



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

OPTIMEERITUD LAHENDUS PRINDITUD TÖÖDE AUTOMAATSEKS KÄITLEMISEKS

OPTIMIZED SOLUTION FOR AUTOMATIC HANDLING OF PRINTED JOBS MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Henri Vilmre
/nimi/

Üliõpilaskood: 204314MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, Kaasprofessor
/nimi, amet/

(Tiitellehe pöördel)

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 tegemiseks¹

Mina Henri Vilmre (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Optimeeitud lahendus printitud tööde automaatseks käitlemiseks
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Toivo Tähemaa
(*juhendaja nimi*)

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.

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

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

_____ (kuupäev)

¹ 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 tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Henri Vilmre, 204314MATM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Kaasprofessor, Toivo Tähemaa, 5091918 (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Optimeeritud lahendus prinditud tööde automaatseks käitlemiseks
(inglise keeles) Optimized solution for automatic handling of printed jobs

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Koguda lähteandmed ja püstitada projekteerimisülesanne.
2. Uurida turul pakutavaid lahendusi ja leida sobiv kotseptsoon .
3. Projekteerida juhendmaterjalide printimise liin automaatlaos lisaoperatsioonile.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lähteandmete kogumine ja ülesande püstitus	31.03.2023
2.	Turuanalüüs, lahendusvariantide genereerimine ja valik	15.04.2023
3.	Lahenduse projekteerimine ja arvutused	10.05.2023
4.	Vormistamine ja viimistlus	18.05.2023

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "22" mai 2023a

Üliõpilane: Henri Vilmre "22 " mai 2023a
/allkiri/

Juhendaja: Toivo Tähemaa "22 " mai 2023a
/allkiri/

Konsultant: "22 " mai 2023a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme "22 " mai 2023a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
1. SISSEJUHATUS	8
2. Ülesande püstitus ja lähteandmed	9
2.1. Protsessi ülevaade	9
2.2. Lähteandmed	9
3. Turul pakutavate lahenduste kaardistamine	11
3.1. Rullkonveier	11
3.1.1. Gravitatsioonkonveier	11
3.1.2. Motoriseeritud rullkonveier	12
3.2. Lintkonveier.....	12
3.3. Liigendkonveier.....	13
3.4. Konveieri tüüpide võrdlus	14
4. Lahenduste genereerimine.....	15
4.1. Funktsiooni struktuur.....	15
4.2. Morfoloogiline maatriks	16
4.3. Lahendusvariandid.....	17
4.3.1. Lahendus 1	17
4.3.2. Lahendus 2	17
4.3.3. Lahendus 3	18
4.3.4. Lahendus 4	19
4.4. Lahendusvariantide hindamine.....	20
4.4.1. Hindamiskriteeriumid	20
4.4.2. Projekteeritava lahenduse valik	20
5. Projekteerimine.....	22
5.1. Koormused süsteemis	22
5.2. Gravitatsioonkonveieri kaldenurk	23
5.3. Komponentide valik	25
5.3.1. Rullikud.....	25
5.3.2. Konveierid hoiustamis funktsioonile	26
5.3.3. Aktuaator kastide peatamiseks.....	28
5.4. Kaldenurka muutev lõik	30

5.4.1. Kallutatav rulltee.....	30
5.4.2. Aktuaator kallutamiseks.....	31
5.4.3. Kallutava rulltee raam.....	33
5.5. Printeri platvorm.....	35
5.6. Triipkoodiskänner ja lehesuunaja.....	36
5.7. Printimistöde käitlemisliini ülevaade.....	37
5.8. Majanduslik ülevaade.....	39
KOKKUVÕTE.....	40
SUMMARY.....	41
Kasutatud kirjanduse loetelu.....	42
GRAAFILINE OSA.....	44

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö ajend on praktiline vajadus printimistöode sorteerimisliini järel Sandmani Grupi AS logistikakeskuse automaatlao juures. Antud töö raames vaadeldakse alternatiivseid lahendusi ja projekteeritakse konveierlahendus tellimuse komplekteerimisprotsessi lihtsustamiseks. Lähteandmed on kogutud Sandmani Grupi AS logistikakeskusest, kuhu projekteeritav liin luuakse.

Võtmesõnad: konveier, minimalistlik automatiseerimine, printitööde käitlemine, magistritöö

1. SISSEJUHATUS

Automatiseerimine mängib olulist rolli kõikides sektorites, kuid eriti levinud on see tootmis ja logistikakeskustes. Kõik ettevõtted otsivad lahendusi, kuidas oma protsesse optimeerida ja automatiseerida. Käesoleva töö eesmärgiks on projekteerida konveierliin ühe logistikakeskuse alamprotsessi automatiseerimiseks.

Magistritöö sisendiks oli Sandmani Grupi AS soov oma logistikakeskuses prinditööde käitlemist automatiseerida. Nende tarbeelektronika hulgiladu on suurim baltimaades ja kasutab ka automaatladu. Antud töös projekteeritaksegi printimistöode sorteerimisliin just automaatlaos juurde, töös kasutatud lähteandmed on kogutud samuti sealt. Ettevõttel on juba üks suurem printimistöode käitlemise liin, kuid see lahendus on ruumikasutuse osas suur ja kallis. Selles töös käsitletavalt konveierliin peab aga olema kompaktne ja odav.

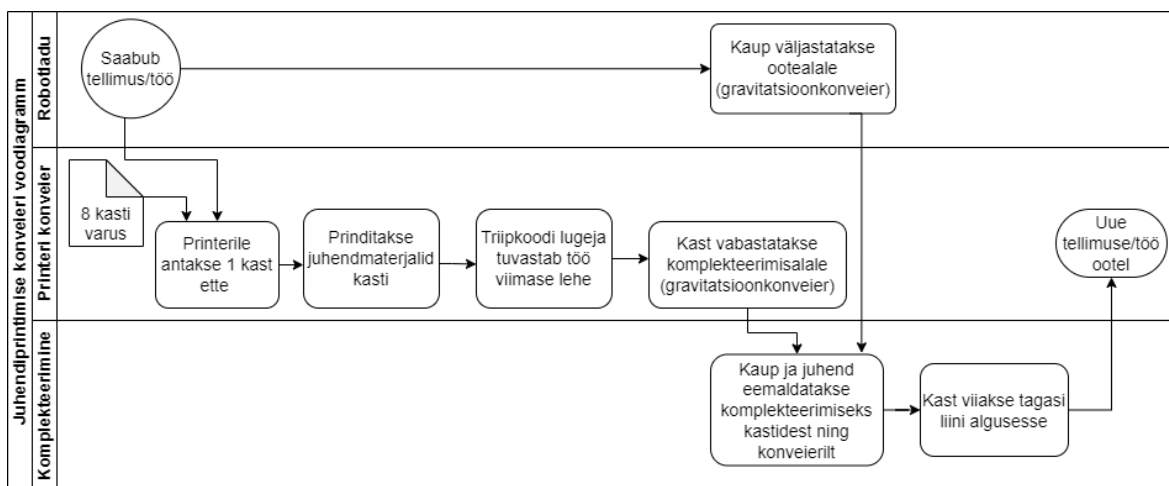
Töö käigus uuritakse turul pakutavaid lahendusi ja levinumaid konveieri tüüpe. Hästi sobivat valmislahendust turult ei leitud, ning seepärast genereeriti ise erinevaid lahendusvõimalusi. Välja mõeldud kontseptsioone hinnati olulisemate parameetrite osas ning valiti projekteeritav lahendus. Töö annab ülevaate projekteeritud lahenduse olulisematest parameetritest ja komponentidest. Käesoleva töö valmisel kasutati modeleerimis tarkvara Solidworks ja arvutuste lihtsustamiseks kasutati Goole Sheets keskkonda.

2. ÜLESANDE PÜSTITUS JA LÄHTEANDMED

Sobiva tehnilise lahenduse leidmiseks juhendmaterjalide printimisliini jaoks on oluline mõista loodava süsteemi funktsiooni ja piiravaid faktoreid. Antud peatükis tuuakse välja olulisemad projekteerimist puudutavad asjaolud seoses automaatlao ja keskkonnaga.

2.1. Protsessi ülevaade

Konstrueeritav liin hakkab täitma lisaoperatsiooni, milleks on prinditavate juhendmaterjalide jaotamine kastidesse kaubatellimuste järgi, võimaldades printida mitmete tellimuste dokumendid ilma seisakuteta (vt. Sele 2.1 Protsessi esialgne ülevaade.). Valmis juhendmaterjalid suunatakse konveieriga ootealale, kust tööline saab need kastist võtta ja lisada automaatlao poolt väljastatud kaubale. Viimase sammuna viiakse tühi kast tagasi printimist ootavate kastide juurde.



Sele 2.1 Protsessi esialgne ülevaade.

2.2. Lähteandmed

Tellija poolt edastatud soovid ja nõudmised loodava lahenduse osas on parema ülevaate saamiseks koondatud nõuete loeteluna (Tabel 2.1), mis saab aluseks tehnilise lahenduse valikul ja projekteerimisel.

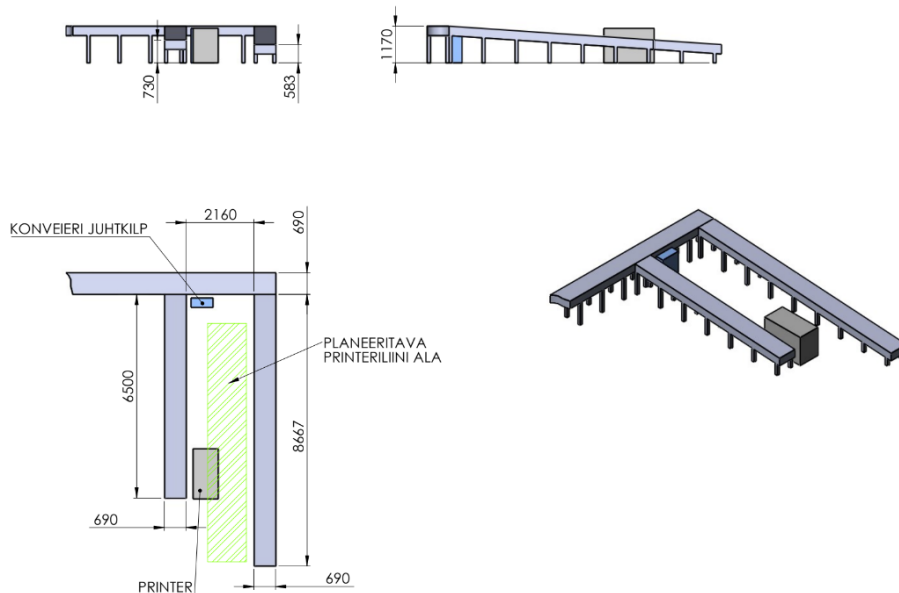
Konveieri aktuaatorite energiaallikate valikut mõjutab veel plaanitava tööala infrastruktuuri eripära. Antud kontekstis tuleb arvestada järgmisega:

- Suruõhuliine ei ole;
- Kasutatav elektrivool on 220V (16A).

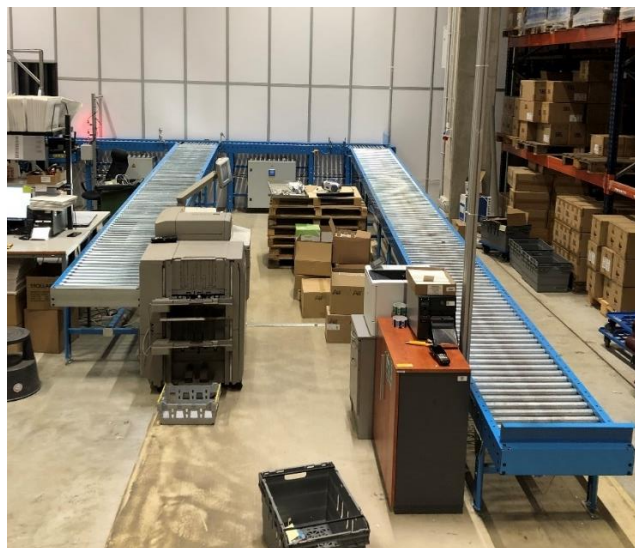
Tabel 2.1 Nõuete loetelu juhendmaterjalide printimise liinile.

Spetsifikatsioon	Nõue	Soov
Prinditavad juhendmaterjalid sorteeritakse kaubatellimuste kaupa vahepeal printeri tööd katkestamata	X	
Mahub kahe olemasoleva kaubakonveieri vahele	X	
Säilib juurdepääs kaubakonveieri juhtkilbile	X	
Mahutab 8 valmis prinditööd (kasti)	X	
Hind minimaalne	X	
Töötab siseruumis teperatuurivahemikus 0°...20°C	X	
Kasutab olemasolevat printerit.	X	
Kasutab olemasolevaid rulltee moduleid.		X

Tuleb arvestada, et konstrueeritav printimise liin mahuks automaatlao väljastuskonveieri harude vahele tagades samal ajal ligipääsu konveieri juhtkilbile. Uue liini plaanitavat ala piiravaid mõõtmeid kujutab Sele 2.2.



Sele 2.2 Olemasoleva automaatlao väljastuskonveieri paigutus ja mõõtmed



Sele 2.3 Olemasoleva automaatlao väljastuskonveierid

3. TURUL PAKUTAVATE LAHENDUSTE KAARDISTAMINE

Erinevad konveierliinid on levinud nii tootmisettevõtetes kui ka logistikakeskustes, kus kasutusel on pealtnäha sarnased lahendused, kuid siiski võib nende funktsionaalsus ja eesmärk erinev olla. Konveierite puhul on tavaline kasutada laialtlevinud ning tootjate poolt pakutavaid valmis konveierimooduleid, mis seejärel tuleb sõtuvat konkreetse liini ülesandest integreerida automaatika ja täiturmehanismidega ühtseks toimivaks süsteemiks.

Esmase otsingu järel ei leitud sobivat printimisliini lahendust, seepärast vaadeldakse erinevaid turul pakutavaid moodullahendusi, mida kasutades saab konstrueerida sobiva printimisliini. Käesolevas töös kitsendab erinevate konveieritüüpide valikut konveieriliinil käsitletava materjali tüüp - paberile prinditud juhendmaterjalid, mis hakkavad liikuma kastides. Eelneva põhjal vaadeldakse siin peatükis levinumaid konveieri tüüpe, mis on sobilikud konkreetse kujuga (nt kastidesse pakitud) materjalidele.

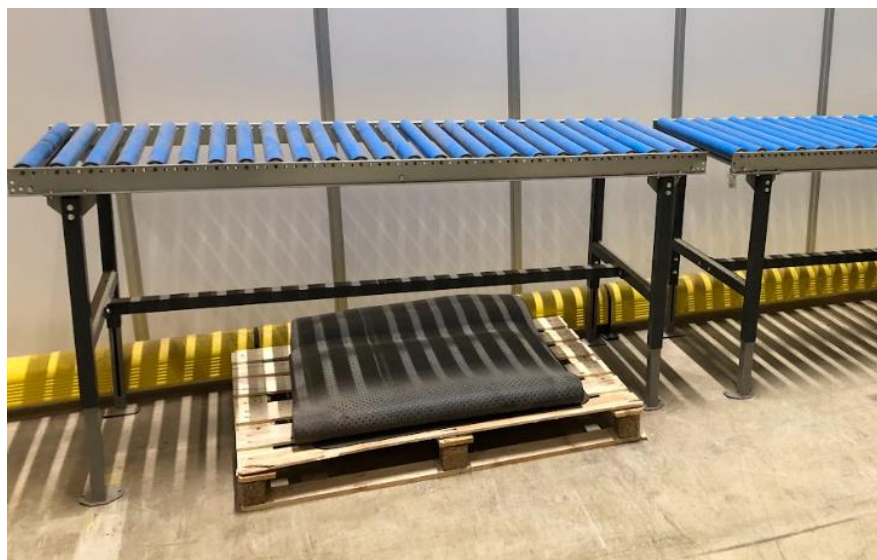
3.1. Rullkonveier

Rullkonveierid on sobilik lahendus siledapõhjaliste stabiilsete esemete transportimiseks, kasutades statsionaarseid rulle, mille pöörlemise abil saavad materjalid liinil edasi liikuda. Seda tüüpi konveierid on ladudes ja logistikakeskustes väga levinud. Rullkonveierid võivad olla nii motoriseeritud kui ka vabajooksu ja gravitatsioonikonveierid. [1]

3.1.1. Gravitatsioonkonveier

Gravitatsioonkonveierid (inglise k *gravity conveyor*) on lihtsad rullkonveierid, kus materjalide liikumine rullikutel tekib tänu konveieri kaldele ja gravitatsioonijõule (vt. Sele 3.1). Toimimiseks vajalik kaldenurk sõltub transporditava eseme massist ja selle põhja omadustest [2].

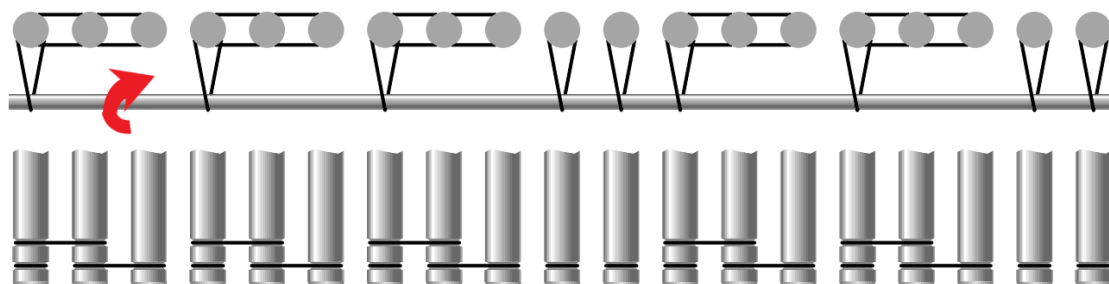
Materjalide liigutamiseks kulub vähe energiat, kuid materjalide liikumise üle on vähe kontrolli. Rulliku ja transporditava eseme vahel tekkiva väike libisemise tõttu võib materjali asend muutuda. Lisaks tuleb arvestada konveieri lõpus peatumiset tekkiva pörutuse mõjuga tootele. [1]



Sele 3.1 Gravitatsioonkonveier [Autori erakogu]

3.1.2. Motoriseeritud rullkonveier

Motoriseeritud rullkonveierid (inglise k *live roller conveyor*) on enamasti horisontaalsed, ning kasutavad materjali liigutamiseks olenevalt transportitavate esemete raskusest rihmasid või kette, mis asuvad rullikute all või otstes. Lisaks pakutakse ka sisseehitatud mootoritega üksikuid rulle, mis võimaldavad reguleerida nt gravitatsioonikonveieril liikuva materjali kiirust [2]. [1]



Sele 3.2 Näide motoriseeritud rullkonveieri tööpõhimõttest, mida antud juhul ajab ringi rullikute alune võll ja ümarrihmad [3]

3.2. Lintkonveier

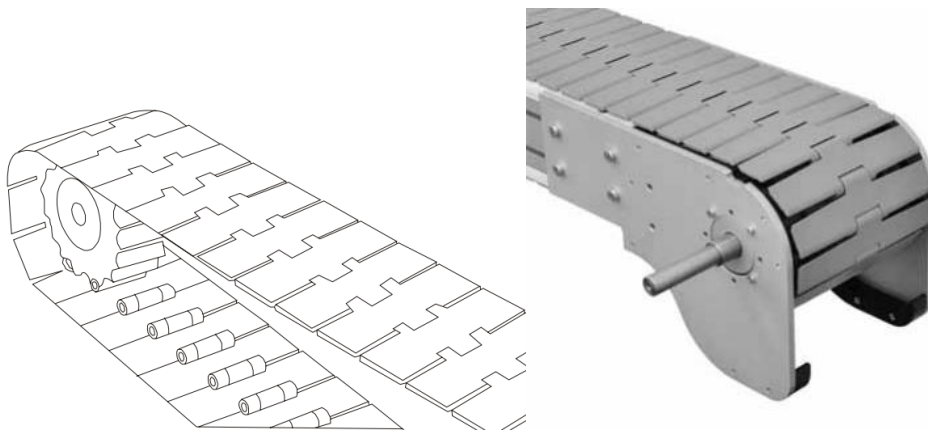
Lintkonveierid (inglise *belt conveyor*) on üks tavapärasemaid ja odavamaid konveieritüüpe, mis võimaldab transportida väga erinevaid materjale. Materjalid asetsevad kindlalt lindi peal, mille paneb liikuma vedav trummel või rullik. Materjalide voog on hästi kontrollitav ja materjali ning lindi vaheline hea hõõrdumine võimaldavad toimida ka tõusunurga all. Lintkonveierieid saab ka pöördekohtades kasutada. [1] [2]



Sele 3.3 Näide kaldenurgaga lintkonveierist [4]

3.3. Liigendkonveier

Liigendkonveierite (inglise k *chain conveyor*) puhul asetseb transportitav materjal ketina ühendatud liigendite peal, mida ringi aetakse. Seda tüüpi konveier leiab tihti kasutust kuna võimaldab väikest pöörderaadiust ja õige liigendi geomeetria korral kalde all transporti. [1]



Sele 3.4 Kettkonveieri näide, kandva pinna moodustavad ketina ühendatud liigendid. [5] [6]

3.4. Konveieri tüüpide võrdlus

Eelmainitud konveierite kohta parema ülevaate saamiseks on nende eelised ja puudused koondatud Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Levinumate pakendi- ja kastitranspordi konveiertüüpide võrdlus [2] [1]

Tüüp	Eelised	Puudused
Gravitatsioon-konveier	<ul style="list-style-type: none"> • Lihtsa konstruktsiooniga • Odav • Ei vaja energiat • Hooldusvajadus väike • Sobilik varude tekitamiseks 	<ul style="list-style-type: none"> • Liikumine pole kontrollitav • Vibratsioon ja pörutus esemele • Vajab langevat kallet • Siledapõhjalistele esemetele
Motoriseeritud rullkonveier	<ul style="list-style-type: none"> • Lihtsa konstruktsiooniga • Sobilik varude tekitamiseks • Võimaldab liinil pöörata 	<ul style="list-style-type: none"> • Vajab energiat • Kallim gravitatsioonkonveierist. • Tõusva kalde puhul väike võimekus • Siledapõhjalistele esemetele
Lintkonveier	<ul style="list-style-type: none"> • Materjali liikumine hästi kontrollitav • Võimaldab tõusu ja langus nurkasid • Võimaldab liinil pöörata 	<ul style="list-style-type: none"> • Vajab rohkem energiat kui rullkonveier • Ei sobi varude tekitamiseks
Liigendkonveier	<ul style="list-style-type: none"> • Väike pöörderaadius • Võimaldab tõusu ja langus nurkasid • Hea koormustaluvus 	<ul style="list-style-type: none"> • Keerulise konstruktsiooniga • Kallim teistest konveieri tüüpidest • Varude tekitamine erandjuhtudel.

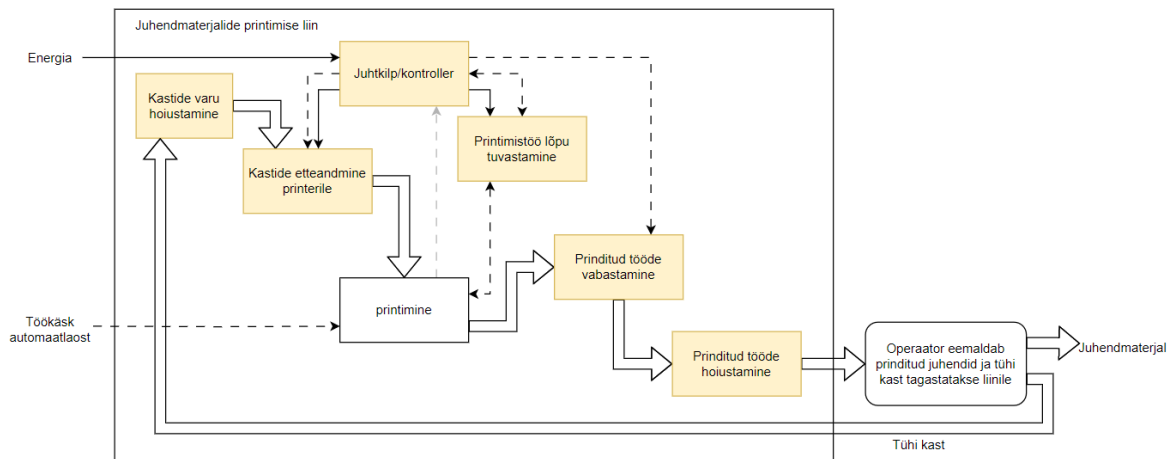
Võrdlustabeli ning peamiste nõuete nagu hind ja ruumikasutus vaatlemisel on tugevaimateks lahendusteks gravitatsioonkonveier ja motoriseeritud rullkonveier. Loodaval printimisliinil on erinevad alamfunktsioonid, seega on võimalik ühte lahendusse kombineerida ka mitmeid konveieritüüpe, seda uuritakse lähemalt järgmises peatükis lahendusi genereerides.

4. LAHENDUSTE GENEREERIMINE

Hea tehnilise lahenduse loomiseks analüüsitakse lähteandmeid ja kaardistatakse juhendmaterjali printimise liini toimimiseks vajalikud alamfunktsioonid, millele otsitakse potentsiaalseid funktsioonikandjaid. Lõpuks kombineeritakse erinevaid lahendusi, mille hulgast valitakse üks.

4.1. Funktsiooni struktuur

Projekteeritav liin peab toimima tervikliku süsteemina, mille olulisi alamkomponente ja nende omavahelisi seoseid kujutab funktsioonistruktuur (Sele 4.1).



Sele 4.1 Funktsioonistruktuur

Tellijä soovi kohaselt kasutatakse olemasolevat printerit, seega saab valida funktsioonikandjaid valida ainult skeemil kollaselt kujutatud alamfunktsioonidele.

4.2. Morfoloogiline maatriks

Terviklahenduse kontseptsioonide loomiseks kasutatakse morfoloogilist maatriksit, mis aitab kombineerida erinevaid osafunktsioonide alternatiive. Parimad lahenduspaketid kirjeldatakse ja seletatakse täpsemalt lahti järgmises alapeatükis.

Tabel 4.1 Morfoloogiline maatriks

Osafunktsioon		Lahendusvariandid			
		a)	b)	c)	d)
1.	Kastide varu hoidmine	gravitatsioonkonveier	Rullkonveier	lintkonveier	Vertikaalne virnastamine
2.	Kastide liikumise peatamine/vabastamine	elektromagneetiline	pöördliikumine	pneumaatiline	Osana konveierist
		Solenoid	pöördtõukur	Pneumaatilise silinder	
3.	Printimistöö lõpu tuvastamine	Triipkoodilugeja	Signaal printerisüsteemist	Pildituvastus kaameraga	
4.	Prinditud tööde hoiustamine	gravitatsioonkonveier	rullkonveier	Lintkonveier	

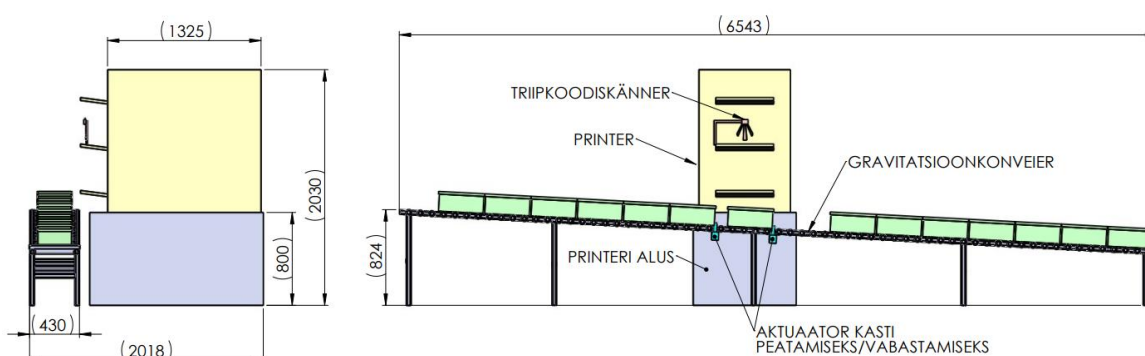
4.3. Lahendusvariandid

4.3.1. Lahendus 1

Lahendus 1 puhul on keskseks elemendiks gravitatsioonkonveier, mis täidab nii kastide varu hoiustamise, kui ka prinditud tööde hoiustamise funktsiooni. Kastide vabastamine ja õiges kohas peatamine teostatakse elektromagneetiliselt solenoid aktuaatori abil. Printimistöö lõpu tuvastamiseks kasutatakse triipkoodiskännerit, mis annab prinditöö viimaselt lehelt leitava triipkoodi tuvastamisel juhtkilbile signaali kasti vabastamiseks.

Tabel 4.2 Lahendus 1 funktsioonikandjad

Osafunktsioon	Funktsioonikandja
Kastide varu hoidmine	gravitatsioonkonveier
Kastide liikumise peatamine/vabastamine	elektromagneetiline Solenoid
Printimistöö lõpu tuvastamine	Triipkoodilugeja
Prinditud tööde hoiustamine	gravitatsioonkonveier



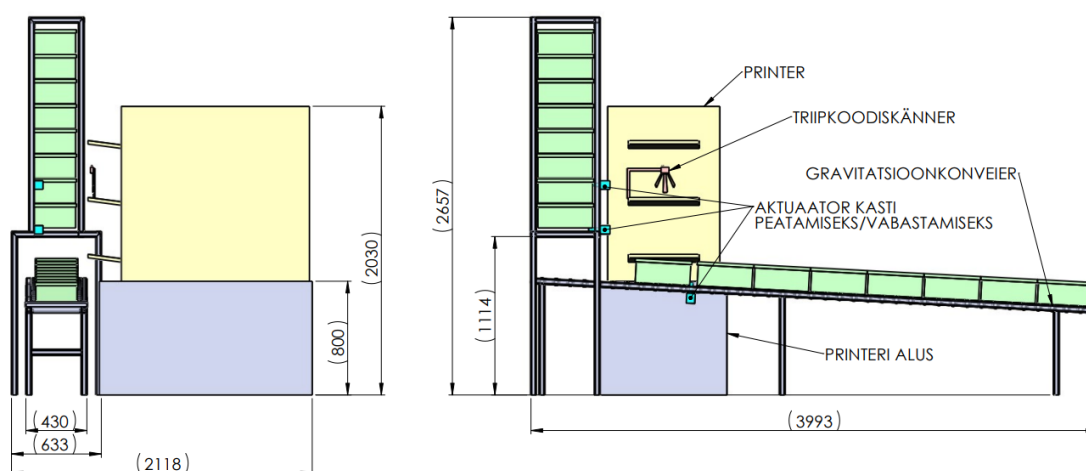
Sele 4.2 Lahendus 1 kontseptsioon

4.3.2. Lahendus 2

Lahendus 2 kasutaks tühjade kastide hoiustamiseks vertikaalset virnastamist, millest pneumosilindrite abil vabastatakse kaste ühe kaupa gravitatsioonkonveierile. Õiges kohas printeri ees peatab tühja kasti pneumaatilise silindriga liigutatav stopper. Printimistöö lõpp tuvastatakse triipkoodiskänneriga, ning valmis tööga kasti vabastab sama stopper.

Tabel 4.3 Lahendus 2 funktsioonikandjad

Osfunktsioon	Funktsioonikandja
Kastide varu hoidmine	Vertikaalne vurnastamine
Kastide liikumise peatamine/vabastamine	pneumatiline
	silinder
Printimistöö lõpu tuvastamine	Triipkoodilugeja
Prinditud tööde hoiustamine	gravitatsioonkonveier



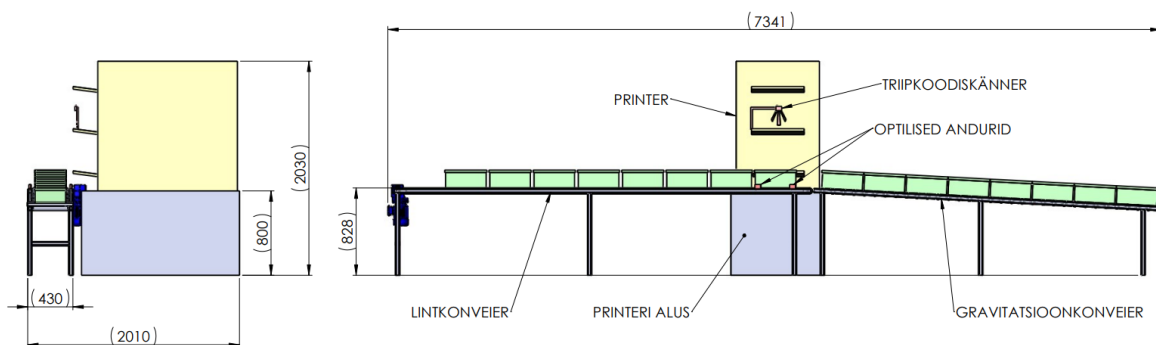
Sele 4.3 Lahendus 2 kontseptsioon

4.3.3. Lahendus 3

Lahendus 3 kasutab lintkonveierit kastide varu hoiustamiseks ning printeri alla liigutamiseks, kus kasti õige positsiooni tuvastab optiline sensor. Prinditöö lõpp tuvastatakse triipkoodilugejaga, ning kast liigutatakse lintkonveierilt gravitatsioonkonveierile, kust operaator saab need sobival hetkel võtta.

Tabel 4.4 Lahendus 3 funktsioonikandjad

Osfunktsioon	Funktsioonikandja
Kastide varu hoidmine	lintkonveier
Kastide liikumise peatamine/vabastamine	Osana konveierist (optiliste andurite signaali juhitud)
Printimistöö lõpu tuvastamine	Triipkoodilugeja
Prinditud tööde hoiustamine	gravitatsioonkonveier



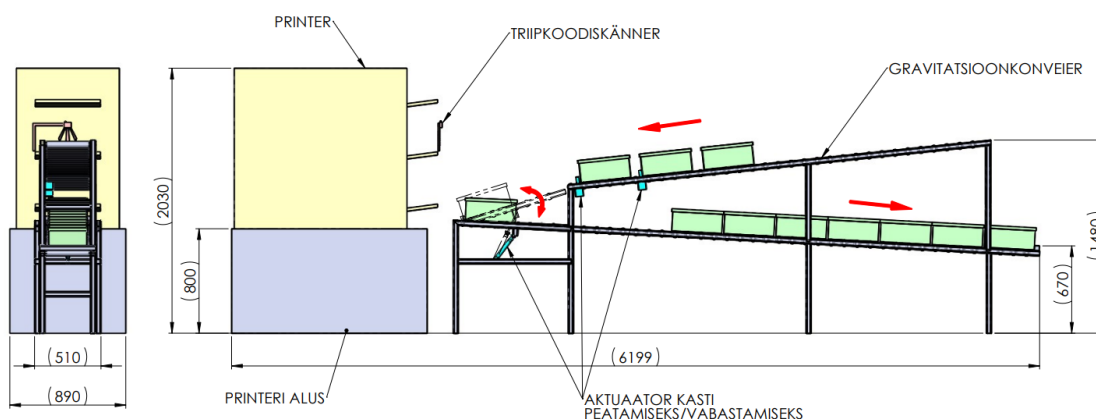
Sele 4.4 Lahendus 3 kontseptsioon

4.3.4. Lahendus 4

Lahendus 4 puhul on kasutatud kahte gravitatsioonkonveierit, millel kastid liiguvad kahes suunas, alguses printeri ette ning seejärel eemale. Suuna muutuse teostab aktuaator, mis muudab gravitatsioonkonveieri printeri poole löigu kaldenurka. Kaldenurka muutev löik kannab korraga ainult ühte kasti. Aktuaatorite tüübi valik vajab täpsemad uurimist, juhul kui antud variandiga edasi minna. Printimistöö lõpu tuvastamiseks kasutatakse triipkoodiskännerit.

Tabel 4.5 Lahendus 4 funktsioonikandjad

Osafunktsioon	Funktsioonikandja
Kastide varu hoidmine	gravitatsioonkonveier
Kastide liikumise peatamine/vabastamine	Osana konveierist Aktuaator (kombineeritud)
Printimistöö lõpu tuvastamine	Triipkoodilugeja
Prinditud tööde hoiustamine	gravitatsioonkonveier



Sele 4.5 Lahendus 4 kontseptsioon

4.4. Lahendusvariantide hindamine

Genereeritud lahendusvariantide hulgast parima leidmiseks tuleb arvesse võtta mitmeid kriteeriume, mis tulenevad tellija esitatud nõuetest ning üldisest projekteerimist puudutavatest teguritest, selleks kasutatakse kaalutud punkthindamist, kus igale kriteeriumile antakse kaal sõltuvalt tema tähtsusest. Tulemused esitatakse parema võrdluse loomiseks hindamismatriksis (Tabel 4.6 Hindamismatriks Tabel 4.6).

4.4.1. Hindamiskriteeriumid

Järgnevalt on kirjeldatud hindamiskriteeriumite sisu ja punktide jagamise põhimõtteid. Kõiki pakutud lahendusi hinnatakse iga kriteeriumi suhtes punktidega ühest kümneni, kus kõrgem hinne on parem, ning seejärel korrutatakse vaadeldavale kriteeriumile antud kaaluteguriga. Lahenduse üldtulemus saadakse kriteeriumipõhiste skooride summeerimisel.

Maksumuse hindamisel antakse kõrgem hinne odavamale lahendusele, arvestades vajalike komponentide hulka ja võimalustostukomponente kasutada.

Ruumikasutuse kõrgeimad punktid antakse lahendusele, mis kasutab kõige vähem põrandapinda ja mahub ülesande püstituses toodud piirangutesse kõige paremini.

Tehniline lihtsus kriteeriumi osas saab kõrgema hinne lahendus, mis kasutab vähem automaatikat ja sisaldab vähem keerukaid sõlmi.

Energia kasutuse osas antakse kõrgem hinne sellisele lahendusele, mis kasutab liini toimimiseks kõige vähem energiat.

Hooldusvajadust hinnatakse kõrgemate punktidega, kui lahenduse hoolduskulud ning vajadus hoolduse järgi on madalamad.

4.4.2. Projekteeritava lahenduse valik

Hindamise tulemusena (vt. Tabel 4.6) sai parima summarse hinne lahendus 4. Valitud lahenduse tugevaim eelis oponentide ees on ruumikasutus, mis võimaldab ainukesena liikumisruumi automaatlaokonveieri ja projekteeritava liini vahel.

Tabel 4.6 Hindamismaatriks

Kriteerium	Kaal	Lahendus 1		Lahendus 2		Lahendus 3		Lahendus 4	
		Hinne	Skoor	Hinne	Skoor	Hinne	Skoor	Hinne	Skoor
Maksumus	0.3	8	2.4	6	1.8	6	1.8	6	1.8
Ruumi- kasutus	0.3	3	0.9	5	1.5	3	0.9	8	2.4
Tehniline lihtsus	0.15	9	1.35	5	0.75	6	0.9	6	0.9
Energia kasutus	0.1	9	0.9	7	0.7	5	0.5	7	0.7
Hooldus- kulud	0.15	8	1.2	7	1.05	7	1.05	7	1.05
Summa	1		6.75		5.8		5.15		6.85

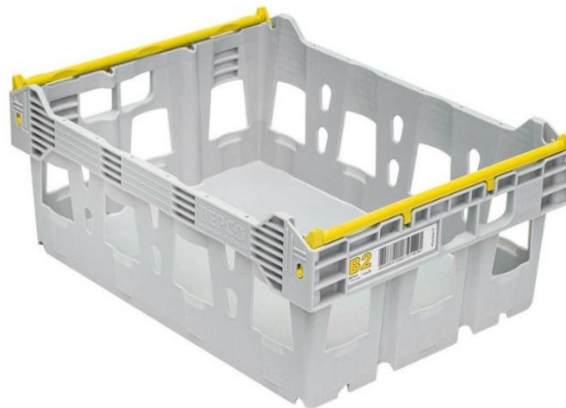
Valitud kontseptsiooni täpsemat projekteerimist vaadeldakse lähemalt järgmises peatükis.

5. PROJEKTEERIMINE

5.1. Koormused süsteemis

Vaadeldava protsessi väljundiks on prinditud juhendmaterjalid A4 formaadis (210x297 mm) ning materjalide maht võib erineda sõltuvalt kaubatellimusest mille juurde ta kuulub. Projekteerimise tarbeks arvestame maksimaalse mahuga 1000 lehte, see tähendab tavapärase koopiapaberi tiheduse 80 g/m² korral ümardatult 5 kg massi.

Prinditud lehed kogutakse prinditööde kaupa kastidesse, mis peavad mahutama A4 paberi formaati. Antud lahendusse valitakse Bebcos B2 kast, mis oma mõõtmetega tagab piisava ruumivaru lehtede püüdmiseks ja hoiustamiseks. Kasti välismõõtmed on 400x300x170 mm ja selle kaal on 0,81 kg [7].



Sele 5.1 Kast prinditud juhendmaterjalide transportimiseks ja hoiustamiseks [7]

Eelneva põhjal saab arvestada, et konstrueeritaval liinil hakkavad liikuma kuni 5,81 kg massiga ühikud, kuid tühjade kastide etteandmisel saab arvestada ainult tühja kasti kaaluga 0,81 kg.

Loodav süsteem peab suutma vastu võtta kuni 8 järjestikust prinditööd, ehk konveier peab mahutama 8 kasti nii tühjade kastide varusse, kui ka printitud tööde konveierile. Raami projekteerimisel peab sel juhul arvestama, et konveieri üks haru peab kandma $8 \cdot 5,81 = 46,48$ kg koormust. Konveieri pikkus leitakse asetades nõutud kogus kaste konveierile risti ritta, seega $L = 8 \cdot 0,3 = 2,4$ m. Täis kastide puhul tähendab koormust $46,48 / 2,4 = 19,4$ kg/m.

5.2. Gravitatsioonkonveieri kaldenurk

Gravitatsioonkonveieri tähtsaimaks disaini parameetriks on selle kaldenurk, mis peab kindlustama objektide uuesti liikuma hakkamise ka siis, kui need on peatunud. Gravitatsioonkonveieri vajaliku kaldenurga suurust mõjutavad mitmed tegurid nagu rullikute ja kauba vaheline hõõrdumine, laagrite sisene hõõrdumine, ning rulliku enda ja sellel liikuva kauba massi suhe. Üldiselt peaks kauba veeremise tagama juba 1,5 - 3% kalle, kuid pehmemate ja mitte siledade põhjadega materjalide puhul võib vaja olla ka suuremaid kaldeid. Paljude mõjutegurite tõttu soovitavad tootjad praktilisel teel testides kontrollida konveieri kaldenurga piisavust. [3] [5]

Praktiline katse teostati arvutuslike tulemuste võrdlemiseks, ning kasutati projekteeritava lahendusega analoogset gravitatsioonkonveierit. Kõnealusel rullteel olid samuti plastist rullikud läbimõõduga 50 mm, ning kaubana kasutati loodavasse lahendusse plaanitud kasti massiga 0,81 kg. Testimise ajal oli konveieri kaldenurk 2,5°.

Katse eesmärk oli kontrollida kas eelmainitud tingimustel hakkab kast paigalseisust liikuma, lisaks kinnitati konveieri raamile mõõdulint ja kasti liikumist filmiti eesmärgiga määrata kiirus. Katse kinnitas, et kaldenurk 2,5 kraadi ehk 4,36% kalle on piisav, et kast massiga 0,81 kg hakkaks liikuma. Kast läbis 7 sekundiga 1,395 m ehk kasti keskmine kiirus oli 0,2 m/s.



Sele 5.2 Praktiline katse kasti liikuma hakkamise kinnitamiseks

Teoreetilise lähenemise jaoks on kirjanduses pakutud rullkonveieri parameetrite arvutuskäike, mis võtavad arvesse kombineeritud takistuse kauba liikumisel konveieril, mille moodustavad: rullikutel veeremisest tekkiv hõõrdumine, hõõrdumine laagrites, koormuse ja rulliku vahel tekkiva libimisele kuluv energia. Liikumist takistavate komponentide kaudu leitakse hinnanguline konveieri minimaalne kaldenurk kauba veeremise tagamiseks järgnevalt [5]:

$$\tan \alpha = \frac{2k}{D} + \left(1 + \frac{w \cdot n_1}{m}\right) \frac{\mu d}{D} + q \frac{nwv^2}{gLm} \quad (5.1)$$

,kus α – konveieri kaldenurk, °,

k – veerehõõrdetegur, m (polümeer-teras $k=0,002$ m [8]),

D – rulliku välisdiameeter, m,

w – rulliku pöörleva osa mass, kg,

n_1 – koormust toetavate rullikute arv,

m – koormuse mass, kg,

μ – hõõrdetegur laagerduses ($\mu = 0,0015$),

d – laagerduse sisemine läbimõõt, m

q – tegur, mis võtab arvesse, et kogu rulliku mass ei asu välisdiameetril, ning ei liigu sama kiirusega ($q=0,8 \dots 0,9$),

n – rullikute arv konveieris,

v – koormuse liikumiskiirus, m/s,

g – raskuskiirendus, m/s²

L – konveieri pikkus, m

Kaldenurka arvutades on oluline, et tühi kast massiga $m = 0,81$ kg hakkaks rullteel paigalseisust liikuma, lisaks on teada konveieri üldpikkus $L = 2,4$ m, koormuse liikumise kiirus $v = 0,2$ m/s ja paraleellselt leitud rullikute parameetrid (vt ptk 5.3.1): $D = 0,05$ m, $d = 0,008$ m, $n_1 = 3$, $n = 24$, $w = 0,3$ kg. Väärtused valemisse asendades saame minimaalseks konveieri kaldenurgaks:

$$\tan \beta = \frac{2 * 0,002}{0,05} + \left(1 + \frac{0,3 * 3}{0,81}\right) \frac{0,0015 * 0,008}{0,05} + 0,85 \frac{24 * 0,3 * 0,2^2}{9,81 * 2,4 * 0,81} \approx 0,088 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta \approx 5,01^\circ$$

Eelnevalt leitud hinnanguline minimaalne kaldenurk ja katseliselt kinnitatud kaldenurk on erinevad (5° ja $2,5^\circ$), kuid antud kontekstis on see vastuvõetav, kuna arvutuslik meetod kasutab mitmeid praktikas raskesti määratavaid ja ajas muutuvaid tegureid. Edasisel projekteerimisel arvestatakse minimaalseks kaldenurgaks siiski 5° , kuna kastid võivad kokkupuutesse sattuda konveieri suunavate äärepireetega ning sellises olukorras tuleb suurem kaldenurk kasuks. Lisaks projekteeritakse liin selliselt, et kaldenurkasiid saab vastavalt päris tingimustele korrigeerida.

5.3. Komponentide valik

Pidades silmas projekteeritava liini lõpphinda ja kontsrueerimisele kuluvat aega, tasub kasutada võimalikult palju ostukomponente ning integreerida valmislahendusi nõuetele vastavaks süsteemiks. Käesolevas peatükis keskendutaksegi olulisemate komponentide valikule.

5.3.1. Rullikud

Rullikute valikul on olulisemateks kriteeriumideks nende koormustaluvus, kasutatav materjal ja pikkus. Loetletud parameetrid sõltuvad transporditavast kaubast, mille iseloomulikud näitajad on eelnevas alapeatükis määratud.

Sujuva liikumise tagamiseks rullkonveieril peavad liikuvad objektid olema igal hetkel toetatud minimaalselt kolme rulliku peale, see määrab ära ka rullikute vahelise distantsi. Lisaks on parem kui transporditava eseme pikem külg on liikumissihis, kuna siis toetub see rohkemate rullikute peale ja on stabiilsem. [9]

Valitud kontseptsioonist tulenevalt hakkavad kastid paiknema risti konveieriga, mis tõttu tuleb arvestada, et kasti lühem külg pikkusega 300 mm toetuks vähemalt kolme rulliku peale. Rullikute tsentrite vaheline distants tuleb $300/3 = 100 \text{ (mm)} = 0,1 \text{ m}$.

Suurim transporditav mass 5,81 kg jaotub 3 rulliku peale ehk igale rullikule rakendub $5,81 / 3 \cdot 9,81 = 18,96 \text{ N}$.

Rulliku pikkus peaks olema levinud rusikareegli järgi 50 mm pikem kui transporditava kauba laius ja 100 mm pikem suuremate esmete korral nagu näiteks kaubaalused [9]. Käsitletava rakenduse puhul võiks rulliku laius olla seega $400+50=450 \text{ mm}$.

Loetletud näitajate järgi võrreldakse erinevate tootjate pakutavaid rullikuid ning valitakse disainis kasutatav toode (vt Tabel 5.1). Lisaks võetakse arvesse rullikute integreerimise lihtsus projekteeritavasse süsteemi, sest erinevatel tootjatel on tihti oma lahendused tugiraamide jaoks. Oluline on valitud kontseptsiooni eripära, et kaks konveierit asetsevad kohakuti.

Tabel 5.1 Rullikute võrdlustabel

Rullik	MiniTec transport roller PVC 50-25	MiniTec transport roller S PVC 50- 36	Interroll 1100 PVC 50x2.8	RULMECA GL/56 6D 18Z 450 (teras)
Lubatud staatiline koormus (N)	200	300	95	220
Pikkus (mm)	450	450	500	450
Kaal (kg)	~0.4	~0.4	~0.4	~0.4
Raam	Minitec profiilid	Minitec profiilid	Tervikliku moodulina (C-profiil)	Avadega C- ja L-profiilid
Rulliku paigaldus	rahuldav	väga hea	väga hea	hea
Raami integreeritavus kontseptsiooni kontekstis	väga hea	väga hea	hea	hea

Võrdluse põhjal on parimateks valikuteks Minitec transport roller S PVC 50-36 ja Interroll 1100 PVC 50x2,8. Esimese puhul on eeliseks paindlikus luua ise endale sobiv raam ja vabadus sättida rullikute tsentrivahet. Interrolli puhul on tugevuseks lisavõimaluste rohkus eritoodete osas ja võimalus kasutada peaaegu terviklikku konveier moodulit.

Lähtudes eelnevast valitakse antud lahendusse Interroll 1100 PVC 50x2,8 rullikud, mille olulisemad parameetrid on:

- rulliku läbimõõt $D= 50$ mm;
- materjal: PVC;
- võlli läbimõõt $d= 8$ mm;
- võll on vedruga sisse surutav, mugavamaks paigaldamiseks.

5.3.2. Konveierid hoiustamis funktsioonile

Teostatava kontseptsiooni järgi saab konveieri jagada funktsiooni järgi kolmeks osaks: tühjade kastide hoiustamine, printeri ees kastide suunamine, prinditud tööde hoiustamine. Hoiustamis funktsiooni täitvad osad on põhimõttelt samad ja küllalt

lihtsad, mistõttu on mõistlik kasutada nende puhul valmis konveierimooduleid, kuna nii saab vähendada projekteerimisele kuluvat aega ja kulusid.

Valitud rullikute tootja Interroll tootevalikust leiab konveierimoodulid, mida saab käesolevas rakenduses hoiustamisfunktsiooni jaoks kasutada. Toote parameeterid saab ise teatud määral valida, kuid näiteks konveieri laiusele on standardmööddud.

Lahendusse valitakse konveierimoodul Interroll MCP RM 8110 laiusega 540 mm (lähim standardlaius soovitud laiusele 450 mm), rullikute tsentrivahe 90 mm (soovitud samm 100), konveieri üldpikkusega 2430 mm. Konveieri raami moodustavad C-profiilid, mille külgedel on avad rullikute, lisavarustuse ja tugede kinnitamiseks. [10]



Sele 5.3 Ostetav konveierimoodul hoiustamisfunktsioonile [10]

Projekteerimise osa muudab lihtsamaks ka lisavarustuse saadavus nagu konveieri jalad, piirded jms. Siin töös käsitletava kontseptsiooni eripära, et kaks gravitatsioonkonveierit kohakuti asetseb on vähem levinud, seepärast tootja pakutavad konveieritoed ei sobi.

Gravitatsioonkonveieri tugede puhul on oluline lisaks struktuuri kindlale toestamisele, et saaks kaldenurka sobivaks seada ning kõrgust reguleerida. Kahe konveierilõigu kohakuti paigutamiseks leiti loetletud nõuetele vastav ostutoode, mis polditakse konveierimooduli tugiprofiili põhja külge ja ankurdatakse põrandasse. [11]



Sele 5.4 Ostetavad hoiustamiskonveieri tugijalad [11]

5.3.3. Aktuaator kastide peatamiseks

Kaste tuleb printerile ette anda ühe kaupa ja selleks kasutatakse kahte aktuaatorit. Üks aktuaator peatab ülejäänud varus ootavad kastid ja seejärel vabastab printeripoolne aktuaator esimese kasti. Peale kasti etteandmist sulgub printeripoolne aktuaator ja tagumine aktuaator vabastab varus oleva kastirea, sellega lõppeb üks töötsükkel hoiustamiskonveieril. (vt Sele 4.5)

Ülemine aktuaator peab suutma takistada kuni 7 tühja kasti edasi liikumist, ehk vastu pidama staatilisele koormusele $7 \cdot 0,81 = 5,67$ kg. Jättes hõõrdumise arvestamata tekitab see mass konveieri kaldenurga $\alpha = 5^\circ$ sihis mõjudes jõu F_1 :

$$F_1 = \sin \alpha * mg = \sin 5^\circ * 5,67 * 9,81 \approx 4,85 \text{ N} \quad (5.2)$$

Teine parameeter mida peab täituri valimisel hindama on kasti kiirus aktuaatorini jõudes. Kõige suurema kiiruse kogub esimene kast, mis gravitatsiooni tõttu kiirendab teekonna $s = 1,65$ m ulatuses. Arvutuse lihtsustamiseks jätame rullteel liikumisest pidurdavad jõud arvestamata ja kasutame lõppkiiruse leidmiseks raskuskiirenduse kaldenurga sihilist projektsiooni:

$$a_1 = \sin \alpha * g = \sin 5^\circ * 9,81 \approx 0,85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad (5.3)$$

Lõppkiiruse v_1 saab leida kiirenduse ja läbitud teepikkuse kaudu:

$$v_1 = \sqrt{2 * a * s} = \sqrt{2 * 0,85 * 1,65} \approx 1,68 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 100,8 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad (5.4)$$

Arvutatud kiirus tuli päris suur, sest pole arvestatud rulltee liikumist takistavate jõududega, kuid rullkonveierite puhul võivadki kiirused suureks kasvada kui ei kasutata kiirust reguleerivaid elemente. Tulemus annab siiski aktuaatorite sobivuse hindamiseks piisava suurusjärgu kätte.

Valitav aktuaator integreeritakse ülemise konveierimooduli külge, kust see peab rullikute vahelt üles tõusma ja kasti liikumistee blokeerima ning seejärel ka vabastama. Aktuaatori mõõtmetele seab piirangud konveieri rullikute vahe 40 mm, mida saab natuke muuta suurendades mõne rulliku sammu.

Nõutud parameetrite järgi vaadeldakse aktuaatoreid, mis võiks lahendusse sobida (Tabel 5.2). Võrdluse on kaasatud kahe enamlevinud stopperi/eraldaja tüübi esindajad (mõlema variandi puhul pakutakse ka pneumaatilisi variante) (Sele 5.5). Liini plaanitavas asukohas puuduvad suruõhuliinid, mistõttu on eelistatud elektrilised aktuaatorid.

Tabel 5.2 Kastide peatamise aktuaatorite võrdlus

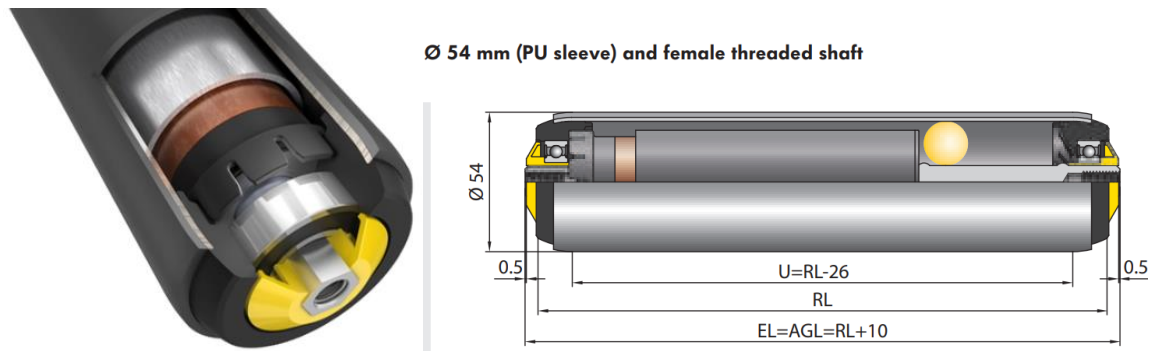
Aktuaator	Wörner ELUR-65	Interroll RM 8812
tüüp	elektriline	elektriline
elektrilised parameetrid	24V 2A	24V/48V
Jõuparameetrid (maksimaalne lubatud)	18 m/min - 50 kg, hõõrdejõud langetamisel 65 N	Transpordisuunaline jõud 100 N
Mõõtmed	40x100x75	415x540x200
Eelised	Võtab vähe ruumi	Suurem pidurduspind, Kokkusobiv konveierimooduliga
Puudused	Väike pidurduspind	Kahe järjest paigutamisel vahemaa ei ole hea



Sele 5.5 Elektriline stopper ELUR 65 [12] vasakul. Elektriline stopper RM8812 [13] paremal.

Võrdlus tabelit ja arvutatud parameetreid kõrvutades selgub, et lubatud transpordisuunalised koormused on kordades suuremad süsteemis tekivatest koormustest. Probleeme tekitab hoopis kasti suur kiirus, mille kast konveieril veeredes kogub. Tühja kasti mass on väike, kuid äkkpidurdamine lõhub siiski detaile, mistõttu tuleb kasti kiirust enne stoppereid vähendada.

Magneetilise kiirust kontrolliva rullikuga, mida gravitatsiooni konveieritel kasutatakse, on kiiruse probleem lahendatav. Konveierile saab lihtsalt lisada Interroll MSC 50 magneetilise rulliku, mis aeglustab konveieri kiiruse sõltuvalt kauba massist vahemikku 0,01 m/s kuni 2 m/s [9]. Antud toode on mõistlik paigutada ühe kasti jagu aktuaatorist ülespoole, kuna siis on liikumiskiirus aeglasemaks saadud, kuid kastirivi vabastamisel saab esimene kast kiirelt edasi liikuda. Üks selline rullik lisatakse ka alumisele konveierile viimase kolmandiku peale.



Sele 5.6 Magneetiline kiirust reguleeriv rullik Interroll MSC 50 [14]

Kastide liikumist peatavaks täituriks valitakse võrdlustabeli põhjal ELUR-65, kuna peale kiirus probleemi lahendamist, on tema suureks eeliseks väikesed mõõtmed, arvestades potentsiaalset vajadust kasutada stopperit ka kallutava rulltee moodulis.

5.4. Kaldenurka muutev lõik

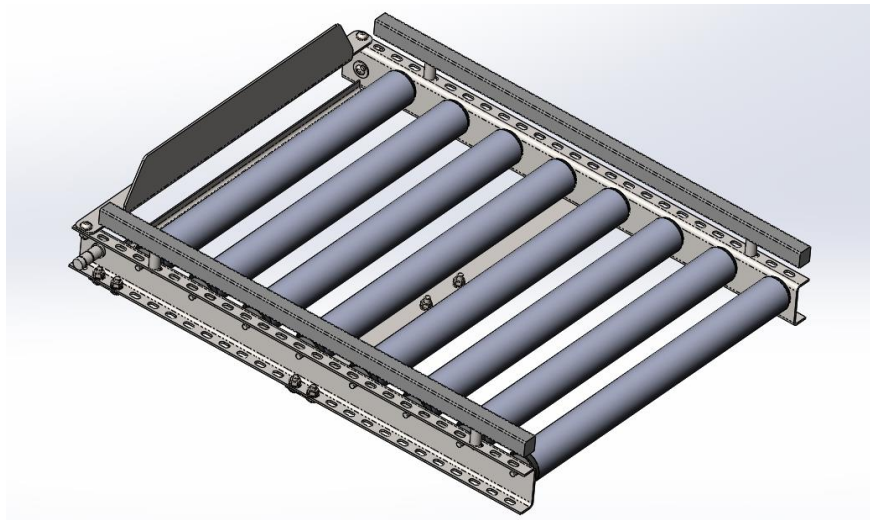
Printeri ees kastide suunamiseks kallet muutev konveieri lõik on spetsiifilisem lahendus, mistõttu projekteeritakse see ise. Vaadeldav mehhanism peab suutma vastu võtta tühja kasti ülemiselt liinilt, seejärel pidurdama kasti printeri väljastuse all, ning printimistöö lõppedes kallutama täis kasti alumisele rullteele (vt Sele 4.5). Tööpõhimõtte osas rakendatakse lihtsat skeemi, kus konveier saab ühes otsas pöörleda ümber fikseeritud telje ning liikumise tekitab lineaaraktuuator või silinder.

5.4.1. Kallutatav rulltee

Kallutatav rulltee on liikuv element, ning seetõttu on oluline teha see väikese massiga. Rullikuid fikseeriv raam projekteeritakse lehtmaterjalist painutatud detailidest, kuna rullikutootja pakutav tugiprofiil on asjatult kõrge ja raske.

Rulltee pikkuse määramisel tuleb arvestada, et pikema lõigu puhul on koormused suuremad ja kasti liigutamiseks kulub rohkem aega, kuid ülemineku nurk konveieritel vahe on laugem ja sujuvam. Liiga lühike rulltee tekitab hoiustamiskonveierite ja kallutava lõigu sihtide vahele liiga suure nurga, mistõttu võib kast takerduda, kuid kasti liikumine on kiirem. Disaini iteratsioonide käigus leiti, et antud lahenduses on sobiv kallutatava lõigu pikkus 760 mm, kus kauba kandmiseks kasutatakse 8 rullikut sammuga 90 mm. Rullikud on samad, mis eelnevalt valiti.

Lisaks polditakse rulltee lõigule külge veel lehtmetailist painutatud kastide lõppasendi piiraja, sõrmed pöörlemistelje tekitamiseks, kaupa suunavad põsed ja aktuaatori kinnituskõrv (vt Sele 5.7). Koos rullikutega on rulltee lõigu massiks 12 kg.

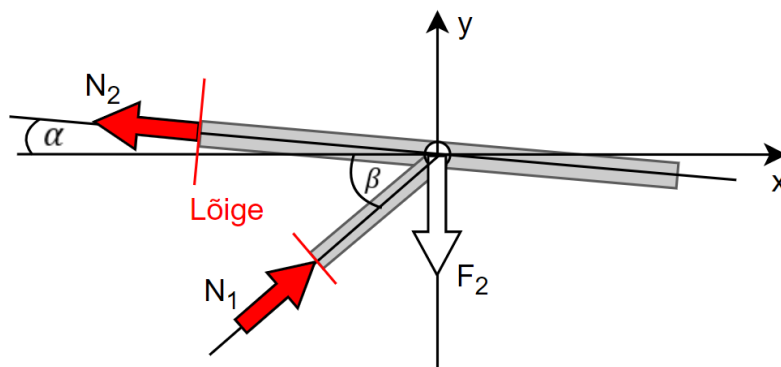


Sele 5.7 Kallutatav rulltee lõik

5.4.2. Aktuaator kallutamiseks

Aktuaatori valimisel lähtutakse liigutatavast koormusest ja planeeritud tööpõhimõttest. Lisaks konveieri kalde muutmisele, peaks täitur suutma ka positsiooni säilitada, kuna puhkeasendis peaks konveier olema suunatud ülemisele hoiustamiskonveierile ning printimise hetkel peaks see horisontaalselt paiknema. Printimisaegse positsiooni saavutamiseks on tarvis sensorit, mis jälgiks aktuaatori asendit.

Aktuaatorile mõjuv suurim koormusolukord tekib printimistöö lõpule jõudmisel, kui rulltee massiga 12 kg langetatakse ja täis kast massiga 5,81 kg pole veel rullteelt ära veerenud. Aktuaatorilt nõutava jõu leidmiseks ja arvutuse lihtsustamiseks vaadeldakse rullteed ja täiturit koormusolukorras pöördliigendiga ühendatud elementidena, millele mõjub liigendi kohalt raskusjõud $F_2 = (12 + 5,81) \cdot 9,81 \approx 174,72 \text{ N}$ (Sele 5.8).



Sele 5.8 Koormuskeem rullteed kallutava aktuaatori jõu arvutamiseks.

Kirjeldataud olukorras mõjub rulltee elemendile pikijõud N_2 ja aktuaatorile pikijõud N_1 , mis koonduvad pöördliigendi punkti nagu raskusjõudki. Rulltee ja aktuaatori positsiooni esmase iteratsioon järgi on suurima koormuse hetkel aktuaatori kaldenurk $\beta = 44^\circ$ ning

rulltee kaldenurk $\alpha = 0^\circ$. Kasutades jõudude tasakaalu printsiipi $\begin{cases} \sum F(x) = 0 \\ \sum F(y) = 0 \end{cases}$,

(5.5) leitakse aktuaatori nõutav jõud N_1 :

$$\begin{cases} \sum F(x) = 0 \\ \sum F(y) = 0 \end{cases} \quad (5.5)$$

kus $\sum F(x)$ – jõudude x-projektsioonide summa,

$\sum F(y)$ – jõudude y-projektsioonide summa.

Koormusskeemi põhjal tulevad tasakaaluvõrandid järgmised:

$$\begin{cases} \sum F(x) = \cos \beta * N_1 - \cos \alpha * N_2 = 0 \\ \sum F(y) = \sin \beta * N_1 + \sin \alpha * N_2 - F_2 = 0 \end{cases} \quad (5.6)$$

Asendades teada olevad andmed võrrandisüsteemi saame aktuaatori minimaalse nõutava väljundjõu arvulise väärtuse:

$$\begin{cases} \sum F(x) = \cos \beta = 44^\circ * N_1 - \cos 0^\circ * N_2 = 0 \\ \sum F(y) = \sin \beta = 44^\circ * N_1 + \sin 0^\circ * N_2 - F_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N_1 \approx 251,51 \text{ N} \\ N_2 \approx 180,92 \text{ N} \end{cases}$$

Lahendatud võrrandi tulemuse järgi peab aktuaatori väljundjõud suurimas koormusolukorras rulltee kallutamiseks olema suurem kui $N_1 = 251,51 \text{ N}$. Edasi otsitakse sobivate parameetritega aktuaator.

Lähtetingimustele vastab lineaar aktuaator HIWIN LAS3-2-1-150-24GE koos potentiomeetriga, mis võimaldab jälgida täituri asendit. Antud täituri eelisteks on võimekus hoida koormust ka ilma voolutarbetta ning sisseehitatud positsioonisensor ning lõpulülitid. Täpsemad aktuaatori tehnilised andmed on toodud allpool Tabel 5.3. Valitud aktuaatori tõuke- ja tõmbejõud 600 N on kaks korda suurem kui kallutusmehhanismi liigutamiseks nõutud jõud, lisaks suudab aktuaator positsiooni hoida kuni 300N jõu puhul, mis täidab rulltee kaldenurga säilitamise nõude puhkeseisundis. Alternatiivina oli valikus sama aktuaatori teine versioon HIWIN LAS3-1, millel oleks poole suuremad jõuparameetrid, kuid oluliselt aeglasem liikumiskiirus.

Tabel 5.3 Lineaar aktuaatori HIWIN LAS3-2 tehnilised andmed [15]

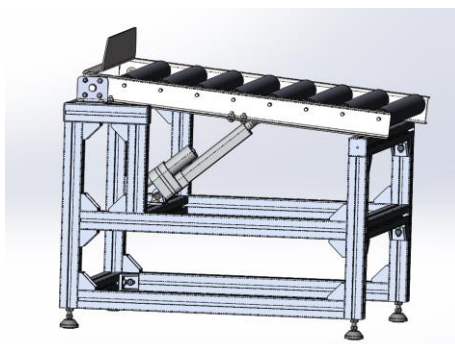
Maksimaalne tõukejõud	600	N
Maksimaalne tõmbejõud	600	N
Maksimaalne hoidmis jõud	300	N
Kiirus maksimum koormusel	16	mm/s
Kiirus ilma koormuseta	25	mm/s
Käigupikkus S	150	mm
Duty cycle	10	%
Maksimaalne voolutarve	3	A
Potentiometeri resolutsioon	10,5	Ω/mm



Sele 5.9 Lineaar aktuaator HIWIN LAS3-2 [15]

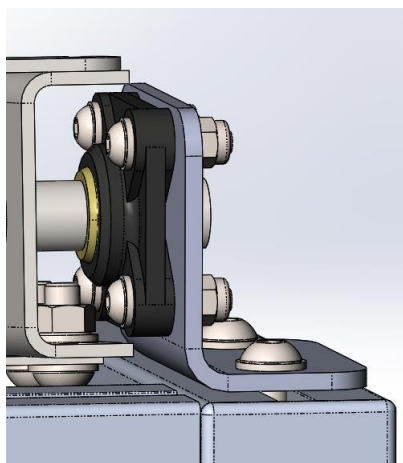
5.4.3. Kallutava rulltee raam

Kallutava rulltee ja aktuaatori positsioonide fikseerimiseks ruumis tuleb konstrueerida raam, mille puhul on olulised lihtsus ja kõrguse reguleerimise võimalus. Raami valmistamiseks kasutatakse Minitec alumiinium profiile 45x45, mille eeliseks on koostamise lihtsus ning väike mass. Kõrguse reguleerimiseks kasutatakse keermetatud taldmikke (vt Sele 5.10).



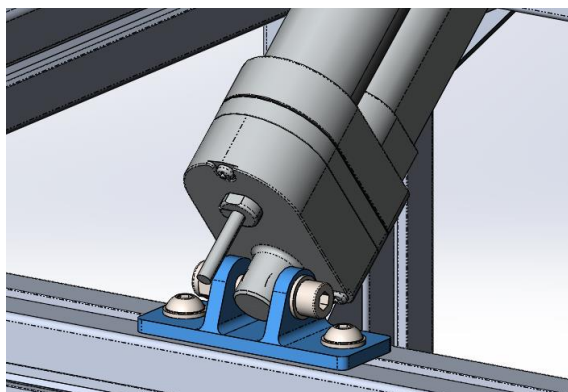
Sele 5.10 Kallutav konveieri lõik Minitec profiilidest raamil.

Kaldenurka muutva rulltee pöördepunkti ühendamiseks raamiga kasutatakse vertikaalpinnale kinnitatavat pukklaagrit Igus EF5M-16, mis suudab kompenseerida ka komponentide vahelisi kontsentrisuse hälbeid, ning kannatab radiaalkoormusi kuni 1600 N, mis on käesolevas lahenduses piisav [16]. Laagri-pukk kinnitakse raamile painutatud lehtdetaili abil.



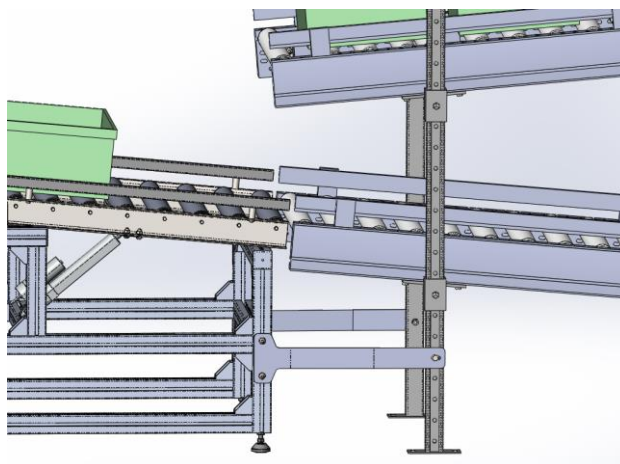
Sele 5.11 Kallutava rulltee pöörlemistelje kinnitamine laagripukiga

Aktuaatori ühendamiseks raami ja rulltee mooduliga projekteeriti väike alumiiniumist kinnituskõrvadega detail, mis peab vältima aktuaatori pöörlemist, kuna tõukejõud tekitatakse kruvi pöörlemisega.



Sele 5.12 Aktuaatori ühendus raamiga

Kallutava konveieri raami eraldi ei ankurdata, kuid see fikseeritakse hoiustamiskonveieri jalgade külge painutatud lehtdetailiga, et vältida nende vahelise distantsi muutus.



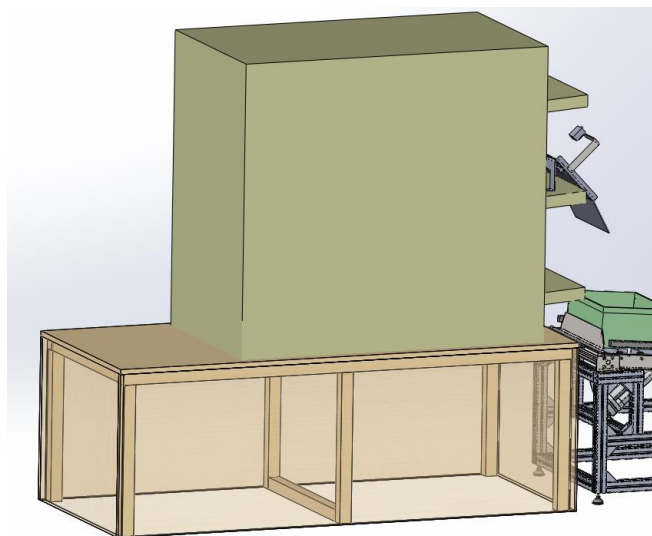
Sele 5.13 Kahe konveieri lõigu vahelise kauguse fikseerimine

5.5. Printeri platvorm

Tellija poolse nõudena kasutatakse loodava liini jaoks olemasolevat printerit Canon, ning peab olema võimekas kasutada nii mudelit Imagine Runner Advance 8505 kui ka 8285 Pro. Mõõtudelt on printerid suhteliselt sarnased, erinedes peamiselt pikkusmõõdult. Mõlemal printeril on kolm väljastussahtrit, neist peab kasutama minimaalselt kahte, ning üks neist peab kindlasti olema all asuv vihikuteväljastus, mille kõrgus maapinnast on 0,19 m. Gravitatsioonkonveierite kaldenurgast tulenevalt on konveieri algus oluliselt kõrgemal kui printeri alumine väljastussahtril, seetõttu tuleb printer tõsta põrandapinnast kõrgemale.

Printerile projekteeritakse alus, millele asetatuna saavad prinditud juhendid kukkuda ilusti konveieri alguses olevasse kasti. Platvormi kujundamisel arvestatakse pikema printeri mudeliga 8505, mille gabariitmõõdud (pikkus, laius, kõrgus) on 1,46 x 0,79 x 1,23 m. Arvestama peab ka vajadusega printerit hooldada, mille käigus tuleb eraldada printer ja väljastusmoodul selle jaoks valitakse pikkusmõõt varuga 2 m. Printer ise kaalub umbes 240 kg ja väljastusmoodul 180 kg [17]. Printer seisab väiksetel ratastel, kuid neil on ka keeratavad jalad all, mille abil saab printeri poodiumil stabiilsemalt fikseerida.

Prinditud juhendmaterjalid peavad langema kasti kõrgemalt, seega arvestades eelpool projekteeritud lahendust on printeri poodiumi vajalik kõrgus 0,7 m. Poodiumi mõõdud tulevad Printeri alusele ei ole erinõudmisi, seetõttu tehakse 21 mm kase vineerist, mis nurkadest tugevdatakse 50 x 50 mm prussidega ja kinnitatakse omavahel puidukruvidega. Sarnast lahendust kasutatakse ka suurema printimisliini juures ja on olemas praktiline kinnitus konstruktsiooni piisavast tugevusest.



Sele 5.14 Printeri alune platvorm

5.6. Triipkoodiskänner ja lehesuunaja

Printeri keskmisest väljastussahtlist prinditakse välja ka printimistöö lõppu tähistava triipkoodiga leht, mis peab samuti kasti jõudma. Printeri enda väljastussahtel on ülespoole kaldega, kuid antud lahenduses on tarvis lehed suunata alla kasti, seega kasutatakse lehtede suunamiseks lehtmetailist painutatud liugteed, mis kinnitatakse originaal sahtli asemele (vt Sele 5.15). Sama detaili külge saab kinnitada ka triipkoodiskänneri.

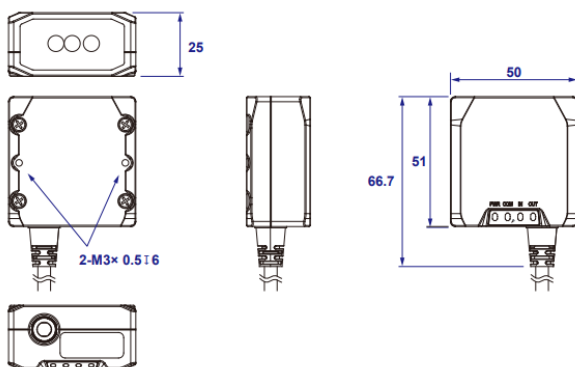


Sele 5.15 Printeri väljastussahtli asendus lehtede suunajaga vasakul ja originaal paremal

Printitöö lõpu tuvastamiseks kasutatakse käesolevas lahenduses lahenduses triipkoodi skannerit Delta DFS-150-485, mis oma statsionaarse kinnitamise ja väikeste mõõtmetega (50 x 25 x 51,5 mm) ongi mõeldud tööstuslikesse lahendustesse. Antud skanner suhtleb RS485 liidese abil ja tagab skanneerimise 60 kaardit sekundis. [18]

DFS150 Series

Unit:mm



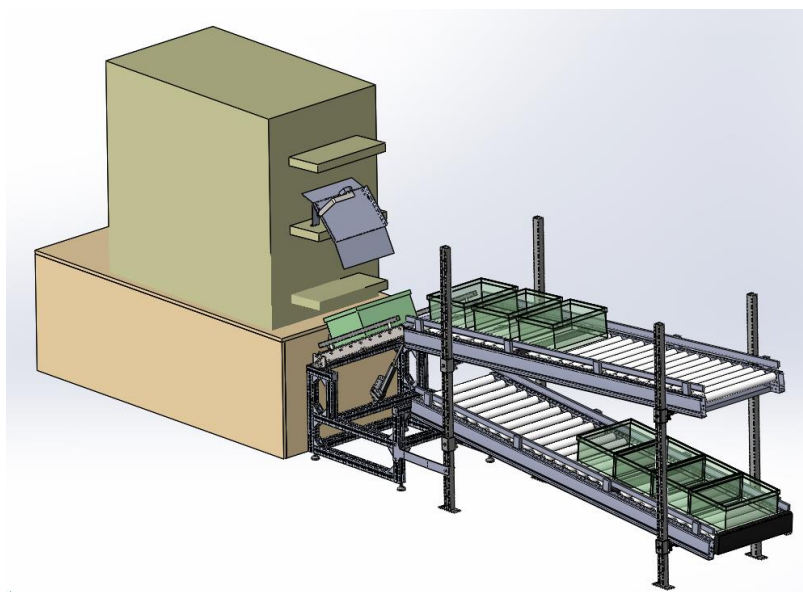
Sele 5.16 Triipkoodi lugeja printimistöö lõpu tuvastamiseks [18]

5.7. Printimistöde käitlemisliini ülevaade

Eelmistes peatükkides on tähelepanu pööratud olulisematele komponentidele ja alamsüsteemidele, mis kokku moodustavad printimistöde käitlemissüsteemi. Liini tööprotsess mõeldi läbi ja kirjeldati kontseptsiooni faasis, nüüd saab lisaks vaadelda üldpilti valmis projekteeritud süsteemi põhjal(vt Sele 5.17).

Ülesandeks oli muuta sujuvamaks prinditud juhendmaterjalide käitlemist, mille tulemusena saab printer ilma suuremate peatumiseta järjest printida ning juhendmaterjalid jaotatakse konveieril tellimuste kaupa. Automaatne tellimuste kaupa jaotamine ning printeri alt ära transportimine on oluline, et operaator ei peaks koguaeg printeri juures olema ning käsitsi sorteerima printeri alla tekkinud juhendmaterjalide hunnikut.

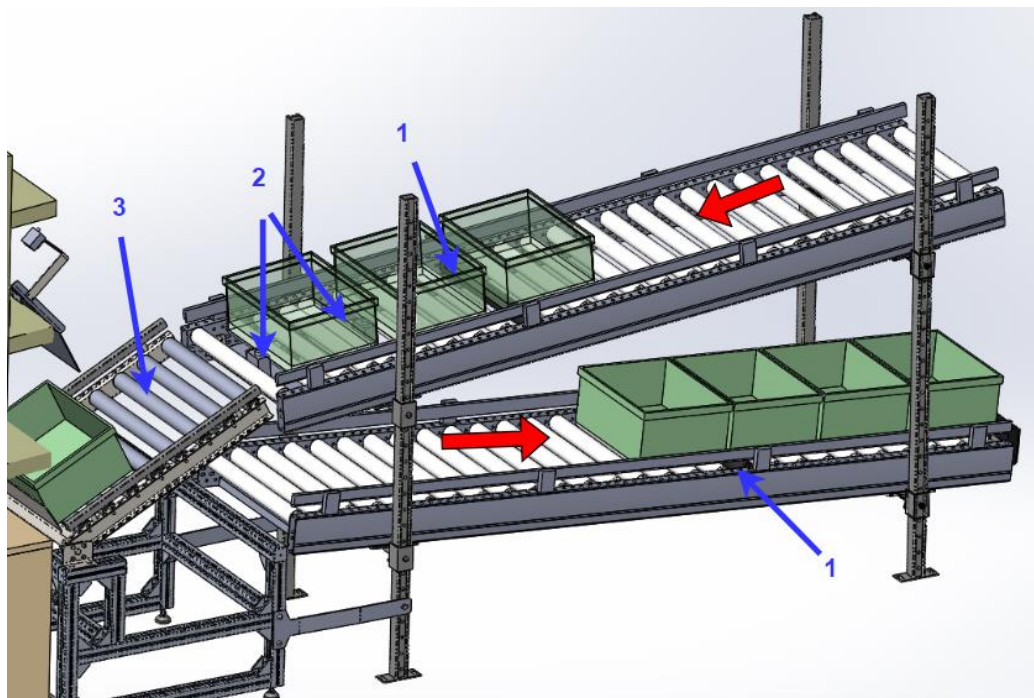
Printimisliin jaotati funktsionaalsuse järgi kolmeks osaks: tühjade ning täis prinditud kastide hoiustamiskonveier, kallutatav kastide etteande konveier, printer koos tuvastus ja lehte suunajaga. Liin mahutab 8 kasti prinditud juhendmaterjalide hoiustamiseks, seega käitleb liin ilma operaatori sekkumiseta kuni kaheksa järjestikust prinditööd.



Sele 5.17 Projekteeritud printimisliin ülevaade

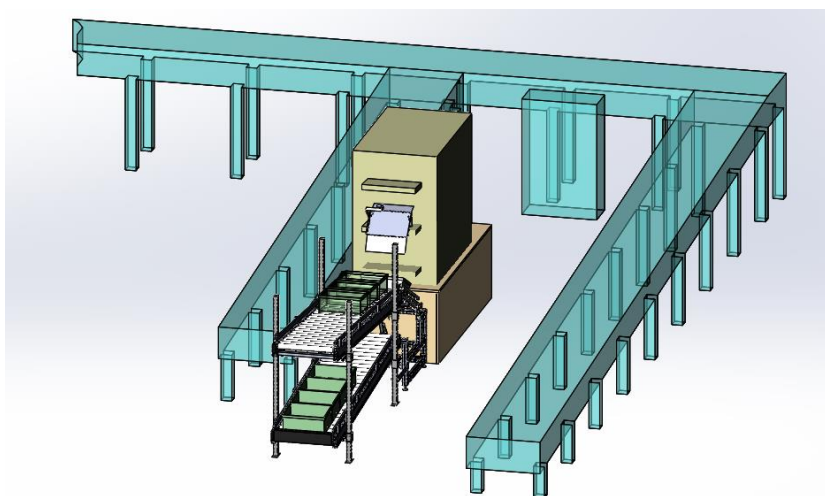
Hoiustamiskonveieril asetatakse kastid ülemisele rullteele, kus need veerevad printeri poole, kastide liikumiskiirust aeglustab magneetiline rullik ning seejärel peatatakse kast elektromehaanilise stopperiga. Aktuaatorist edasi vabastatakse kaste ühe kaupa, kui eelnev prinditöö on lõppenud ja kaldenurka muutev rulltee naasnud ülemisse puhkeasendisse. Kaldenurka muutvale jõudnud kast peatatakse printeri väljastussahvlite all mehaanilise stopperiga ning seejärel liigutatakse kast

horisontaalseks. Triipkoodi lugeja poolt tuvastatud printitöö lõpu korral liigub kaldenurka muutev rulltee alumisse asendisse ja juhendmaterjalidega kast liigub tööde hoiustamiseks alumisele gravitatsioonkonveierile. Töotsükli lõpuks liigub kaldenurka muutev lõik ülemisse asendisse. Juhendmaterjalide eemaldamine kastidest teostatakse operatori poolt, kes seejärel tõstab tühja kasti uuesti ülemiselt gravitatsioonkonveierile.



Sele 5.18 Kastide liikumine printimisliinil (1- kiirust reguleeriv magnetiline rull, 2- kaste peatav elektriline aktoator, 3- kaldenurka muutev rulltee)

Printitööde käitlemisliini disaini enim mõjutanud tegur oli ruumikasutus, kuna liini tööala on planeeritud kahe olemasoleva konveieri liini vahele, kuhu peab jääma ka läbikäimise ruum. Projekteeritud lahendus täidab selle nõude ilusti ning kahe konveieri vahele jääb ühe meetrine vahe (vt Sele 5.19) .



Sele 5.19 Printitööde käitlemise liin automaatlaos konveieri harude vahel

5.8. Majanduslik ülevaade

Antud projektis oli üheks oluliseks teguriks ka maksumus, mis pidi olema minimaalne, seepärast koostati tabel projekti maksumuse esmaseks hindamiseks, kuhu märgiti projektiga seotud olulisemad kuluallikad nagu komponendid ja projekteerimise töö.

Tabel 5.4 Projekti hinnanguline maksumus

Kuluallikas	Hind	Kogus	Summa
Konveier moodul	500	2	1000
Konveieri lõpp	80	1	80
Rullik aeglustamiseks	150	2	300
Rullik	25	8	200
Konveieri tugijalad	350	2	700
Stopper aktuaator	497	2	994
Raam kallutajale	30	10	300
Kallutaja aktuaator	210	1	210
Laager	8	2	16
Eridetailid	1000	1	1000
Kinnitusvahendid	100		0
Printeri poodium	300	1	300
Kastid	10	8	80
Triipkoodi skänner	377	1	377
Väike PLC	150	1	150
Toiteplokk	20	1	20
Elektronika kilp	50	1	50
Lisanduvad elektronika komponendid	200	1	200
Automaatika projekteerimine	1500	1	1500
Mehaanika projekteerimine	20	80	1600
		Kogusumma	9077

Projekti maksumus kujunes suuremaks, kui esialgu plaanitud isegi suures osas ostukomponentide kasutamisel. Hinda saaks madalamaks näiteks odavamate komponentide kasutamisega.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli projekteerida lahendus printitud tööde käitlemise automatiseerimiseks Sandmani Grupi AS logistikakeskuse automaatlao juures. Projekteerimise jaoks koguti sealt lähteandmeid ning analüüsiti loodavale süsteemile esitatavaid nõudeid. Olulisemad nõuded lahendusele olid hind ja ruumikasutus.

Enne projekteerimise juurde asumist uuriti turul pakutavaid lahendusi ja levinumaid konveieri tüüpe. Hästi sobivat valmislahendust turult ei leitud, ning seepärast genereeriti ise erinevaid lahendusvõimalusi. Välja mõeldud kontseptsioone hinnati olulisemate nõuete osas ning valiti projekteeritav lahendus. Analüüsi järel osutus valituks gravitatsioonkonveieril põhinev lahendus. Projekteeritava liini asukoha spetsifiliste nõuete tõttu tuli konveier lahendada kahekorruselisena ja kasutada ka rullkonveieri lõiku, mis aktuaatori abil kaldenurka muudab.

Töö annab ülevaate gravitatsioonkonveieri olulisematest parameetritest ja komponentidest. Lõpliku lahenduse jaoks valiti olulisemad komponendid ning projekteeriti osa komponente ka ise. Maksimumse nõudest lähtuvalt püüti kasutada võimalikult palju ostukomponente.

Lõputöö tulemusena projekteeriti gravitatsioonkonveier printimistöde käitlemise automatiseerimiseks, mis vastab seatud nõuetele. Antud töö raames keskenduti mehaanika osa projekteerimisele, ning valiti vaid lahenduse jaoks olulisemad elektroonikakomponendid. Edaspidi tuleks tegelda automaatika projekteerimisega ning reaalse konveieri valmistamisega.

SUMMARY

Aim of this work is to design automated solution for handling printed job in the Sandmani Group AS logistic centre. Information for designing was gathered from there and analysed to set requirements. Most important requirements were price and footprint of system

Different available solutions were searched and most common types of conveyors studied before design process. Multiple possible design concepts were generated by autor since there was no suitable solutions on the market. To choose concept that will be designed, all concepts were evaluated against different criterias. Based on evaluation gravity conveyor solution was choosen. Due to location specific requirements conveyor was designed with two conveyors above each other and actuated tilting roller conveyor guideing material flow between them.

Overview of most important gravity conveyor parameters and components was given during design process. Due to the cost recuirements a lot of purchased components were used, but some had to be designed as well.

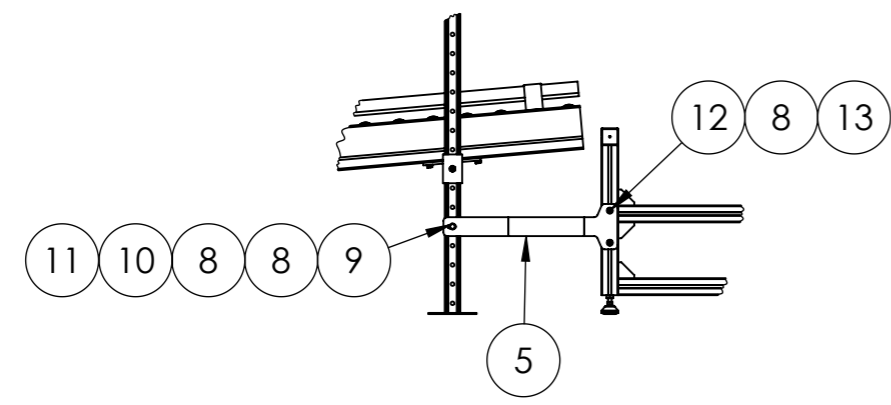
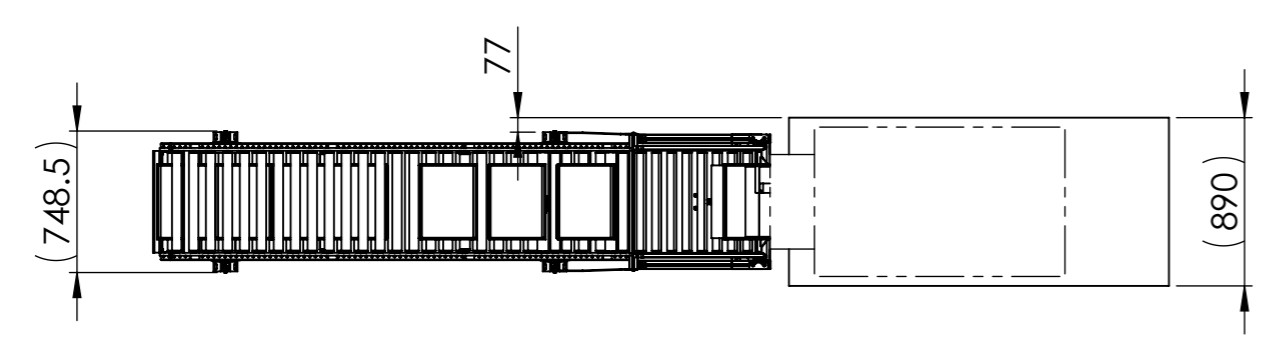
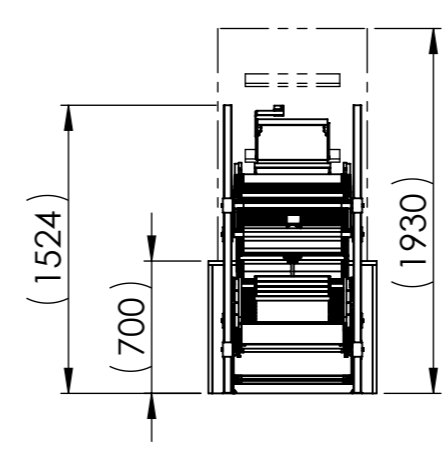
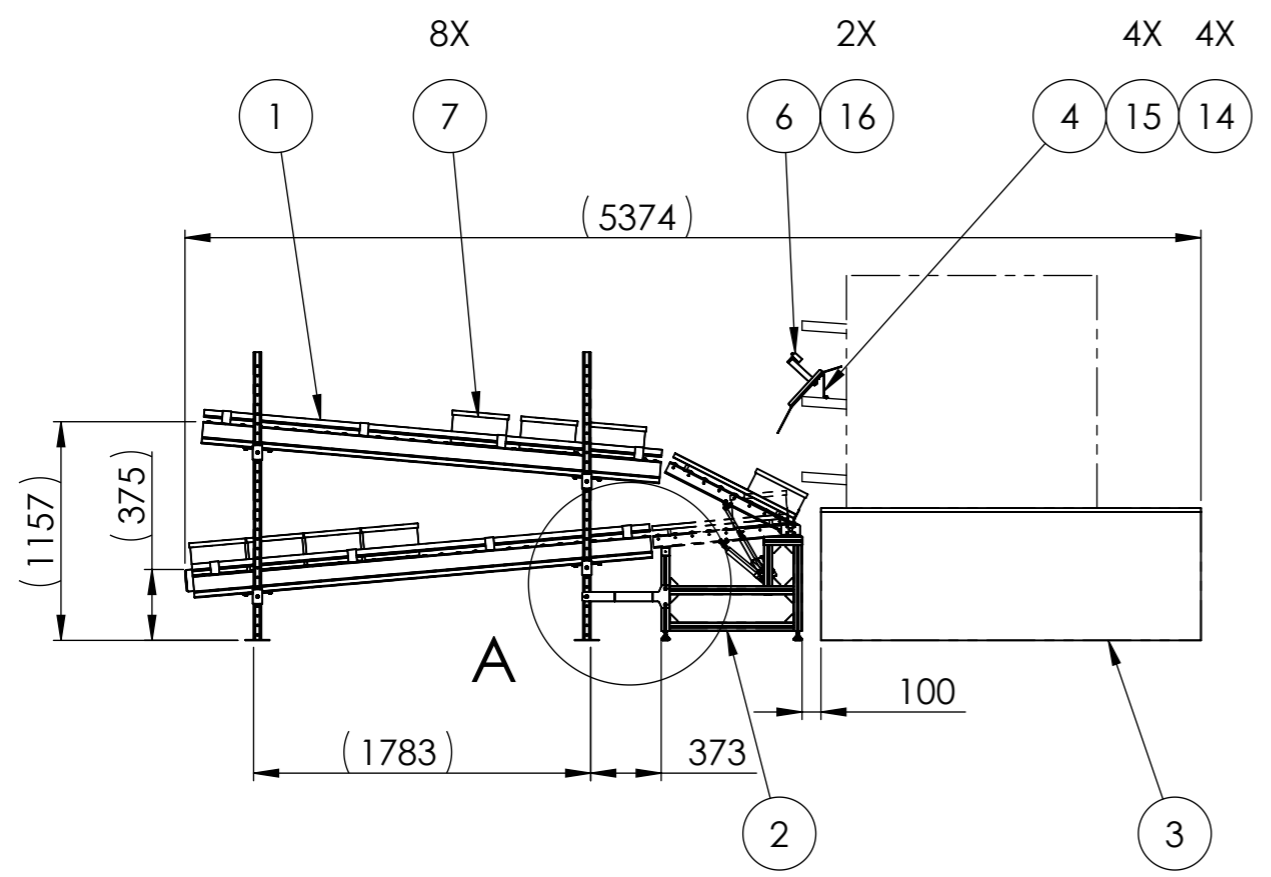
As a result of this thesis gravity conveyor solution was designed to automate handling of the printed jobs. Focus was on mechanical design therefore automation design should be investigated next.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] T. S. Michael ten Hompel, Warehouse management : automation and organisation of warehouse and order picking systems, Berlin; Heidelberg: Springer, 2007.
- [2] P. M. McGuire, Conveyors Application, Selection, and Integration, Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [3] Rulmeca, „Gravity Conveyor Rollers,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.rulmeca.com/en/products_unit/catalogue/2/industrial_unit_handling/7/gravity_conveyor_rollers. [Kasutatud 29 04 2023].
- [4] MiniTec, „MiniTec-Conveyor belts,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.minitec.de/en/solutions/conveyor-systems/conveyor-belts>. [Kasutatud 06 05 2023].
- [5] S. Ray, Introduction to materials handling, New Delhi: New Age International (P) Ltd, 2008.
- [6] MiniTec, „MiniTec-segmented chain conveyor GKF,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.minitec.si/pdf/GKF-Segmentni-transporterji.pdf>. [Kasutatud 06 05 2023].
- [7] Bebeco, „Bebeco CRATE B2,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://bepco.ee/en/crate-b2/>. [Kasutatud 20 04 2023].
- [8] „Roymech.org Friction factors,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://roymech.org/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.html. [Kasutatud 28 04 2023].
- [9] Interroll, „The Interroll Roller Catalogue,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.interroll.com/products/unit-handling/rollers-and-wheels/>. [Kasutatud 30 04 2023].
- [10] Interroll, „RM8110 Non-powered roller conveyor,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.interroll.com/products/unit-handling/conveyors/mcp/rm-8110/>. [Kasutatud 05 05 2023].
- [11] McMASTER-CARR, „Stationary Conveyor Stand,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mcmaster.com/5833K109/>. [Kasutatud 05 05 23].
- [12] Wörner GmbH, „ELUR-65 Roll stopper,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.woerner-gmbh.com/en/products/roll-stopper/elur-65>. [Kasutatud 09 05 2023].
- [13] Interroll, „Bladestop RM 8812,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.interroll.com/products/accessories/rm-8812/>. [Kasutatud 10 05 2023].
- [14] Interroll, „Series MSC 50 magnetic speed controller,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.interroll.com/products/unit-handling/rollers-and-wheels/series-msc-50-magnetic-speed-controller/>. [Kasutatud 11 05 2023].
- [15] HIWIN, „Linear actuator LAS3-2-1-150-24GE-with-POTENTIOMETER,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hiwin.de/en/Products/Linear-actuators/LAS-linear-actuators/LAS3-2-1-150-24GE-with-POTENTIOMETER/p/9.00056>. [Kasutatud 10 05 2023].
- [16] IGUS, „Flange bearing EFSM-16,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.igus.eu/product/igubal_EFSM?artnr=EFSM-16. [Kasutatud 18 05 2023].

- [17] Canon, „Canon imageRUNNER ADVANCE 8505 PRO specifications,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.canon-europe.com/support/business/products/office-printers/imagerunner/advance/imagerunner-advance-8505-pro.html?type=specifications#MainUnit>. [Kasutatud 15 05 2023].
- [18] Deltaww, „Delta Barcode Scanners,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://filecenter.deltaww.com/Products/download/06/060409/Catalogue/DELTA_I A-SSM_DFS-DAH_C_EN_20211004_Web.pdf. [Kasutatud 18 05 2023].

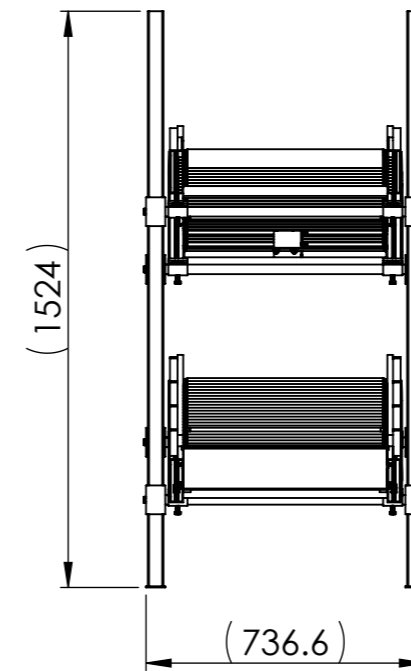
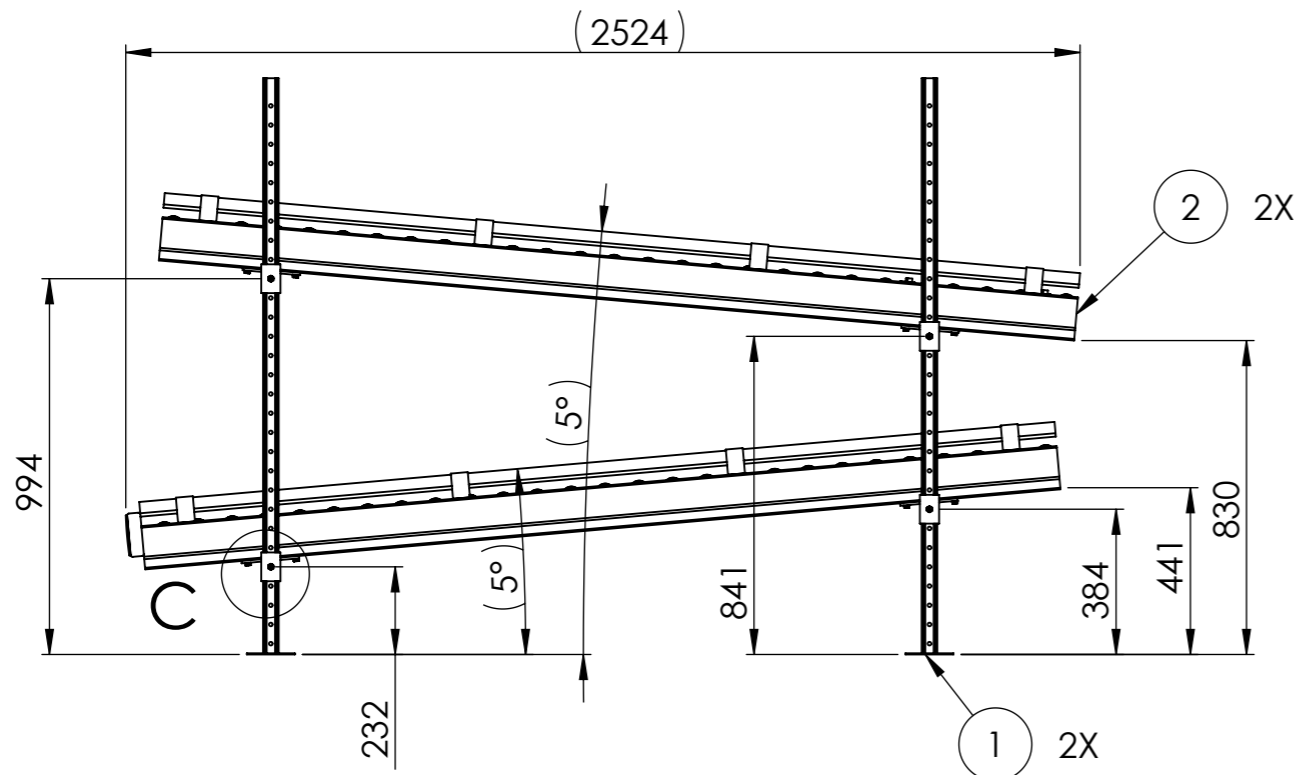
GRAAFILINE OSA



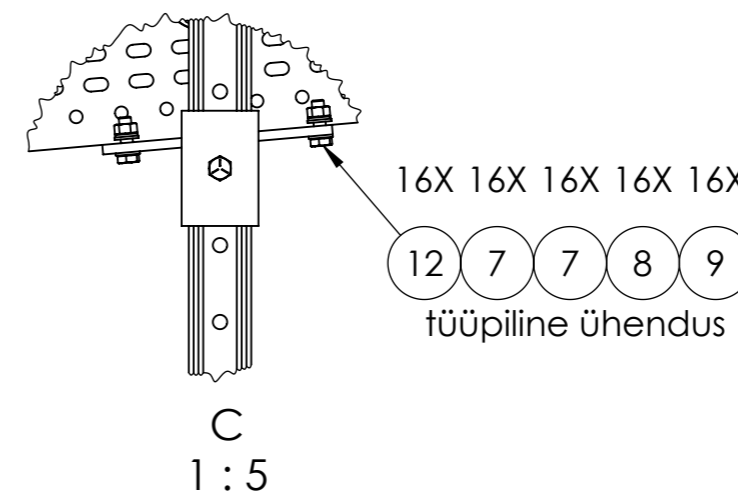
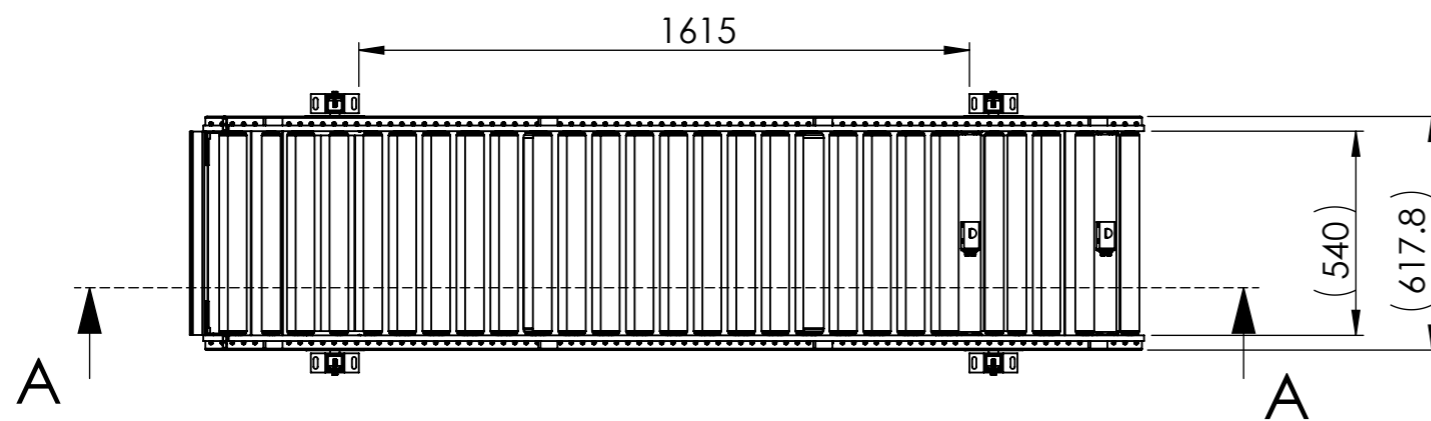
A
1 : 20
KAHES KOHAS

NO.	KIRJELDUS	TÄHIS	KOGUS
1	HOIUSTAMISKONVEIER	001.01.00	1
2	KALLUTAV KONVEIER	001.02.00	1
3	PRINTERI PLATVORM	001.03.00	1
4	LEHESUUNAJA KOOST	001.04.00	1
5	FIKSAATOR LEHT	001.00.01	2
6	TRIIPKOODI LUGEJA	DFS150-485	1
7	KAST 40X30	BEBCO B2	8
8	WASHER ISO 7091 - 8		8
9	ISO 4017 - M8 X 65-N		2
10	SPRING WASHER DIN 128 - A8		2
11	ISO - 4032 - M8 - W - N		2
12	ISO 7380 - M8 X 16 - 16N		4
13	21.1351-2		4
14	WASHER ISO 7092 - 4		4
15	ISO 4762 M4 X 8 - 8N		4
16	ISO 7380 - M3 X 6 - 6N		2

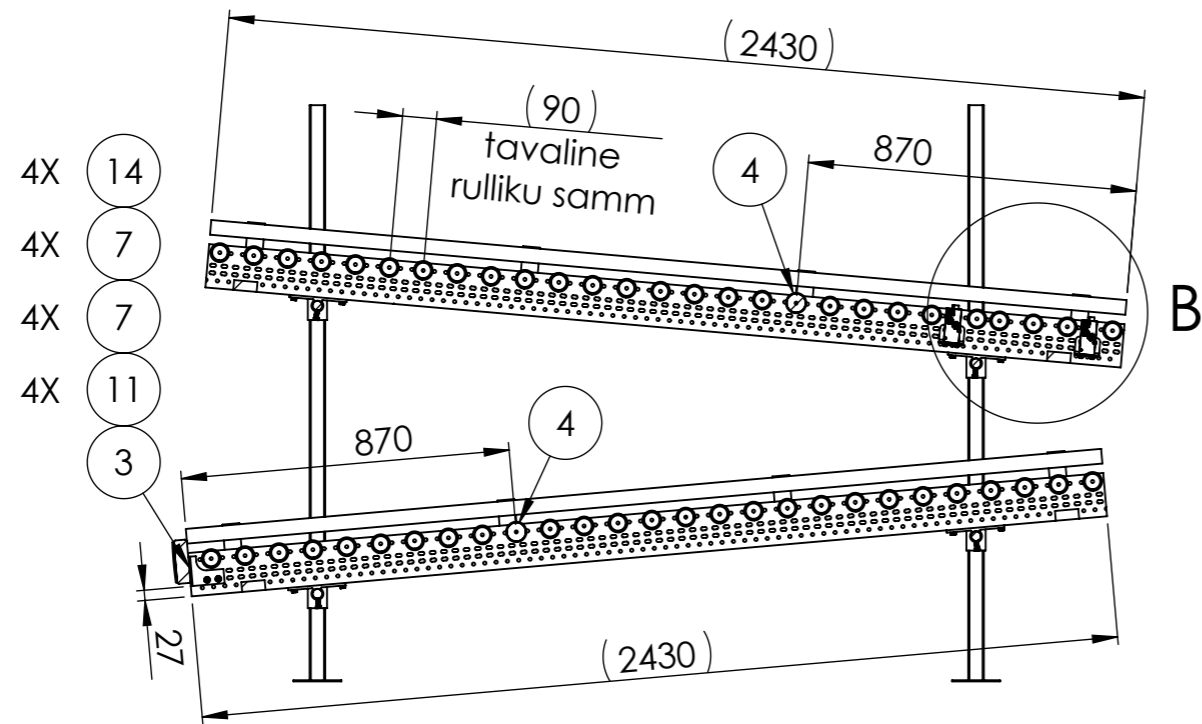
	Materjal:	Lubatud piirhälbed: ISO 2768-m-K	Mass: 224	Mõõt: 1:40
	Teostas Kontrollis Kinnitas	Henri Vilmre	Nimetus: PRINDITUD TÖÖDE KÄITLEMISLIIN	
Tallinna Tehnikaülikool		Leht: 1 / 1	Tähis: 001.00.00	



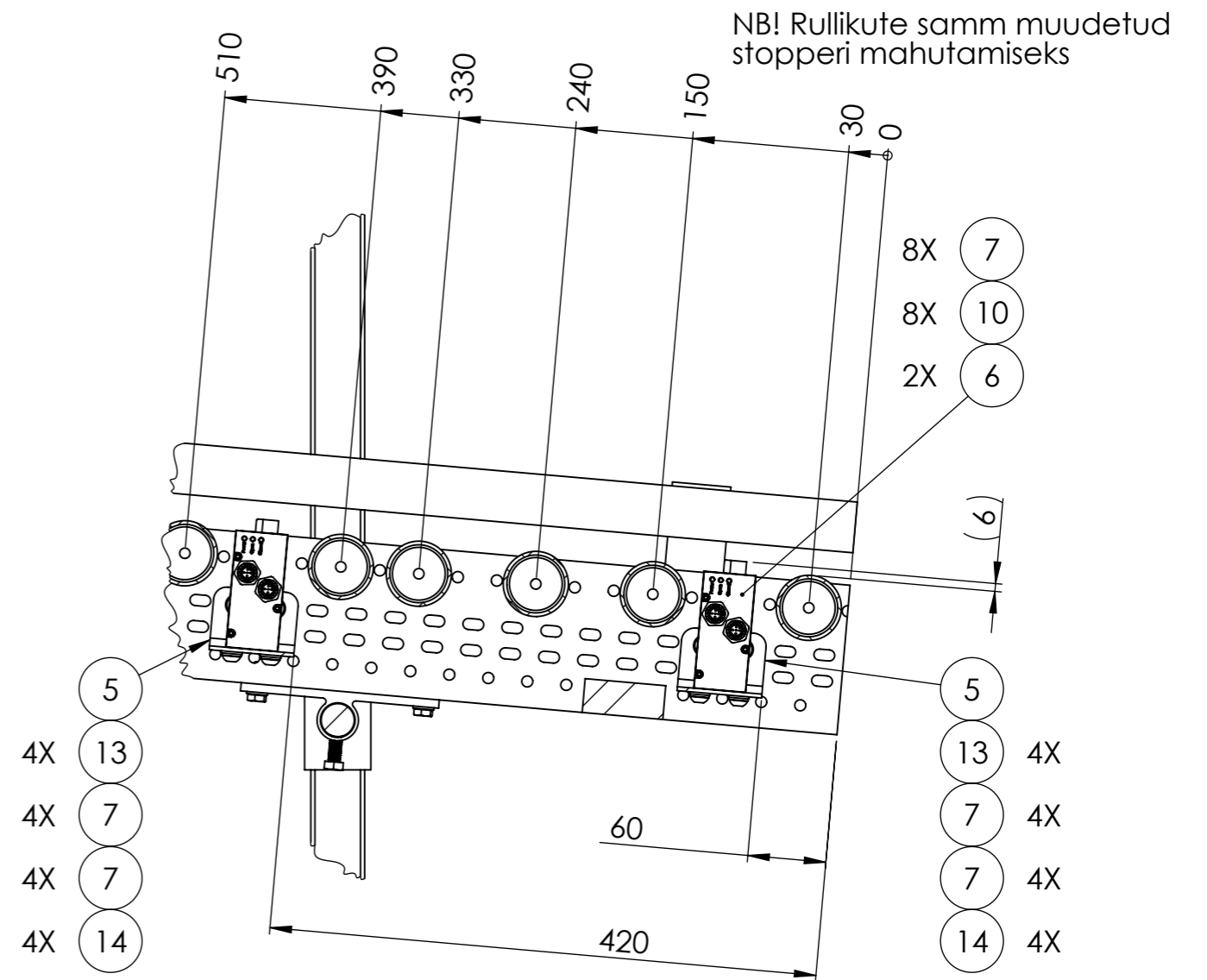
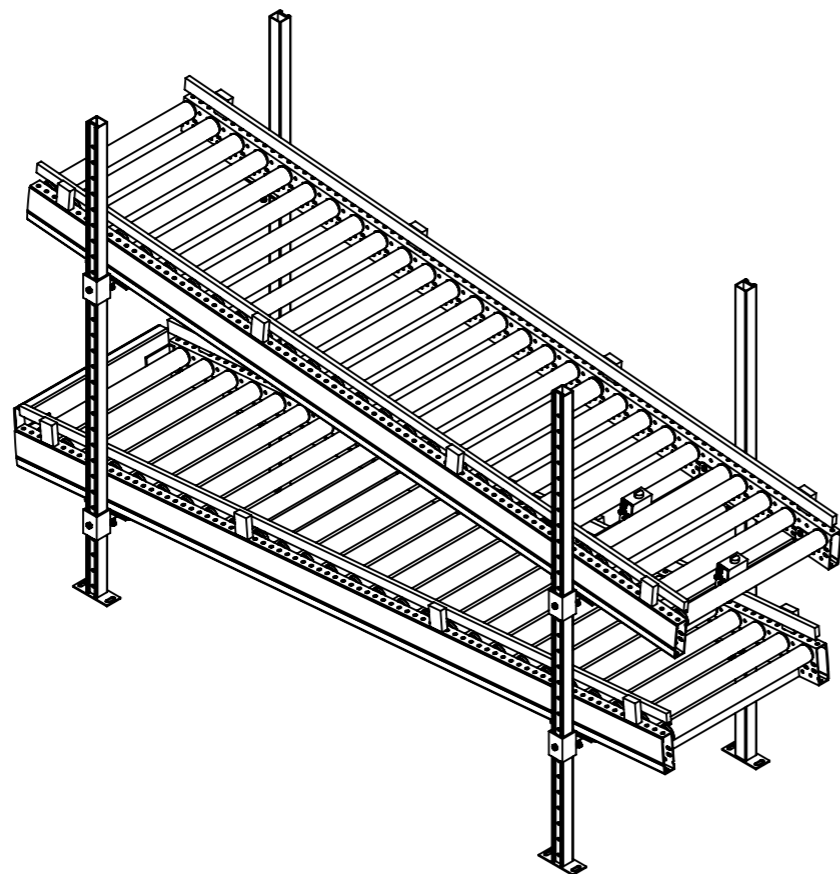
NO.	KIRJELDUS	TÄHIS	KOGUS
1	KONVEIERI TUGIJALG	5833K109	2
2	RULLKONVEIER MOODUL	INTERROLL RM8110 BF540 L2430	2
3	KONVEIERI LÕPU ELEMENT	INTERROLL RM8811 BF540	1
4	KIIRUST REGULEERIV RULLIK	INTERROLL MSC50 BF540	2
5	STOPPERI HOIDJA	001.01.01	2
6	ELEKTRILINE STOPPER	ELUR-65	2
7	WASHER ISO 7091 - 8		68
8	SPRING WASHER DIN 128 - A8		28
9	ISO - 4032 - M8 - W - N		16
10	ISO 7380 - M8 X 10 - 10N		12
11	SOCKET BUTTON HEAD SCREW_ISO 7038 M8 X 25		4
12	HEX SCREW ISO 4017 M8 X 25		16
13	SOCKET BUTTON HEAD SCREW_ISO M8X20		8
14	ISO 7040-M8-N		12



	Materjal:	Lubatud piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
		ISO 2768-m-K	112.0	1:20
	Teostas: Henri Vilmre	Nimetus: Hoiustamiskonveier		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
Tallinna Tehnikaülikool		Leht: 1 / 2	Tähis: 001.01.00	

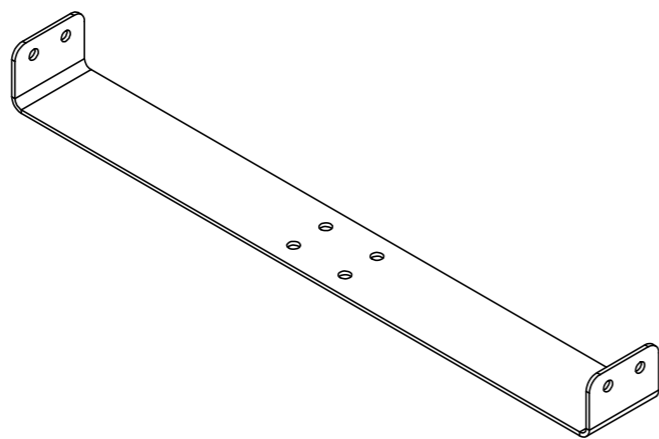
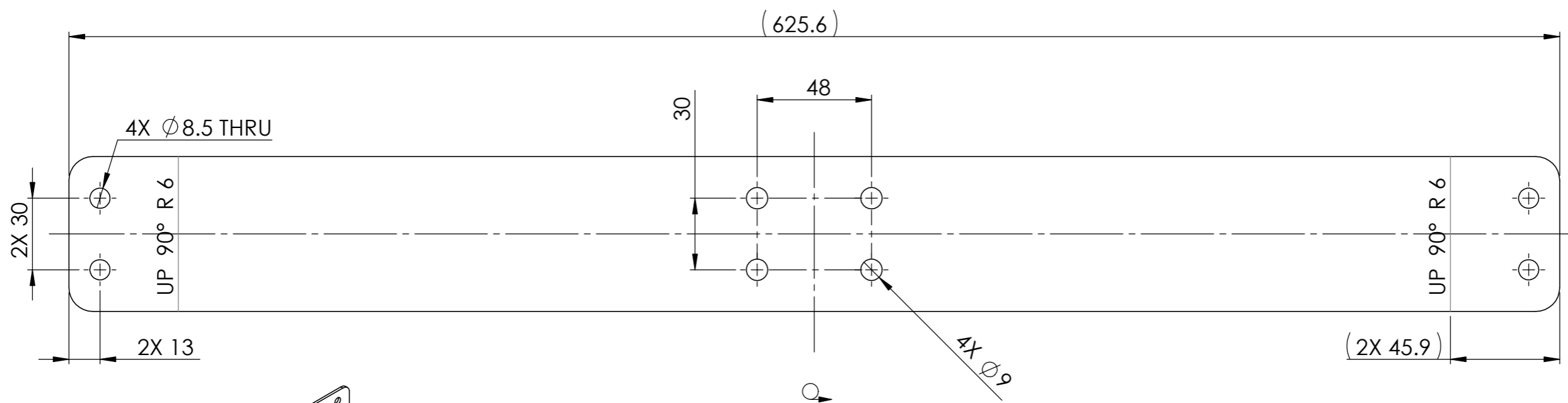
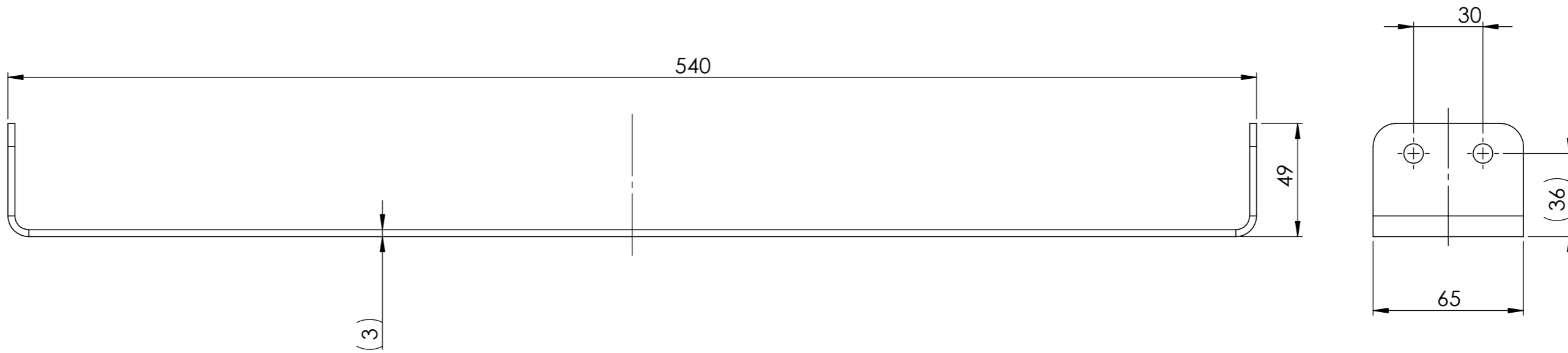


SECTION A-A



B
1:5

	Materjal:	Lubatud piirhälbed: ISO 2768-m-K	Mass: 112.0	Mõõt: 1:20
	Teostas: Henri Vilmre	Nimetus: Hoiustamiskonveier		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
Tallinna Tehnikaülikool		Leht: 2 / 2	Tähis: 001.01.00	



Teravad servad maha lihvida

	Materjal: 1.0116 (S235J2G3)	Lubatud piirhälbed: ISO 2768-m-K	Mass: 0.94	Mõõt: 1:2
Teostas	Henri Vilmre	Nimetus: Stopperi hoidja		
Kontrollis				
Kinnitas				
Tallinna Tehnikaülikool		Leht: 1 / 1	Tähis: 001.01.01	