seisundit. Samuti võivad eritüübid töötada nii füüsilise kui ka optilise vaatlusala abil. See tähendab, et ühel juhul saadakse signaal mahtuvusanduri toimel sellele lähenedes, teisel juhul infrapunakiirguse levimise takistamisel. Seega on üheks võimalikuks kasutatavaks seadmeks ettevõtte Captron toode SCA4 (vt Joonis 6.10). See on 63 mm suuruse puutealaga, mistõttu on seda lihtne märgata ning kasutada. Sealjuures on tootel IP69K kaitseomadused, kompaktne üldine disain ja ülesehitus. Lisaks on sellel head kinnitamisvõimalused, mis tagavad fikseeritud asukoha ning usaldusväärse ja robustse lahenduse. [43]

Teiseks samalaadseks lahenduseks on ettevõtte Banner toode STBVP6Q5, mis töötab sõrme asetamise meetodil (vt Joonis 6.10). Selle abil vähendatakse käe ja randme lisa liigutusi ning suurendatakse operaatori mugavustsooni. Lisaks paikneb seadmel mehaaniline kate, mis eemaldab juhuslike pressimiskatsete tekkimised ning tagab sellega turvalise töötamisprotsessi. Sealjuures on toode IP66 kaitseklassiga ning võimaldab töötada temperatuuri vahemikus 0...+50°C. Võrreldes eelnevaga on sõrmega aktiveeritav lahendus ergonoomilisem ning enda väikeste mõõtmete tõttu lihtsasti kasutatav. [44]

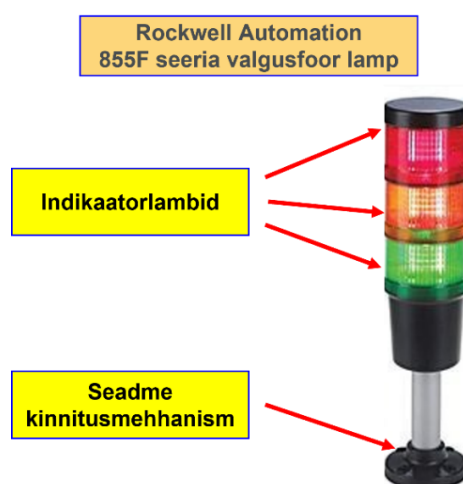


Joonis 6.10. Kahekäe nuppude kasutamismõimalused. Vasakul paikneb vastavalt Captron SCA4 ning paremal Banner STBVP6Q5 tüüpi lahendused koos peamiste komponentidega. [43] [44]

### 6.5.7 Valgusfoor lamp seadme oleku näitamiseks

Tootmisliini ohutussüsteemide hulka kuulub ka valgusfoor lamp, mille kaudu edastatakse seadme hetkelisi olekuid. Selle abil on nii operaatoril kui ka teistel töölistel võimalik jälgida masina töötsükleid ning analüüsida, kas see töötab korrektselt või tõrgetega. Selleks on lambil peamiselt kolm värvi. Nendeks on punane, kollane ja roheline ning tähendus sarnane sõidukite liiklusfooridele. Seega on rohelse tule ilmumisel seadme töö korrektne, kõik töötab ning midagi muuta ei ole vaja. Kollase tule tekkimisel on avastatud probleem, mis pole kriitiline, kuid vajab edasist uurimist ning lahenduskäiku. Praagi või raskeloomulise tõrke avastamisel süttib punane, mis iseloomustab mittevastavat protsessi ning vajab nii operaatori kui ka seadistaja uurimist ja järelvalvet. Selline süsteem aitab probleemi tekkimist tuvastada automaatselt ning leida sellele kiirelt lahendust. Sealjuures võib tootmiskeskkonnas olla müra, mis üldjuhul raskendab praaktoote avastamise protsessi. Valgusfoor lambi eeliseks on aga seadme töötsükli ja kvaliteedikontroll nii mehhaanilisel kui ka visuaalsel meetodil. Seega jääb masin probleemi tekkimisel seisma ning nõuab tõrke tuvastamist ja eemaldamist. Lisaks aitab sellise süsteemi kasutamine vähendada masina seisakutest tekkivat lisaega ning suurendada tootmisliini produktiivsust.

Autor on valinud ettevõtte Rockwell Automation poolt loodava 855F seeria toote P10SC20B24Y4L5Y3. See on kolme värviastmega, millest kaks on stabiilsed ja üks vilkuva funktsiooniga. Nende abil saavutatakse operaatori tähelepanu, luuakse kommunikatsiooniühendus nii seadme kui inimese vahel ning edastatakse vastava tööjaama olekuid. Lisaks on sellel IP65 kaitseklass, mis võimaldab töötada temperatuuri vahemikus -25...+60°C. Sealjuures on toote mõõtmed kompaktsed, mis lihtsustavad nii paigaldamise kui ka kasutamise võimalusi. Seega sobib lahendus tootmiskeskonna sise- ja välisruumides kasutamiseks ning haakub töö eesmärkidega. [45]



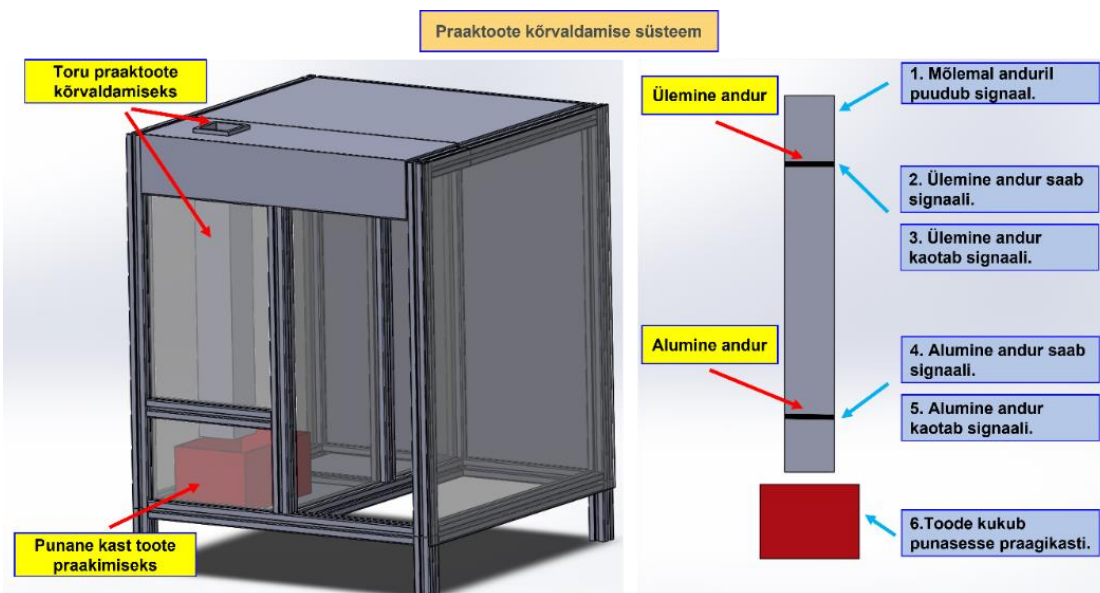
Joonis 6.11. Valgusfoor lamp koos peamiste komponentidega. Nendeks on elektriliste ühendustega indikaatorlambid näitamaks masina seisundeid ning seadme kinnitusmehhanism. [46]

### 6.5.8 Punase kasti süsteem praaktoote eemaldamiseks

Autori arvates on olulisel kohal korrektse toote koostamine ja mittevastava tuvastamine ning eemaldamine tootmisliinil. Sealjuures tuleb arvestada nii masina töötsükli kui ka operaatori võimalike lisaliigutuste kogusega. Mõlema minimiseerimiseks saab luua süsteemi, kus praaktoote eemaldamine aega juurde ei lisa. Üheks selliseks lahenduseks on toru mehhanismi kasutamine. Sealjuures saab kasutada nii pleksiklaasi kui ka alumiiniumplaatidest koosnevat süsteemi. Kui lisada sinna optiline või mahtuvusandur, on võimalik mittevastava objekti kukkumist kontrollida. Lisaks on olulisel kohal asetsemiskõrgus, takistamaks ebakorrektni kasutamist. Negatiivse poole pealt ei ole ühe anduri kasutamise juures nii toru ülemises või alumises osas asetsemine piisav, sest mõlemal juhul on seda võimalik aktiveerida. Selle teostamiseks saab kasutada, kas käe või mõne teise pikema objekti abi. Seega ei ole lahendus piisav ega välistatud süsteemi ebakorrektni kasutamine.

Probleemi lahendamiseks saab kasutada nii nurga all olevat toru kui ka kahe anduri koostöötamise mehhanismi. Sealjuures on esimese miinuseks keeruline koostamine ning hilisemad hooldustoimingud. Teise variandi kasutamisel paikneb üks anduritest toru ülemises ja teine alumises osas (vt Joonis 6.12). Samuti on oluline nende toimimise järjekord. Protsessi alguses puudub mõlemal anduril signaal. See tähendab, et praaktoodet tekkinud ega liinilt eemaldatud ei ole. Toote ära viskamisel saab ning hetke pärast kaotab signaali kõigepealt ülemine andur. Samal ajal on teine veel signaalita. Objekti kukkumisel teise anduri juurde toimub vastupidine olukord, mille järel liigub toode punasesse praagikasti. Sellise süsteemi eesmärgiks on mittevastava toote kõrvaldamise kontrollimine ilma, et see satuks edasi järgmistele tootmisoperatsioonidele. Lisaks tagatakse kahe anduri abil ebakorrektsuse kasutamise võimalused, sest andurite vale järjekorra saamine annab mittevastava tulemuse. Sellisel juhul soovib masin endiselt praak objekti eemaldamist ning edasist koostamisprotsessi teostada ei ole võimalik.

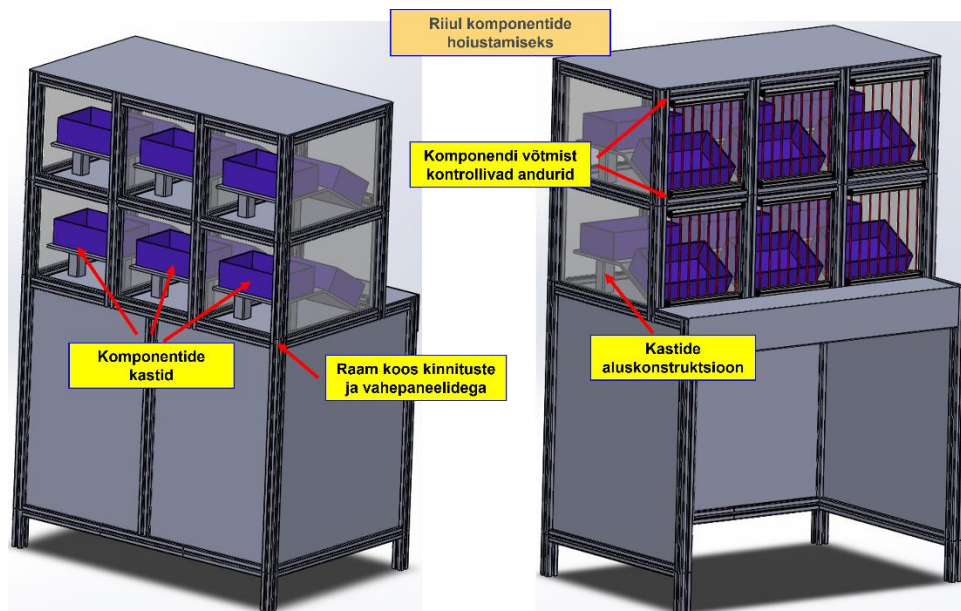
Valitud anduriks on ettevõtte Pepperl+Fuchs toode RAL150-IR/32/98. Seade on mõõtmetelt kompaktne ning võimeline infrapuna kiirguse abil vaatlema terve toru laiusega kaetud ala. See tähendab, et toote ära viskamisel on signaali saamine garanteeritud. Sealjuures on aktiivseks töösooniks 150 x 144 mm (pikkus x laius) suurune vahemik ning saadavaks resolutsiooniks 3 mm. Seega sobivad tuvastamiseks nii suured kui ka väikesed komponendid. Lisaks on tootel IP67 kaitseklass ja kasutatavaks temperatuurivahemikuks -10...+60°C. [47]



Joonis 6.12. Kahe anduriga praaktoote kõrvaldamise süsteem.

## 6.5.9 Komponentide hoidmisriiul

Komponentide hoidmisriiuli eesmärgiks on tagada soodne toodete liikumine ning nende turvaline hoiustamisprotsess. Selleks on autor kasutanud süsteemi, mis koosneb põhi- ja aluskonstruktsioonidest ning on jaotatud kuueks võrdseks osaks (vt Joonis 6.13). Selliselt paiknevad teineteisest eristatavad alamkomponendid, mis võivad asetseda nii papp- kui ka plastmasskastide sees. Lisaks on riieli tagumine külg tühi, mis võimaldab karpe täita ja vajadusel juurde lisada. Selliselt välditakse komponentide otsasaamist ja sellest tulenevaid masina seisakuid. Sealjuures on lahendust mugav kasutada, sest aluskonstruktsiooni üks tasapindadest on nurga all. See annab võimaluse kaste kergesti liigutada. Lisaks paikneb selle eesmisel otsas kõrgendatud serv, mis aitab karpidel püsida liikumatult samas positsioonis. Lisaks asetsevad sellise meetodi abil komponendid operaatori jaoks käe ulatuses, mis lihtsustab töötamisprotsessi ning vähendab sellega tsükliäega.



Joonis 6.13. Komponentide hoiustamisriiuli näidislahendus.

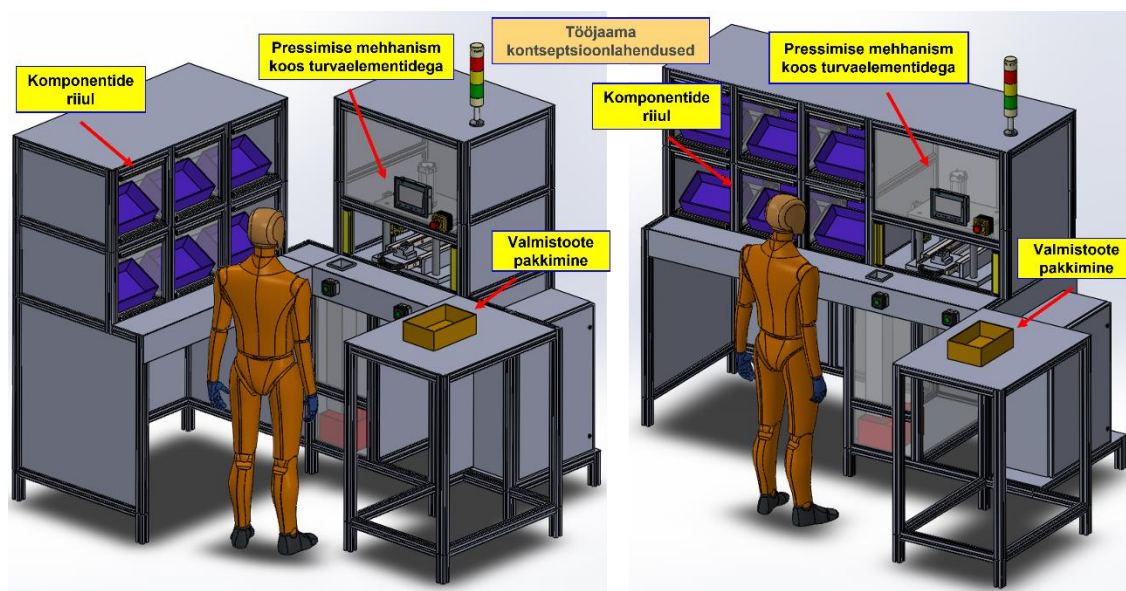
Konstruktsiooni raam koosneb ettevõtte Bosch Rexroth 45x45 mm (pikkus x laius) alumiiniumprofiilidest. Need annavad komponentide hoiustamisel piisava jäikuse ja stabiilse ning turvalise süsteemi. Lisaks on riieli küljed ja vaheseinad kaetud pleksiklaasi või alumiiniumplaatidega, mis tagavad korrektse kasutusmeetodi ning toodete omavahelise eristamise. Samuti soovib autor kasutada andureid, mis kontrollivad käe liikumist ning komponentide võtmisprotsessi. Selleks asetsevad igas vahes optilised turvakardina või kahvelanduri tüüpi seadmed, mis võimaldavad tekitatud valguspiiri takistamist tuvastada.



Sealjuures loetakse signaali muutumise kogust, mis tagab kastidest õige arvu komponentide võtmise. Selleks saab kasutada ettevõtte Autonics Scandinavia AB toodet BW20-20(P). Selle tuvastamispiirkonnaks on 380 mm, mis tagab riuli vahe laiuses ilmneva objekti tuvastamist. Lisaks on mass maksimaalselt 1,4 kg, mis lihtsustab selle kinnitamis- ja seadistamisprotsessi. Sealjuures on seadmel IP65 kaitseklass ning kasutatavaks töötemperatuuri vahemikuks  $-20\dots+60^{\circ}\text{C}$ . Need tagavad toote töökindluse ja annavad laia kasutusulatuse. [48]

### 6.5.10 Valmislahenduste ülevaade ja tööjaama protsess

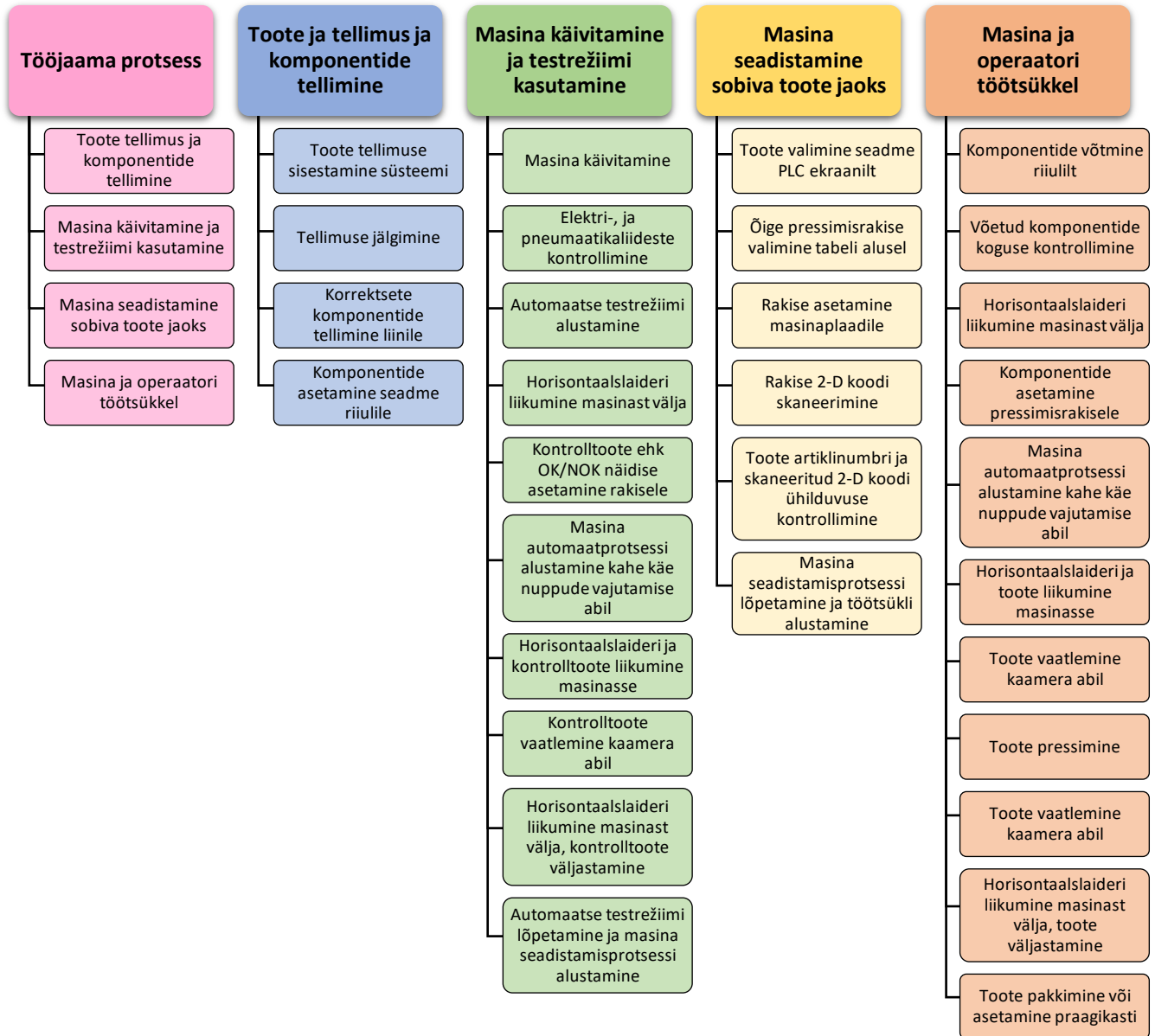
Valmiskontseptsioonidena näeb autor kahte lahendust. Mõlemal on komponentide hoidmisriiul, objekti horisontaalse liigutamise ja pressimise operatsioon ning ala valmistoote pakkimiseks (vt Joonis 6.14). Erinevuseks on aga liikumisulatus ning võimalike operaatorite arv tööjaamas. Sealjuures tuleb arvestada nii mugavuse kui ka ergonoomikanõuetega, sest ühel juhul on liikumine peamiselt horisontaalne, teisel rohkem koha peal pööramine. Samuti on olulisel kohal töötegemise järjekord (vt Joonis 6.15). Mõlema versiooni juures toimub see vasakult paremale. Sellise meetodi eeliseks on operaatori mugavuse suurendamine ning kindla tööprotsessi tagamine. Praagi korral on aga liikumine vastupidine. See takistab töötajal automaatse tööprotsessi käigus kogemata mittevastava toote pakkimist ning võimaldab seda kindlamalt liinilt kõrvaldada.



Joonis 6.14. Tööjaamade valmislahendused, kus vasakul paikneb U- ja paremal L-kujuline ülesehitus.

Seega on tööjaama esimeseks tegevuseks komponentide võtmine riulilt. Selle käigus kontrollitakse ka võetud detailide arvu. Seejärel asetatakse need rakisele ning veendutakse, et kõrvalisi segavaid faktoreid süsteemis ei ole. Üldjuhul kuuluvad nende hulka defektid, mustus ning võõrkehad rakises või liikuvate osade vahel. Edasiseks tegevuseks on kahe käe nuppude vajutamine. Selle tulemusena liigub teleskoopmehhanismil asetsev platvorm masinasse ning algab süsteemi automaatne protsess. See hõlmab toote kontrollimise- ja pressimisoperatsioone. Sealjuures vaadeldakse objekti nii enne kui ka peale pressimist, mis tagab turvalise ja kindla lahenduse. Samuti tuleb arvestada, et mõned alamkomponendid võivad olla nähtavad või paremini tuvastatavad ainult enne pressimist. Nendeks on tavaliselt kronsteini avasse mahtuvad puksid või transpordi- ja distantseibid, mis on õhukesed ning mõõtmelt minimaalselt paar millimeetrit. Lisaks võivad need pressimisfunktsiooni järel liikuda teise komponendi sisemusse, mistõttu on need hilisemalt raskesti nähtavad. Objekti kontrollimise lõppedes väljastatakse rakis koos valmistootega. Selle tulemusena antakse operaatorile märku operatsiooni seisundi kohta. Seega saadakse vastav informatsioon PLC ekraani kaudu, millelt ilmneb protsessi edukus ja toote korrektsus ning joonisele vastavus. Lisaks edastatakse tõrke tekkimisel veateade, näitamaks probleemi ilmnenemist ning selle asukohta. Sellele vastavalt tuleb liini operaatoril toode pakkida või teistest eraldada ning praagina kõrvaldada.

Sellises tööjaamas saab töötada nii üks kui ka maksimaalselt kaks operaatorit. Ühe töötaja korral lähtutakse varasemalt selgitatud tööjärjekorrast. Seega võetakse esmalt riulilt komponendid ja asetatakse rakisele. Seejärel vajutatakse kahe käe nuppe, mille järel toimub objekti vaatlemine ning pressimine. Viimasena võetakse masinast lõpp-toode ning asetatakse ühel juhul pakkimisalale ning teisel praagikasti. Meetodi edasiarendamiseks saab süsteemist eemaldada töötaja ooteaja. Seega seadme automaatse töötsükli ajal on operaatoril võimalik alustada juba järgmise toote koostamisega. Selleks tuleb tal võtta riulilt uued komponendid ning asetada alusplaadil olevale lisarakisele. Kui varasem lõpp-toote pressimine ning kontrollimine on teostatud, võetakse see masinast ning asendatakse koheselt uuega. Seejärel saab taas alustada eeltööd uue toote koostamise jaoks. Sellise meetodi eeliseks on protsessi seisakute vähendamine, mis võimaldab tootlikkuse suurendamise saavutamist. Lisaks on võimalik masinal töötada ka kaks operaatorit. Sellisel juhul tegeleb üks komponentide võtmise ja rakisele asetamise ning teine seadmesse paigaldamise, sealt välja võtmise ning lõpp-toote pakkimisoperatsioonidega. Negatiivse poole pealt võib tekkida liigne inimjõu kulu, mis parima lahenduse leidmisel sobilik ei ole.



Joonis 6.15. Tööjaama protsessi diagramm.

## 6.6 Ergonoomika

Uue tööjaama konstrueerimisel tuleb arvestada ergonoomika nõuetega. See tähendab, et nii töötamise keskkond kui ka sealsed tegevused ning kasutatavad vahendid peavad vastama inimvõimete piiridele ja harjumustele. Seega peab protsess olema loogiline ja mugav, vältides üleliigseid tegevusi. See aitab tagada protsesside vahelise kindla ja turvalise liikumise ning suurendada tööjaama produktiivsust. Lisaks vähendatakse selliselt vigastuste tekkimise riski ning tõstetakse liinil töötamise motivatsiooni. Seega tuleb töökoha sisustamise ja planeerimise juures arvestada vastavate nõuetega.

Üldjuhul on nendeks nii võimalike ohtude tekkimine ja protsess tööjaamas, keskkond ning selle tegurid kui ka töötajat mõjutavad vaimsed ja psühholoogilised faktorid. Parema ülevaate saamiseks jaotab autor need omakorda väiksemateks alamkategoriateks. Neist esimese all mõeldakse füüsilisi tegevusi liinil, mille käigus tuleb arvestada operaatorile antava töökoormuse ning keeruliste ülesannete täitmisega. Sealjuures tuleb vältida raskete kastide ning komponentide liigutamist, liigset jõu rakendamist ning kummardavate ja tõstvate operatsioonide üleküllust. Lisaks peab tagatud olema piisav aeg puhkamiseks ning lihtsamate operatsioonide teostamiseks. Samuti tuleb arvestada tööjaama kõrguse ning sellel töötamise mugavusega. Selleks paigaldatakse aluskonstruksioonide alla tugijalad, mille abil saab tala pikkust reguleerida. See võimaldab tööpinna seadistamist optimaalsele suurusele ning tõstab kasutaja heaolu. [49]

Lisaks on olulisel kohal tootmisliini piisav valgustatavus, mis lihtsustab tööülesannete täitmist. Sellisel juhul on jaama kriitilised ja vajalikud osad kergesti märgatavad, mis vähendab võimalike ohtude tekkimist. Samuti annab see võimaluse lõpp-toote visuaalseks kontrollimiseks ning võrdlemiseks. Sealjuures ilmnevad paremini objektile esinevad defektid, mis lihtsustab ka praakimisprotsessi ning korrektse toote edasi andmist. Lisaks tuleb nõuete kohaselt järgida ka tekkiva heli ja vibratsioonide tasemeid. Need peavad olema piisavalt madalad, sest vastasel korral võib sealne töö olla kasutaja jaoks ebamugav. Sealjuures peab jaamas tagatud olema erinevate kaitsevahendite kasutamine. Üldjuhul on nendeks kõrvatroppide või klappide olemasolu, kaitseprillid, kindad, turvasaapad ning ohutuse sildid ohtlike esemete juures. Samuti võivad seadme kinnituspoldid vibratsiooni mõjul paigast nihkuda, millega suureneb oht nii masin- kui ka inimvigastuste tekkimisest. Lisaks tuleb masin asetada keskkonda, mis on kasutaja jaoks sobilik. Sealjuures ei tohi see olla liigselt kuum ega külm ning tagatud peab olema ka selle ventilatsioonisüsteem ja jahutamisvõimalused.

Samuti mõjutavad operaatori tööd tema keskendumist raskendavad tegurid. Nendeks võivad olla nii liigne kui ka puudulik tähelepanu, stressirohke töökeskkond, kriitiliste ja tähtsate otsuste tegemise üleküllus ning väärmäletamisest või unustamisest tingitud probleemide tekkimine. Lisaks peab tööjaama ning protsessi keskseks teemaks olema masin, mitte operaator. See tähendab, et suurima osa tööst teostab seade, mida vaatlleb ning kasutab töötaja. Selle tulemusena muutub keskkond rohkem pingevabamaks, mis aitab sealset produktiivsust üleval hoida ning tagab sobiva tootlikkuse tööjaamas. Lisaks tagab see nii-öelda operaatori õlgadel oleva koormuse vähendamist.

Samuti on olulisel kohal suhtlus nii osakondade kui ka töötajate ja erinevate ametikohtade vahel. Ebasobiva omavahelise läbisaamise tõttu võib tekkida konflikte, mille tagajärjel kardetakse rääkida või abi küsida. Sealjuures võib see suurendada probleemide ja ohtlike olukordade ilmumist ning vigade tegemist tööjaamas. Lisaks tuleb arvestada nii töö monotoonsuse ja varieeruvuse kui ka töötaja enesearendamise võimalustega. Nende abil vähendatakse nii-öelda läbipõlemise tunde tekkimist ja töökohalt lahkumist. Samuti mängib rolli juhi või liidri olemasolu, kes omab toimuvast head ülevaadet ning tagab positiivse töökeskkonna ja töötajate kõrge motivatsioonitaseme.

## **6.7 Uue süsteemi maksumus**

Uue süsteemi või lahenduse leidmisel tuleb arvestada ka selle maksumusega. Sealjuures tuleb hinnata nii toote kontseptsiooni väljamõtlemisest ja jooniste tegemisest, komponentide tellimisest ning transpordivõimalustest kui ka seadme ülesseadmisest ja valideerimisest tulenevaid kulusi. Samuti mõjutavad maksumust süsteemi iga-aastased seadistamis-, hooldus ja tööjõukulud. Selle iseloomustamiseks on autor loonud tabelid, kus kirjeldatakse kasutatavate seadmete ja komponentide kuuluvust alamprotsessidesse ning nende juurutamisest tingitud hinda (vt Tabelid 6.1 ja 6.2). Nendeks on nii masina üldine konstruktsioon, pneumaatika- ja seadme juhtimissüsteem kui ka elektroonika ning masina ohutust tagavad komponendid.

Neist esimene koosneb omakorda alumiiniumprofiil raamist, laua- ja riulite alus- ning erinevatest külgl plaatidest ja nende kinnituskronsteinidest. Sealjuures arvestatakse ka praagikasti ja teleskoopslaideri mehhanismide ja konstruktsiooni kõrguse reguleerimist tagavate seadmetega. Järgmiseks kirjeldatavaks alamosaks on pneumaatikasüsteem, mille alla kuuluvad õhu ettevalmistusplokk, rõhuregulaatori ja suruõhuvoolikud. Nende abil tagatakse töökindel seadmete vaheline õhu ülekandmisfunktsioon. Lisaks kuuluvad nende hulka ka vertikaalse pressimise ja horisontaalse sahtlimehhanismi liigutamiseks kasutatavad pneumaatilised silindrid. Samuti mõjutavad arendatava süsteemi maksumust erinevate seadme juhtimissüsteem koos elektroonika komponentidega. Nendeks on peamiselt masinnägemise võimekusega kaamera, ohutust tagavad süsteemid ja optilised ning lõpp-positiooni andurid. Sealjuures on olulisel kohal töökoha valgustamise võimalused, mis mõjutavad kasutaja heaolu. Sealjuures arvestatakse ka seadmete transpordi, ülesseadmise ja valideerimisest tingitud kulusi.

Tabel 6.1. Põhikonstruktsiooni ning mehaaniliste komponentide nimekiri.

<b>Nimetus</b>	<b>Toote nimi</b>	<b>Kogus (tk)</b>	<b>Maksumus (EUR)</b>	<b>Lõplik summa (EUR)</b>
<b>Üldine konstruktsioon</b>				
Raam	Bosch Rexroth profile 45x45x3000 mm	20	220	4400
Laua alusplaadid	R/V 1,0x1000x2000 AISI 304 2B	2	450	900
Konstruktsiooni tugiplaadid	k/v 1,0x1000x2000 DC01	3	230	690
Riiulite külj- ja seinplaadid	Plaat Organic Glass Sheet 500x1000x5mm	9	80	720
Profiilide kinnituskronsteinid koos kaitsekatetega	Bosch Rexroth Bracket, Gusset 45x45 set + Cover cap	120	15	1800
Reguleeritavad konstruktsioonjalad	Bosch Rexroth leveling foot D30 M8x65 20 tk	1	80	80
Silindri kinnituskronstein	Festo LBN-20/25	1	40	40
Praagikasti toru	RHS 150X150X5X2000 mm S355J2H	1	260	260
Komponentide hoidmisriiuli aluskonstruktsioon	Bosch Rexroth profile 20x20x3000 mm	6	85	510
Teleskoopslaidid koos relssidega	Accuride DZ2431-0030	2	60	120
Käepide	Plastic must VAL805 PL	1	5	5
Liigutatav uks koos linkidega	Plaat 400x400x3	1	35	35
Muud kinnitusvahendid				150

Tabel 6.2. Pneumaatika- ja elektroonikasüsteemide loomiseks kasutatavate komponentide nimekiri.

Nimetus	Toote nimi	Kogus (tk)	Maksumus (EUR)	Lõplik summa (EUR)
<b>Pneumaatikasüsteemi komponendid</b>				
Rõhuregulaator	Festo SPAU-P10R-MS4-F-L-PNLK-PNVBA-M8D	1	185	185
Õhu ettevalmistusplokk	Festo MSB4-1/4:C3:J1:F12-WP	1	350	350
Suruõhuvoolik	Festo PUN-H-4X0,75-BL	50	0,85	42,5
Pneumaatiline silinder	Festo DSBC-63-100-PPVA-N3	1	185	185
Pneumaatiline silinder	Festo DSNU-25-300-P-A	1	90	90
<b>Seadme juhtimissüsteem ja elektroonika komponendid</b>				
Jaotuskilp koos seadmete ja ühendustega	Roostevaba metallkilp 600x600x250 IP66 mont. plaadiga, IDE	1	2210	2210
PLC süsteem koos kasutajaliidesega	Siemens S7-1500 ES7 511-1AK01-4YB5 Starterkit	1	1750	1750
Standardne valgustuslamp	Bosch Rexroth System lamp SL 15 LED	1	485	485
Kaamera süsteem koos kinnituskronsteiniga	Cognex IS-7801	1	5655	5655
Silindri lõpp-positiooni andur	Festo SMAT-8M-U-E-0,3-M8D	4	85	340
Praagikasti optiline andur	Pepperl+Fuchs RAL150-IR/32/98	2	825	1650
Komponendi riuli optiline andur	Autonics Scandinavia AB BW20-20(P)	6	950	5700
Manuaalne vajutamispnupp	Banner STBVP6Q5	2	165	330
Punane ohutusnupp	Rockwell 800F-1YM3	1	90,5	90,5
Turvakardina seade	miniTwin	2	650	1300
Valgusfoor lamp	Rockwell Automation 855F-P10SC20B24Y4L5Y3	1	495	495
<b>Muu</b>				
Transport, ülesseadmine, kalibreerimine, valideerimine, töötunnid, hooldusoperatsioonid				5500
<b>Summa</b>				36,1k

Uue süsteemi maksumuse arvestamisel tehakse suurimad väljaminekud elektroonika komponentide ja põhikonstruktsiooni valmistamise valdkonnas. Sealjuures on olulisel kohal nii masinnägemise võimekusega kaamera, kasutatavate andurite, PLC süsteemi kui ka alusplaatide ja profiilide valik. Lisaks tõstab autor esile ka süsteemi vastupidavuse, stabiilsuse ja ohutusnõuete tagamise töösüklite ajal, mis muudavad seadme kasutamise turvaliseks. Sealjuures on seadmevalikul arvestatud ka toodete müügihinna ja kvaliteedi suhtega, mis annab parima lahendi ning väärtustab uue süsteemi loomist. Samuti vähendatakse sellega probleemide, tõrgete ja ebamugavuste esinemistõenäosust ning suurendatakse lõpp-toote töökindlust. Tuleviku perspektiive vaadeldes on olulisel kohal nii masina lihtne ülesehitus kui ka selle modifitseerimise ja edasiarendamise võimaluste tagamine. Arvestades uute tehnoloogiate ja nende funktsioonide arengut, on praegune lahendus kõige optimaalsem ning kastuajasõbralikum.



## **7. ÜLDSPETSIFIKATSIOONI KOOSTAMINE JA TARNIJA LEIDMISPROTSESS**

Toote tarnija leidmisel tuleb esmalt koostada vajalik dokumentatsioon. Selleks on üldjuhul masina lõplik spetsifikatsioon ehk MES, mille abil iseloomustatakse seadme tööprotsessi ja selle alla kuuluvaid alamkomponente. Nende hulka kuuluvad juhendid, joonised, funktsioonide mehaanilised ja elektrilised skeemid kui ka kirjeldused seadme toimimisest ja soovitatavatest parameetritest. Dokumendi edastamisel ja kinnitamisel sõlmitakse toote soovija ning tarnija vaheline leping, milles kirjeldatakse nii kasutustingimusi kui ka vastutavatele osapooltele esitatavaid nõudeid. Sealjuures seletatakse, kes milliste asjade eest hoolt peab kandma. Samuti on tegemist ostutellimuse eelse protsessiga, mistõttu tuleb koostamisel arvestada tähtaegade seadistamise ning nendest hilisemalt kinni pidamisega. Lisaks on olulisel kohal ka seadme kohaletoimetamine ja transport, ülesseadmine ning hooldusprotsess, mis peavad toimuma vastavalt eelkokkulepitud ajaplaanile.

Dokumentatsiooni eesmärgiks on lepingukriteeriumite täpne kirjeldamine ja osapoolte vahelise ühtse arusaamise saavutamine. Lisaks antakse ülevaade soovitava lahenduse põhimõtetest ning vajalikkusest uues loodavas süsteemis. Sealjuures esitatakse nii alamkomponentide nimekiri, vahetuse alguses olevate testide toimimisplaan, praaktoote eemaldamise süsteem, soovitav tsükli- ja toote vahetamise aeg kui ka seadme kalibreerimisvajadus ning maksimaalsete füüsiliste mõõtmete väärtused. Selle eesmärgiks on probleemide olemasolu ja soovitava lahenduskäigu aktuaalsuse väljendamine. Sealjuures peab loodav seade vastama masinaehituse standardile, tagama turvalisuse ning täitma keskkonnast tingitud nõudeid. Lisaks tuleb arvestada ka kasutatavate komponentide ja toodete vastavust esitatud tingimustele ja regulatsioonidele.

Koostatud spetsifikatsioon on esitatud erinevatele võimalikele tarnijatele, kellelt on saadud ka esmane tagasiside. Autori arvates on see olnud positiivne, kuid mõningate täpsustavate küsimustega. Sealjuures ei ole saadud kindlat pakkumist, mistõttu on leidmisprotsess veel lahtine ning jätkuv. Esmalt uuriti võimalikus järjestikprotsessis oleva masina suhtlemisvõimekust lähedal olevate seadmetega. Selle eesmärgiks on probleemi tekkimisinformatsiooni kohene edastamine teistele süsteemidele, mis väldib mittevastava toote ebasobilikku kasutamise võimalust. Seega praagi tekkimisel sama detaili järgmistes operatsioonides kasutada ei ole võimalik.

Praeguse ülesande konstrueeritav masin on esimeseks lüliks turvarihma koostamisel. Seega on see eraldiseisev ega sõltu eelnevatest seadmetest. Lisaks on olulisel kohal valmistatava toote unikaalsuse kontrollimine, vältimaks nende segiajamist. Sealjuures ei ole nii otsmistel- ega ka lindijuhtija kronsteinidel unikaalset numbrit või koodi, mistõttu ei saa neid skaneerida ega teineteisest eristada. Seega, kui soovida järgmistes turvarihma koostavates tööjaamades kontrollida pressimismasina lõpp-toodete õigsust, tuleb tagada nende unikaalsus või sellele vastav eristusmeetod.

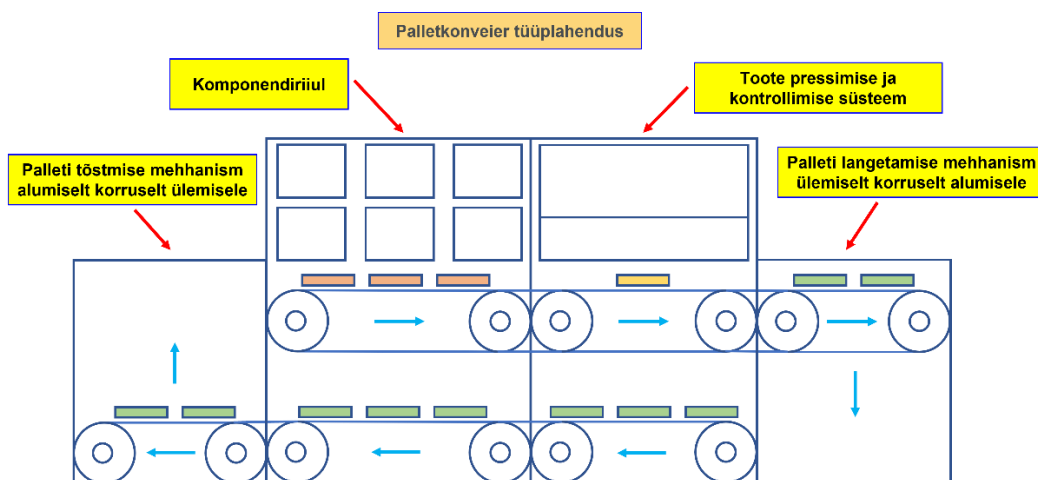
Teiseks uuritavaks teemaks olid ettevõtte Tox Pressotechnik spetsiaalsete hüdraulikasüsteemide ja servomasinate kasutamisevõimalus. Nende eeliseks on toodete pressimise kõrge kvaliteet ning erinevate tööriistade ja otsikute olemasolu. Sealjuures on olulisel kohal õige pressimisjõu tagamine ja selle kontrollimise meetod töötsükli ajal. Lisaks sobivad seadmed nii üksik- kui ka seeriatootmise tingimustesse ning on laia kasutusvaldkonnaga. Süsteemi puuduseks on aga lisaseadmete vajadus ning seadme füüsiliste mõõtmete kasv. Sealjuures tuleb arvestada, et pressitav toode on oma mõõtmetelt väike, mistõttu ei vaja see suurt rakendamisjõudu. Seega on lõputöös selgitatud probleeme võimalik lahendada ka hüdraulika- ja elektrooniliste servosüsteemide abil, kuid autori arvates ei need kõige optimaalsemaks meetodiks.

## 8. TULEVIKUPLAANID

### 8.1 Kahekorruseline palletkonveieri lahendus

Tuleviku plaanidena näeb autor erinevaid uuenduslikke ja süsteemi lihtsustavaid ning parendavaid lahendusi. Nendeks võivad olla nii komponentide automaatne liikumine palletide peal, mittevastavuse korral praaktoode eemaldamise meetod roboti haaratsi abil kui ka täisautomaatne võtmise, teineteise otsa ladumise ja toote koostamise protsess. Neist esimese abil vähendatakse operaatori liikuvust tööjaamas ning asendatakse konveiersüsteemiga (vt Joonis 8.1).

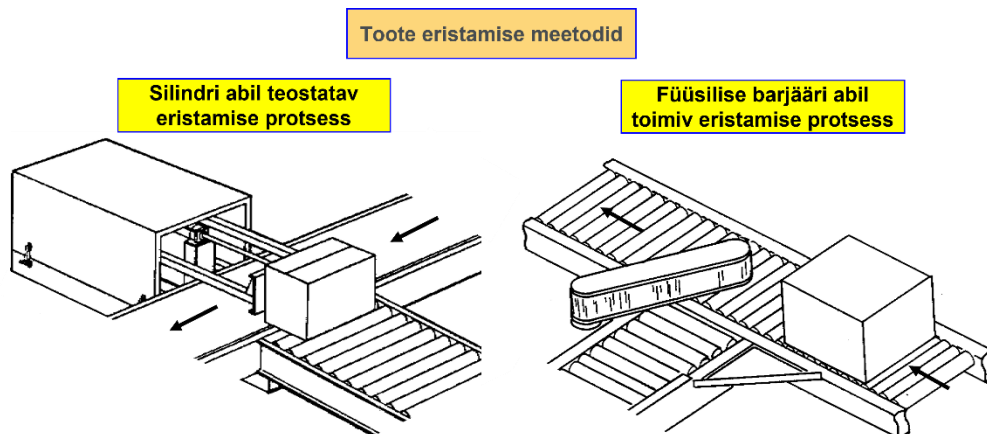
Sealne töö hõlmab komponentide võtmist riulilt ning asetamist palletil olevale rakisele. Signaali saamisel liigub see automaatselt järgmise jaama alasse. Seejärel toimub pressimisoperatsioon ning kontroll kaamera abil, mille järel eristatakse korrektne ja mittevastav lõpp-toode teineteisest. Lisaks on operaatoril võimalik ühe toote palletile asetamise järel alustada uuega. Seda aitab tagada nii-öelda kahekorruseline konveiersüsteem, kus koostatav toode liigub ühes ning valmisprodukt teises suunas. Sellisel juhul võib esimene liikuda ülemisel lindil vasakult paremale ning teine alumisel vastupidiselt. Sealjuures vähendatakse sellise ringliikumise meetodi kasutamisel kogusüsteemi mõõtmeid ning hallatavat maa-ala. Samuti on olulisel kohal võimalike tekkivate probleemide esinemistõenäosus. Praeguse pressimismasina miinuseks on manuaalne komponentide ja toodete käsitlemisprotsess. See tähendab, et süsteemis ei ole tagatud nende mahakukkumise ja sellest tulenevate ohtude tekkimine. Küll aga on palletiseeritud konveieri kasutamisel igal ajahetkel komponentide asukoht kindel, mis suurendab ohtlike olukordade vältimise ja töökindluse taset.



Joonis 8.1. Kahekorruselise palletkonveieri tüüplahenduse eestvaade. Punasega on toodud tühjad, kollasega pressimistsükli ootavad ning rohelisega valmistooded koos palletidega.

## 8.2 Toote eristamise ja pakkimise meetod

Järgmiseks automatiseerimise lahenduseks on korrektse ja mittevastava toote eristamise mehhanism (vt Joonis 8.2). Selle teostamiseks saab luua süsteemi, mille käigus on võimalik praakdetaili positsiooni muuta peale standardse pressimis- ja kaameraga kontrollimistsükli. Sealjuures võimaldab sellist liikumist nii silinder kui ka roboti haarats. Neist esimene teostab lükkamise ja teine mehaanilise- või vaakumhaaratsiga tõstmisoperatsiooni. Mõlema protsessi eesmärgiks on mittevastava toote kohene liinilt kõrvaldamine ning takistamine järgnevatele operatsioonidele jõudmiseks. Samuti saab protsessi teostada ka liigutatava seina või tasapinna abil, mis lükkab toote õigesse koridori. Sellisel juhul eraldatakse valmisdetailid teineteisest füüsilisel toel, mille tulemusel neid omavahel segi ajada ei ole võimalik. Lisaks annab see võimaluse automatiseerimise käigus optimeerida ka toote pakkimismeetodit, sest detaili liikumine õigesse kasti on eelmise mehhanismiga tagatud.



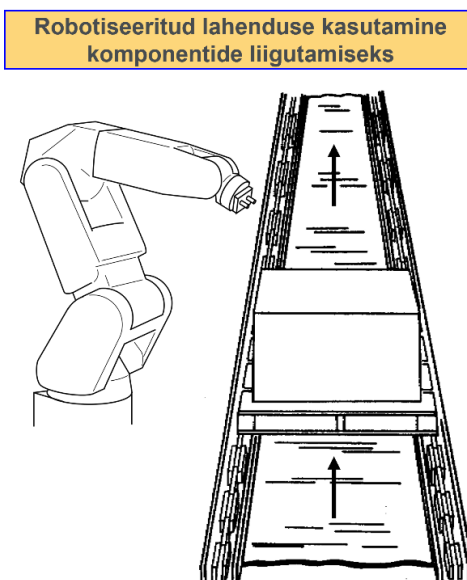
Joonis 8.2. Silindri ja füüsilise barjääri abil teostatava toote eristamise protsessi lahendused [50].

## 8.3 Robotiseeritud süsteemide kasutamine

Kolmandaks protsessi lihtsustavaks lahenduseks on robotiseeritud mehhanismide kasutamine. Nende eesmärkideks on inimjõu asendamine automaatsete süsteemidega, mis tagavad kiire ja suure täpsusega töö. Sellisteks olukordadeks on nii komponentide võtmine riulilt, asetamine alusplaadile või rakisele kui ka võimalik toote pakkimise operatsioon (vt Joonis 8.3). Nende automatiseerimine aitab vähendada tööjõukulusid ja tõsta tootmise efektiivsuse ning kvaliteeditaset.

Sealjuures tuleb arvestada, et robotsüsteemide kasutamisel mõjutavad maksumust nii seadme soetamine, paigaldamine ja ülesseadmine kui ka tootmisprotsesside käigus tekkivate hoolduste vajadused. Lisaks on olulisel kohal selle tasuvusaeg, sest ebasoodsa lahenduse leidmisel on tegemist lihtsalt liigse kulutusega. Seega tuleb robotiseeritud süsteemide kasutusvajadustel teostada eelanalüüs, mis iseloomustab selle reaalselt nõudlust. Sealjuures saab automatiseerimisel kasutada nii koostöö- kui ka tööstusrobotite lahendusi. Nende erinevuseks on töökeskkond, sest ühel juhul võib samas süsteemis töötada ka operaator, teisel mitte. Viimasel paikneb seade piiretega eraldatud alas, mis takistab võimalike probleemide ja vigastuste tekkimist. Selliselt tagatakse süsteemi ohutusnõuded ning inimene on selle abil rohkem kaitstud.

Samuti on mõlema robotitüübi kasutamisel vajalik selle tööala projekteerimine, haaratsi positsioneerimine kui ka lisaseadmete programmeerimine. Lisaks on nii-öelda automaatse toormaterjali ettesöötmise lahenduse juures olulisel kohal ka masinnägemise võimekusega kaamera, mis vaatleb komponentide asukohta korbis. Sealse kaootilise paiknemise tõttu peab haaratsi liikumine olema täpne ja kontrollitud, sest vastasel juhul ei saada detaile kätte ning võib tekkida nende libisemise ja kukkumisoht. Sealjuures saab edasi arendada ka komponendi kastide ühtsuse ja standardiseerimise meetodit. Selle abil lihtsustub robotiseeritud süsteemi keerukusaste ning suureneb tööjaama jõudluse võimekus.



Joonis 8.3. Tööstusroboti kasutamine komponentide võtmiseks ja aluspinnale asetamiseks [50] [51].

Lisaks aitab automaatmasinate kasutamine ebamugava või monotoonse töö tegemise minimiseerimist ning tagab sellega tootmistööstuse kasuteguri suurendamist. Samuti muudab ülesannete teostamisel süsteemi paindlikumaks uuenduslike ja innovaatiliste terviklahenduste väljatöötamine. Sellisel juhul leitakse protsessi pideva arengu abil võimalusi optimeerimiseks ja operatsioonide teostamiseks lihtsamalt kui varem. Sealjuures leidub robotsüsteeme erikonfiguratsioonide ja telgede võimekusega, mis tagavad töötamise laialdase valdkonna ülesannete ja probleemidega. Lisaks on võimalik seadmeid ümber programmeerida, mistõttu on nende kasutamisvalik sobilik tööstusautomaatika valdkonnas.

## KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli ettevõttes oleva pressimismasina uurimine ja selle probleemsete kohtade leidmine. Sealjuures analüüsiti nii seadme automatiseerimisvõimaluste väljatöötamise kui ka töösükli käigus tekkiva praagi ja mittevastavate toodete vähendamisprotsessi. Selle tulemusel muudetakse süsteem kasutaja jaoks turvaliseks ja pettusekindlaks, mis aitab vähendada võimalike pingete tekkimist ning suurendab sealse töökeskkonna produktiivsust.

Töö algusfaasis kirjeldati praeguse pressimismasina ülesehitust ja tööpõhimõtet, mis põhinevad hammasratta ning lati omavahelisel liikumisel. Sealjuures on protsess manuaalne ning peamiselt inimjõu poolt teostatav. Selleks on seadmel pöördmehhanismiga kang, mille abil kontrollitakse silindri liikumist ja kasutavate toodete pressimisoperatsiooni teostamist. Lisaks kuulub masina põhiosade juurde ka ekraanidega peapaneel, millel ilmnevad nii operatsiooni seisundid kui ka saadud korrektsete ja mittevastavate toodete kogused. Selle eesmärgiks on operaatori teavitamine pressimistsükli sobilikkuse või praagitekkimise kohta. Sealjuures on olulisel kohal ka rakis, mis tagab õigete komponentide kasutamise ja stabiilse keskkonna tööprotsessi vältel.

Edasine tegevus keskendus probleemsete kohtade uurimisele. Peamiselt jagunesid need puuduva komponendi või vale asetsemisjärjekorra eristamiseks. Sealjuures on masin neid suuteline tuvastama, kui komponentide mõõtmetest tingitud vahe on piisavalt suur. Vastasel korral jäädakse pressimistolerantsi alasse, millega kaasnevad nii rohelise tule süttimine ja korrektse toote edasine pakkimisvõimalus. Seega ei ole olemasoleva seadme kontrollmeetodid piisavad ning vajavad edasi uurimist ja arendamist. Lisaks ei ole süsteemis tagatud nõutele vastavad ohutustingimused. Sealjuures võib pressimistsükli teostamisel toote küljest eemalduda teravaid objekte, mis soodustavad nii inim- kui ka masinvigastuste tekkimise tõenäosust.

Uue seadme arendamisel lähtutakse esinenud probleemidest ning nende automatiseerimisvõimaluste analüüsimisest. Selleks jaotatakse süsteem osaülesanneteks, et seda oleks lihtsam jälgida ning parimaid võimalikke lahendusi leida. Töö alustamisel luuakse esialgne kontseptsioon kontrollimaks, kas masinnägemise võimekuse süsteemi abil on võimalik tekkinud murekohti uurida. Selleks luuakse platvorm, kus paiknevad nii pressimise rakis kui ka toode, mis jäävad kaamera vaatevälja. Seadme programmeerimise järel ilmnes, et lahendus on sobilik samalaadsete probleemide lahendamisel. Seega jätkati selle edasiarendamist ning erinevate kasutatavate seadmete kaasamist loodavasse süsteemi.

Järgmised tegevused hõlmasid nii toote vertikaalse pressimismehhanismi, horisontaalselt liikuva sahtlisüsteemi, elektroonika ja PLC valdkonna kui ka ohutuselementide kirjeldamist. Samuti analüüsitakse võimalike seadmete kasutamise võimalust ning sobivust uue masina arendusplaani. Sealjuures koosneb pressimise lahendus nii tööd tegevast silindrist, alumiiniumprofiil raamist ja alus- ning põhjaplaatide konstruktsioonist. Nende abil tagatakse mehhanismi stabiilsus ja töökindlus pressimistsükli teostamisel. Sahtlisüsteemi eesmärgiks on aga toote hoidmise ja liigutamise võimaldamine. Selle lahendamiseks kasutatakse pneumaatilise võimekusega silindri ja külgsente relssidel paikneva teleskoopmehhanismi koostöötamise mehhanismi. Selliselt tagatakse sujuv ja kontrollitud liikumine, mis aitab kasutatavate komponentide mõõtmeid hoida minimaalsetena. Lisaks mõjutab sahtlisüsteemi lahenduse kasutamine protsessi mugavust ning tagab toote fikseeritud asukoha.

Uue seadme konstrueerimisel ja arendamisel tuleb nii-öelda aju ja PLC süsteemi valikul lähtuda korporatsiooni standarditel ning esitatud nõuetel. Sealjuures on olulisel kohal usaldusväärne, kiire ning töökindel andmeedastuse meetod. Selle tagamiseks kasutatakse seitsmenda generatsiooni tooteid, mis tagavad kontrollite ja seadmete vahelise kommunikatsiooni tööstuslikus keskkonnas. Lisaks tuleb arvestada elektriliste ja ohutust tagavate toodete kasutamise võimalustega. Nende hulka kuuluvad nii turvakardin ohtlike olukordade vältimiseks, ohutusnupp masina seiskamiseks, kahe-käe nupud protsessi alustamiseks ja valgusfoor lamp seadme oleku näitamiseks. Sealjuures lihtsustub operaatori tööükkel, mille tulemusel tõuseb süsteemi turvalisus ning kvaliteetse toodangu osakaal. Lisaks tuleb arvestada ka tööjaama ergonoomika nõuete ja sealsete kasutatavate vahendite vastavusega inimvõimete piiridele. Sealjuures peab protsess olema loogiline, vältides üleliigseid tegevusi. Selliselt vähendatakse vigastuste tekkimise riski ja suurendatakse liinil töötamise produktiivsust.



Samuti kuulub pressimismasina automatiseerimise juurde uue toote maksumuse ja valmislahenduste analüüs. See hõlmab nii kontseptsiooni väljatöötamise, komponentide tellimise ja sellest tuleneva transpordi kui ka valideerimise ja hooldusekulude arvestamist. Praeguse ülesande uurimisel tekkisid kaks tööjaama lahendusmeetodit. Nendeks on U- ja L-kujulised seadme ülesehitused, millest esimene võimaldab töötada ühe ning teine kahe operaatoriga. Sealjuures on mõlema tööprotsess samalaadne, kasutades võrdväärseid komponente ning töötades üldjuhul vasakul paremale. Samuti käitatakse praaktoote esinemisel vastupidiselt, mis aitab suurendada korrektsete ja mittevastavate detailide eristamist ning liinilt kõrvaldamist. Lisaks on eesmärgiks kasutaja mugavuse tõstmine ja kindla töötegemise järjekorra tagamine.

Tulevikuplaane arvestades soovib autor kasutada erinevaid uuenduslikke ja süsteemi lihtsustavaid lahendusmeetodeid. Nendeks võivad olla nii palletiseeritud liikumine, korrektse ja praaktoote eristamislahendus kui ka robotiseeritud või täisautomaatne mehhanism komponentide tõstmiseks. Nende abil tagatakse detailide mahakukkumise ja toodete käsitlemisprotsessis tekkivate vigade vähendamine. Selleks saab kasutada nii silindrite kui ka tööstus- ja koostööroboti haaratsi liikumisel teostatavaid lahendusi. Samuti on arvestavateks teemadeks ka operaatori tähtsustamine ja tema liikumine ning paiknemine süsteemis. Sealjuures aitavad robotiseeritud lahendused asendada monotoonseid tegevusi, mis tõstavad kasutaja heaolu. Seega tagatakse pideva optimeerimisprotsessi abil tööjaama paindlikkus, mis soodustab süsteemi kasuteguri suurendamist.

## SUMMARY

The main objectives of this thesis was to observate current pressing machine and to find the problematic places which could be solved or automated. The analysis included non-compliant product prevention as well as scrap rate reduction in production process. As a result, the system is made more user-frendly and secure, which helps to reduce potential stress and increase the productivity in the work environment.

In the first phase of the thesis, the structure and work principle of the current pressing machine were described. This machine is based on a rack and pinion system, which is a type of linear actuator, where circular or rotating movement will be converted to linear. For this purpose the pressing device has a lever, which will be manually operated by the user. In addition, the main parts of the machine include a main panel with screens, which show the status of the finished operation and the quantities of correct and non-compliant products. This will help to inform the operator of the suitable pressing cycle and the amount of scrap rate. Therefore there is an important role for fixture, which ensures that the right components are used to make this product and the environment is stable throughout the pressing operation.

The further analysis are focused on the problematic areas, which are mainly devided into two categories. These are the products which have a missing component or wrong order. Therefore the current machine is able to detect the errors only if the difference of the component dimensions are large enough. Otherwise it will remain in the pressing tolerance area, which will indicate a green light for further packaging and other operations of the false-correct product. In addition, the system does not meet the safety requirements and conditions. Sharp objects can fly away from the product during the pressing cycle, which can lead to both human and machine injuries. This shows that the control methods and safety regulations of existing machine are not sufficient and need further research and development.

The new device is based on the problems listed above and the analysis of their automation possibilities. This will divide the system into sub-task to make it easier to monitor and find the best possible solutions. The author started to create a concept to check if machine vision based system could solve existing problems. After placing the camera towards the product and programming the device to look for different components, it appeared that the solution is suitable for the thesis. This leads to further development and involment with various devices in the system.

The next activities included the description of the vertical pressing mechanism, the horizontally moving drawer system, electronics and PLC components and as well as the safety features. The first consists of a working pneumatic cylinder, an aluminium profile frame and the construction of the base and bottom plates. These details are ensuring the stability and reliability of the full mechanism during the pressing cycle. The purpose of the drawer system is to allow the product to be fixed in a position and moved together with plate horizontally. One way to implement this solution will be with a pneumatic cylinder and a telescopic mechanism on rails of the side wall. This ensures smooth and controlled movement, which helps to keep the dimensions of the sub-system to minimum.

When designing and developing a new device for production process, some company's and machine building standards and requirements must be used. This applies to ordering electronic components and PLC systems. It also ensures fast and reliable communication between controllers and devices in an industrial environment. In addition, this will increase the need for use as well as the level of safety systems in processes. These include safety curtains to prevent dangerous situations, a safety button to stop the machine at any time, two-handed buttons to start the process and a andon light system to indicate the current status of the machine. At the same time this will simplify the work cycle for the operator and as a result increase the security of the system and product quality in production. In addition, the ergonomic requirements of the workstation must be considered. The workplace should compliance with a standard and the equipment according to human limits and capabilities. The working process must be logical, avoiding unnecessary actions and movements. This way of production systems reduce the risk of injury and increase the productivity of the line.

The automation of current pressing machine also includes an analysis of cost and the final solutions of the new product. This is described with development of the concept, ordering and transporting the components and as well as validating the machine. In addition the yearly cost of maintenance must be considered. Solving the current tasks of the thesis, two workstation solutions occurred. The first one is L-shaped configuration, which allows to work only with one operator. The second is U-shaped, where can be both one or two production workers in the same station. Therefore are the workflows very similar, using equivalent components and devices and generally working from left to right. When detecting the defective product, the process is reversed, which helps to increase the distinction between correct and non-compliant parts and to remove them more easily from the production line. In addition, the aim is to increase the user comfort level and ensure a secure order of process.

There are also several ways to develop the system in the future with the use of various innovative solutions. These can be palletizing movements, a physical distinguish method between correct and non-compliant products, as well as robotic or fully automatic mechanism for picking and placing sub-components and details. The purpose is to fix its movement and prevent the fall of the parts and errors in the product handling process. For the solutions, the author suggest to use a cylinder or the gripper of the industrial or collaborative robot. These can help to replace the monotonous activities to automated methods and increase the flexibility and efficiency of the workstation in production system.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „AS Norma koduleht,“ AS Norma, 6 märts 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.norma.ee/>. [Kasutatud 6 Märts 2022].
- [2] „AS Automotive Holding - AS Norma aktsia,“ FINANTSINSPEKTSIOON, 17 märts 2010. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.fi.ee/et/investeerimine/registrid/rahvusvahelised-registrid/kooskolastatud-ulevotmispakkumised/automotive-holding-norma>. [Kasutatud 6 Märts 2022].
- [3] „Norma 125: ämbritest plekkpurkide ja turvavöödeni,“ Turundusproff OÜ | Tel: +372 668 4770 | [info@director.ee](mailto:info@director.ee) | Peterburi tee 2F, Tallinn 11415 | © Director 2022, 18 august 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://director.ee/2016/05/15/norma-125-ambritest-plekkpurkide-ja-turvavoodeni/>. [Kasutatud 6 Märts 2022].
- [4] e.-p. i. – d-Systems OÜ (registrikood 12213089, „aktsiaselts Norma,“ d-Systems, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.teatmik.ee/et/personlegal/10043950-aktsiaselts-Norma>. [Kasutatud 10 Aprill 2022].
- [5] „88888 FRONT SEAT BELT,“ Catcar.info, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://catcar.info/kia/?lang=en&l=eWVhcj09MjAxOHx8cmVnaW9uPT1BTEEx8fHN0PT01MHx8c3RzPT17IjEwIjoiUmVnaW9uIiwiMjAiOiIyMDE4IEFsbCIIsIjMwIjoiMjAxOCBTT1VMIDE2ICgyMDE2LSkiLCI0MCI6IIRSSU0iLCI1MCI6Ijg4ODg4IEZST05UIFNfQVQgQkVMVCJ9fHxjYz09S0hNQlBCMjJ8fGNhdD09S0hNQlBCM>. [Kasutatud 13 Märts 2022].
- [6] D. H. Myszka, „Machines And Mechanisms : Applied Kinematic Analysis [EXP-6584] Rack and pinion drill press,“ Holooly.com, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://holooly.com/solutions/a-rack-and-pinion-is-used-on-a-drill-press-as-shown-in-figure-10-16-the-16-pitch-pinion-has-16-teeth-determine-the-distance-that-the-handle-and-pinion-must-be-rotated-in-order-to-advance-the-drill/>. [Kasutatud 29 Aprill 2022].

- [7] T. Konsultatsioonid, „Kanban-süsteemide alane nõustamine,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tjo.ee/konsultatsioon/kanban-susteemide-alane-noustamine/>. [Kasutatud 10 Aprill 2022].
- [8] L. Antalainen, „Tõhus ja lihtne meetod laohalduses – Kanban.,” OÜ DIGIWISE, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://digiwise.ee/tohus-ja-lihtne-meetod-laohalduses-kanban/>. [Kasutatud 10 Aprill 2022].
- [9] „Technology overview - safety light curtains,” ifm electronic gmbh 2022, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ifm.com/us/en/us/overview/light-curtains/technology/light-curtains-technology>. [Kasutatud 25 Aprill 2022].
- [10] W. M. H. Aotearoa, „Manufacturing Safe use of machinery,” 13 September 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.worksafe.govt.nz/topic-and-industry/manufacturing/safe-use-of-machinery/>. [Kasutatud 25 Aprill 2022].
- [11] Diesel\_V, „Emergency Stop Button 03 3D,” TurboSquid 2022, 19 Märts 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.turbosquid.com/FullPreview/1267392>. [Kasutatud 25 Aprill 2022].
- [12] „Andon Overall equipment effectiveness Production Electronics Accessory, Andon, color, quality, material png,” PNGWing, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pngwing.com/en/free-png-kpczl>. [Kasutatud 25 Aprill 2022].
- [13] „Iso Safety Signs - Moving Parts Warning Sign,” Pngkey.com, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pngkey.com/maxpic/u2q8e6w7u2r5i1e6/>. [Kasutatud 25 Aprill 2022].
- [14] C. Corporation, „MACHINE VISION PRODUCT GUIDE,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.cognex.com/downloads/machine-vision-product-guide-9956>. [Kasutatud 2022 Aprill 26].
- [15] C. Corporation, „ISC-7000 Series Camera Reference Guide,” 8 Aprill 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.cognex.com/support/downloads/ns/280/281/ISC7000Series\\_ReferenceGuide\\_780.pdf](http://www.cognex.com/support/downloads/ns/280/281/ISC7000Series_ReferenceGuide_780.pdf). [Kasutatud 11 Aprill 2022].

- [16] C. Corporation, „7800/7801/7802 Vision System Specifications,” 6 Veebruar 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://support.cognex.com/docs/is\\_581/web/EN/is7000Gen2/Content/Topics/Hardware/Specs\\_7800.htm?TocPath=Specifications%7C\\_\\_\\_\\_\\_3](https://support.cognex.com/docs/is_581/web/EN/is7000Gen2/Content/Topics/Hardware/Specs_7800.htm?TocPath=Specifications%7C_____3). [Kasutatud 15 Aprill 2022].
- [17] C. Corporation, „In-Sight® Explorer Help,” 4 Oktoober 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://support.cognex.com/docs/is\\_621/web/EN/ise/Content/GettingStarted/WelcomeToIn-SightExplorer.htm](https://support.cognex.com/docs/is_621/web/EN/ise/Content/GettingStarted/WelcomeToIn-SightExplorer.htm). [Kasutatud 2022 Aprill 26].
- [18] „Smart camera Wide field of view sensor model Color AF type,” KEYENCE CORPORATION, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv3/models/iv3-600ca/>. [Kasutatud 2 Mai 2022].
- [19] „Vision Sensor with Built-in AI IV3 series,” KEYENCE CORPORATION, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv3/>. [Kasutatud 3 Mai 2022].
- [20] „OPD100 profile sensor,” ifm electronic gmbh, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ifm.com/de/en/product/OPD100>. [Kasutatud 2 Mai 2022].
- [21] K. Janno ja T. Mart, „Masinnägemisrakendus roboti juhtimiseks mikrokontrolleri abil, Microcontroller Based Machine Vision Application for Robot Control,” Tallinna Tehnikaülikool, 8 Juuni 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/1019ec82-0240-4ea4-83d8-cbdeae075f3e>. [Kasutatud 5 Mai 2022].
- [22] „Intel® RealSense™ Depth Camera D415,” Intel Corporation, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d415/>. [Kasutatud 5 Mai 2022].
- [23] „Intel® RealSense™ Product Family D400 Series,” Intel Corporation, Märts 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.intelrealsense.com/wp->

content/uploads/2022/03/Intel-RealSense-D400-Series-Datasheet-March-2022.pdf. [Kasutatud 5 Mai 2022].

- [24] „Robot vision system In-Sight 7800,“ Cognex Corporation, Direct Industry by VirtualExpo Group, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.directindustry.com/prod/cognex-corporation/product-23274-2007626.html>. [Kasutatud 5 Mai 2022].
- [25] „NEW JETSON NANO 2GB DEVELOPER KIT,“ NVIDIA Corporation, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano-developer-kit/>. [Kasutatud 5 Mai 2022].
- [26] „Intel® RealSense Depth Camera D415,“ RS Components Ltd, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://uk.rs-online.com/web/p/depth-cameras/1720980>. [Kasutatud 5 Mai 2022].
- [27] F. Corporation, „ISO cylinder DSBC-63-100-PPVA-N3,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.festo.com/us/en/a/1383582/?q=~:sortByFacetValues-asc~:CC\\_Piston\\_diameter\\_mm\\_C\\_FP\\_GLOBAL~:63.0~:CC\\_Stroke\\_mm\\_C\\_FP\\_GLOBAL~:100.0](https://www.festo.com/us/en/a/1383582/?q=~:sortByFacetValues-asc~:CC_Piston_diameter_mm_C_FP_GLOBAL~:63.0~:CC_Stroke_mm_C_FP_GLOBAL~:100.0). [Kasutatud 25 Aprill 2022].
- [28] F. Corporation, „Standards-based cylinders DSBC, ISO 15552,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.festo.com/media/pim/133/D15000100122133.PDF>. [Kasutatud 25 Aprill 2022].
- [29] B. R. A. 2014-2021, „Strut profile 45x45L,“ 8 September 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/assembly-technology/basic-mechanic-elements/strut-profiles/strut-profiles-slot-10-modular-dimensions-45/45x45l>. [Kasutatud 25 Aprill 2022].
- [30] „DZ2431-0030 - Telescopic Slide, 300mm, 20kg, Accuride,“ Distrelec Schweiz AG, [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.elfadistrelec.ee/et/telescopic-slide-300mm-20kg-accuride-dz2431-0030/p/30143758?trackQuery=cat-DNAV\\_PL\\_170601&pos=3&origPos=55&origPageSize=50&filterapplied=filter\\_Load+Capacity~~kg%3d13%26pageSize%3d50%26page%3d2&track=true](https://www.elfadistrelec.ee/et/telescopic-slide-300mm-20kg-accuride-dz2431-0030/p/30143758?trackQuery=cat-DNAV_PL_170601&pos=3&origPos=55&origPageSize=50&filterapplied=filter_Load+Capacity~~kg%3d13%26pageSize%3d50%26page%3d2&track=true). [Kasutatud 27 Aprill 2022].



- [31] P. F. Limited, „DSBC-63-100-PPVA-N3,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ee.farnell.com/festo/1383582/cylinder-dbl-acting-63mm-12bar/dp/3431487?st=festo%20dsbc-63-100-ppva-n3>. [Kasutatud 27 Aprill 2022].
- [32] O. E. A. 2022, „KÄEPIDE PLASTIK MUST VAL805 PL,” Ehituse ABC, Valnes, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ehituseabc.ee/ee/kaepide-plastik-must-val805-pl>. [Kasutatud 27 Aprill 2022].
- [33] F. Corporation, „ISO cylinder DSNU-25-300-P-A,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.festo.com/tw/en/a/19228/?q=~:sortByFacetValues-asc~:coreProduct~:true~:CC\\_Stroke\\_mm\\_C\\_FP\\_GLOBAL~:300.0~:CC\\_Cushioning\\_C\\_FP\\_GLOBAL~:CC\\_Cushioning.P~:CC\\_Function\\_C\\_FP\\_GLOBAL~:CC\\_Function.\\_~:CC\\_Position\\_sensing\\_C\\_FP\\_GLOBAL~:CC\\_Position\\_sensing.A~](https://www.festo.com/tw/en/a/19228/?q=~:sortByFacetValues-asc~:coreProduct~:true~:CC_Stroke_mm_C_FP_GLOBAL~:300.0~:CC_Cushioning_C_FP_GLOBAL~:CC_Cushioning.P~:CC_Function_C_FP_GLOBAL~:CC_Function._~:CC_Position_sensing_C_FP_GLOBAL~:CC_Position_sensing.A~). [Kasutatud 26 Aprill 2022].
- [34] F. Corporation, „ISO cylinder DSNU-25-300-P-A Datasheet,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.festo.com/tw/en/a/download-document/datasheet/19228>. [Kasutatud 26 Aprill 2022].
- [35] P. F. Limited, „DSNU-25-300-P-A,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ee.farnell.com/festo/19228/cylinder-dbl-acting-25mm-10bar/dp/3430910>. [Kasutatud 27 Aprill 2022].
- [36] F. Holger, A. Javier, C. Pierre, H. Artur, G. Cedric, B. David, P. Bryan, D. Franck, M. Marius, C. Jean-Jacques, K. Jens, C. Yannick ja K. Karolina, „AEU EMS Specification,” Autoliv, 22 Märts 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://plm.autoliv.int/linkto/latest/Memo/E1434055/\\*](https://plm.autoliv.int/linkto/latest/Memo/E1434055/*). [Kasutatud 27 Aprill 2022].
- [37] „S7-1500,” Siemens 2021, 1 Aprill 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10204162#Overview>. [Kasutatud 28 Aprill 2022].
- [38] s. G. Website, „SIMATIC S7-1500 CPUs,” Siemens 1996 – 2022, [Võrgumaterjal]. Saadaval:

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500/cpus.html>. [Kasutatud 28 Aprill 2022].

- [39] Siemens, „SIMATIC S7-1500 / ET 200 MP Automation system In a nutshell,” Siemens, Oktoober 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/357/109481357/att\\_903671/v1/s71500\\_et200mp\\_in\\_a\\_nutshell\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/357/109481357/att_903671/v1/s71500_et200mp_in_a_nutshell_en-US.pdf). [Kasutatud 9 Mai 2022].
- [40] „WHAT ARE THE DIFFERENCES BETWEEN SIMATIC S7-300 AND S7-1500 PLCS?,” RealPars B.V, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://realpars.com/S7-300-versus-S7-1500/>. [Kasutatud 9 Mai 2022].
- [41] „Safety light curtains miniTwin / 1 Twin-Stick,” SICK AG, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sick.com/us/en/safety-light-curtains/safety-light-curtains/minitwin/c2mt-03014bbc03db0/p/p171283>. [Kasutatud 10 Mai 2022].
- [42] TURTLE & HUGHES, „ROCKWELL AUTOMATION 800F-1YM3,” Rockwell Automation, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.turtle.com/1232465/Product/rockwell-automation-800f-1ym3#prettyPhoto>. [Kasutatud 11 Mai 2022].
- [43] „SCA4 (SWITCH A),” CAPTRON, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.captron.com/products/detail/sca4/>. [Kasutatud 11 Mai 2022].
- [44] „STB SERIES SAFETY TOUCH BUTTONS STBVP6Q5,” Banner Engineering Corp., [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.bannerengineering.com/za/en/products/part.64181.html>. [Kasutatud 11 Mai 2022].
- [45] TURTLE & HUGHES, „ROCKWELL AUTOMATION 855F-P10SC20B24Y4L5Y3,” ROCKWELL AUTOMATION, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.turtle.com/1215422/Product/rockwell-automation-855f-p10sc20b24y4l5y3>. [Kasutatud 12 Mai 2022].
- [46] SMC Electric, „Rockwell Automation Control Tower™ 855F-P10SC20B24Y4Y8Y3 Compact Steady Tower Light, 24 VAC/VDC, LED Lamp, Green/Red/Yellow, Specifications Met: UL 508, CSA C22.2 No. 14, EN/IEC 60947-1/60947-5-1,

cULus File No. E14840, Guide No. NKCR/NKCR7, CE Marked," Rockwell Automation, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.smcelectric.com/products/rockwell-automation-ab855fp10sc20b24y4y8y3/>. [Kasutatud 12 Mai 2022].

[47] „Slot grid sensor RAL150-IR/32/98," Pepperl+Fuchs GmbH, Pepperl+Fuchs AG, Pepperl+Fuchs SE, [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid\\_50.htm?view=productdetails&prodid=30876#overview](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid_50.htm?view=productdetails&prodid=30876#overview). [Kasutatud 12 Mai 2022].

[48] „BW Series," Autonics Scandinavia AB, Autonics.se. A production by Smart Optimering, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://autonics.se/produkt/bw-series/>. [Kasutatud 17 Mai 2022].

[49] Karolina Kazmierczak, „AUTOLIV STANDARD Ergonomics AS331," Autoliv Inc, 29 Oktoober 2015. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://alvapps.alv.autoliv.int/sites/alvacs/SitePages/Standard\\_Summary.aspx?wdoc=AS331&?docpath=/sites/alvacs/Standards/AS331.docx?Web=1](https://alvapps.alv.autoliv.int/sites/alvacs/SitePages/Standard_Summary.aspx?wdoc=AS331&?docpath=/sites/alvacs/Standards/AS331.docx?Web=1). [Kasutatud 15 Mai 2022].

[50] „I-A. Conveyors," MHI, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.mhi.org/learning/cicmhe/resources/taxonomy/TransEq/Conv/index.htm>. [Kasutatud 20 Mai 2022].

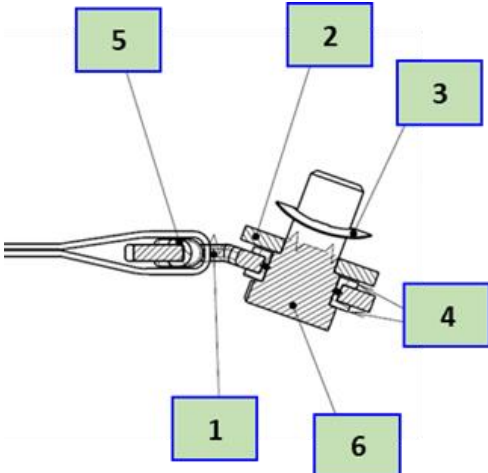
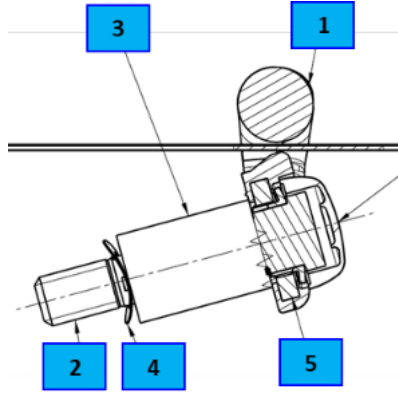
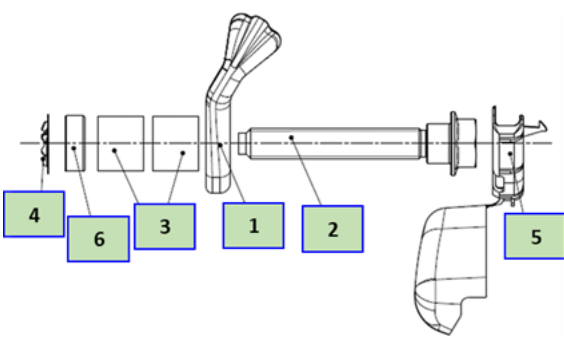
[51] „Drawing Industrial robot Robotics Robotic arm, robot hand, angle, white, electronics png," pngwing, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pngwing.com/en/free-png-ztigh>. [Kasutatud 20 Mai 2022].

[52] T. Tallinna, „X PNEUMOSEADMETE DIMENSIONEERIMINE MES0080 ÕPPEMATERJALID," [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 29 Mai 2021].

**LISAD**

## Lisa 1 Eelkoostamispressil kasutatavad tooted

Tabel 9.1. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 1-3.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
OTSMINE KRONSTEIN	1	KRONSTEIN	1		1
	2	METALLIST DISTANTSSEIB	1		
	3	TRANSPORDI SEIB	1		
	4	PUKS	2		
	5	LINDIJUHTIJA	1		
	6	POLT	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	LINDIJUHTIJA	1		2
	2	POLT	1		
	3	DISTANTSSEIB	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	PUKS	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	LINDIJUHTIJA	1		3
	2	POLT	1		
	3	DISTANTSSEIB	2		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	JUHTIJA KATE	1		
	6	DISTANTSSEIB	1		

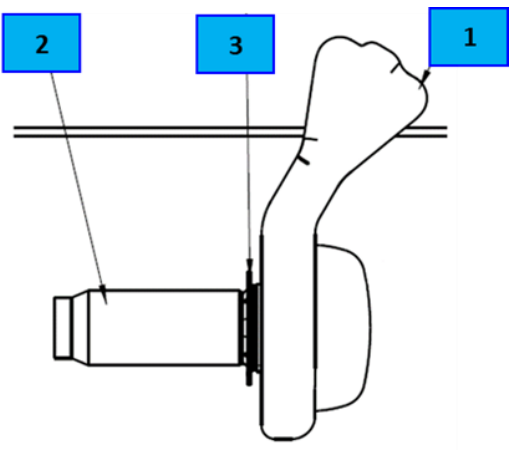
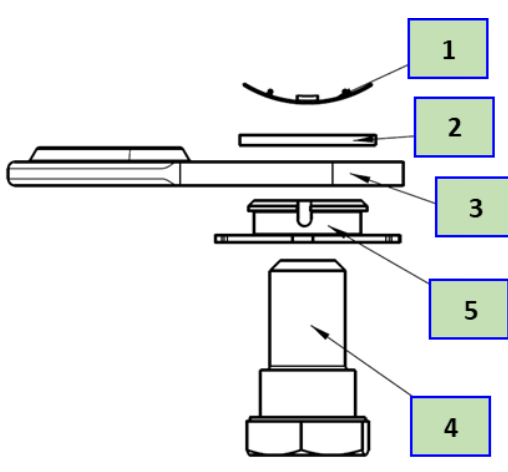
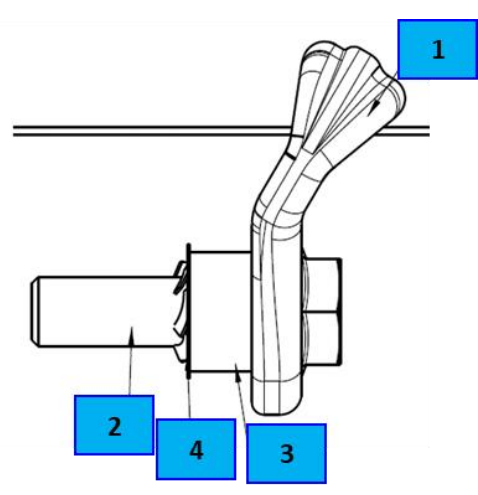
Tabel 9.2. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooded 4-6.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		4
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		5
	2	METALLIST DISTANTSSEIB	2		
	3	POLT	1		
	4	PLASTMASSIST DISTANTSSEIB	1		
	5	TRANSPORDI SEIB	1		
	6	METALLIST DISTANTSSEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		6
	2	PUKS	1		
	3	POLT	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	DISTANTSSEIB	1		

Tabel 9.3. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooded 7-9.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		7
	2	POLT	1		
	3	METALLIST DISTANTSSEIB	2		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		8
	2	POLT	1		
	3	METALLIST DISTANTSSEIB	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		9
	2	POLT	1		
	3	DISTANTSSEIB	1		
	4	PUKS	1		
	5	TRANSPORDI SEIB	1		

Tabel 9.4. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 10-12.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		10
	2	POLT	1		
	3	TRANSPORDI SEIB	1		
OTSMINE KRONSTEIN	1	TRANSPORDI SEIB	1		11
	2	DISTANTSSEIB	1		
	3	KRONSTEIN	1		
	4	POLT	1		
	5	PUKS	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		12
	2	POLT	1		
	3	DISTANTSSEIB	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		



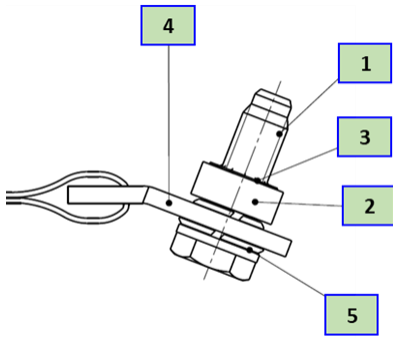
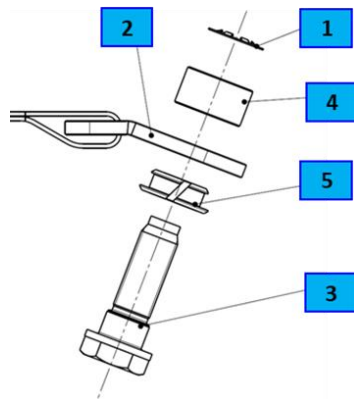
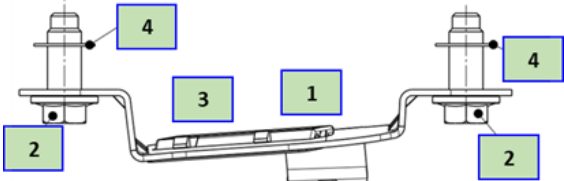
Tabel 9.5. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooded 13-15.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		13
	2	POLT	1		
	3	DISTANTSSEIB	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		14
	2	JUHTIJA KATE	1		
	3	POLT	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	SUUR DISTANTSSEIB	1		
	6	VÄIKE DISTANTSSEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	TRANSPORDI SEIB	1		15
	2	JUHTIJA	1		
	3	POLT	1		

Tabel 9.6. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 16-18.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		16
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	PLASTMASSIST PUKS	2		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		17
	2	POLT	1		
	3	SUUR PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	PLASTMASSIST PUKS	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		18
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	PLASTMASSIST PUKS	2		

Tabel 9.7. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 19-21.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
OTSIMINE KRONSTEIN	1	POLT	1		19
	2	PUKS	1		
	3	TRANSPORDI SEIB	1		
	4	KRONSTEIN	1		
	5	PUKS	1		
OTSIMINE KRONSTEIN	1	TRANSPORDI SEIB	1		20
	2	KRONSTEIN	1		
	3	POLT	1		
	4	SUUR PUKS	1		
	5	PLASTMASSIST PUKS	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	KRONSTEINI RAAM	1		21
	2	POLT	2		
	3	LINDISUUNAJA	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	2		

Tabel 9.8. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 22-24.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		22
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	LAINELINE SEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		23
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	KATE	1		
OTSMINE KRONSTEIN	1	KRONSTEIN	1		24
	2	POLT	1		
	3	TRANSPORDI SEIB	1		

Tabel 9.9. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 25-27.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
OTSMINE KRONSTEIN	1	KRONSTEIN	1		25
	2	POLT	1		
	3	TRANSPORDI SEIB	1		
RETRAKTORI RAAMI KRONSTEIN	1	KRONSTEIN	1		26
	2	POLT	1		
	3	TRANSPORDI SEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		27
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	LAINELINE SEIB	1		

Tabel 9.10. Otsmise ja lindijuhtija kronsteini näidistooted 28-30.

VALMIS KOMPONENDID	NR.	KOMPONENDID	KOGUS (TK)	JOONIS	JÄRJEKORRA NR.
OTSMINE KRONSTEIN	1	KRONSTEIN	1		28
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
OTSMINE KRONSTEIN	1	KRONSTEIN	1		29
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
LINDIJUHTIJA KRONSTEIN	1	JUHTIJA	1		30
	2	POLT	1		
	3	PUKS	1		
	4	TRANSPORDI SEIB	1		
	5	LAINELINE SEIB	1		

## Lisa 2 Silindrite poolt arendatava jõu, rõhu ja kolviläbimõõdu tabel [52]

Tabel 9.11. Silindri poolt arendatava jõu, rõhu ja kolviläbimõõdu omavaheline seos.

Size	Piston rod ø mm	Movement	Eff. piston area (cm <sup>2</sup> )	Pressure (MPa), Cylinder force in Newton (N)									
				0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
6	3	OUT	0.28	6	8	11	14	17	20				
		IN	0.21	4	6	8	11	13	15				
10	4	OUT	0.79	16	24	31	39	47	55				
		IN	0.66	13	20	26	33	40	46				
12	6	OUT	1.13	23	34	45	57	68	79	90	102	113	
		IN	0.85	17	25	34	42	51	59	68	76	85	
16	6	OUT	2.01	40	60	80	101	121	141	161	181	201	
		IN	1.73	35	52	69	86	104	121	138	155	173	
20	8	OUT	3.14	63	94	126	157	188	220	251	283	314	
		IN	2.64	53	79	106	132	158	185	211	238	264	
25	10	OUT	4.91	98	147	196	245	295	344	393	442	491	
		IN	4.12	82	124	165	206	247	289	330	371	412	
32	12	OUT	8.04	161	241	322	402	483	563	643	724	804	
		IN	6.91	138	207	276	346	415	484	553	622	691	
40	16	OUT	12.57	251	377	503	628	754	880	1005	1131	1257	
		IN	10.56	211	317	422	528	633	739	844	950	1056	
50	20	OUT	19.63	393	589	785	982	1178	1374	1571	1767	1963	
		IN	16.49	330	495	660	825	990	1155	1319	1484	1649	
63	20	OUT	31.17	623	935	1247	1559	1870	2182	2494	2805	3117	
		IN	28.03	561	841	1121	1402	1682	1962	2242	2523	2803	
80	25	OUT	50.27	1005	1508	2011	2514	3016	3519	4022	4522	5027	
		IN	45.36	907	1361	1814	2268	2722	3175	3629	4082	4536	
100	30	OUT	78.53	1571	2356	3141	3927	4712	5497	6282	7068	7853	
		IN	71.47	1429	2144	2859	3574	4288	5003	5718	6432	7147	
125	32	OUT	123	2450	3680	4910	6150	7360	8590	9820	11040	12270	
		IN	115	2294	3441	4588	5735	6882	8029	9176	10323	11470	
140	36	OUT	154	3080	4620	6160	7700	9240	10800	12300	13900	15400	
		IN	144	2880	4320	5760	7200	8640	10100	11500	13000	14400	
160	40	OUT	201	4020	6030	8040	10050	12060	14070	16080	18100	20110	
		IN	189	3770	5650	7540	9420	11310	13190	15080	16960	18850	
180	45	OUT	254	5080	7620	10200	12700	15200	17800	20300	22900	25400	
		IN	239	4780	7170	9560	12000	14300	16700	19100	21500	23900	
200	50	OUT	314	6280	9420	12600	15700	18800	22000	25100	28300	31400	
		IN	295	5900	8850	11800	14800	17700	20700	23600	26600	29500	
250	60	OUT	491	9820	14700	19500	24600	29500	34400	39300	44200	49100	
		IN	463	9260	13900	18500	23200	27800	32400	37000	41700	46300	
300	70	OUT	707	14100	21200	28300	35400	42400	49500	56600	63600	70700	
		IN	668	13400	20000	26700	33400	40100	46800	53400	60100	66800	