



Andreas Paltser

LINTKONVEIERI PROJEKTEERIMINE KAUBAALUSTELE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Masinaehituse õppekava

Juhendaja: Mart Tiidemann

Tallinn 2023

Mina,

Andreas Paltser,

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

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja: Mart Tiidemann

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Andreas Paltser

sünnikuupäev: 07.01.1997

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

„Lintkonveieri projekteerimine kaubaalustele“

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. WINDAK OÜ ISELOOMUSTUS JA TOODETE TUTVUSTUS.....	6
1.1 Ettevõtte kliendid.....	6
1.2 Liini ülevaade	6
1.3 Pakkemasina tutvustus.....	8
2. MODULAARSE LINTKONVEIERI ÜLEVAADE	9
2.1 Turul pakutavad lintkonveierid	9
2.1.1 Mh Modules PL1500 lintkonveier	9
2.1.2 Alfoteci modulaarne lintkonveier.....	10
2.2 Võrdlus teiste konveiersüsteemidega	11
2.2.1 Kettkonveier	11
2.2.2 Rullkonveier	12
3. LINTKONVEIERI PROJEKTEERIMINE.....	13
3.1 Konveieri lähteandmed.....	13
3.2 Konstruktsiooni kirjeldus	14
3.3 Lindi valik.....	14
3.4 Ketirataste valik.....	19
3.5 Võlli valik	20
3.6 Mootori valik	21
3.7 FEM analüüs raamile.....	22
3.7.1 Läbipaine	22
3.7.2 Maksimaalne pinge	23
3.7.3 Ohutustegur	24
3.8 Tulemused	24
4. MAJANDUSLIK OSA	26
KOKKUVÕTE.....	29
SUMMARY	30
VIIDATUD ALLIKAD.....	31
LISAD	33

Lisa 1. Konveierraami koostejoonise esimene leht.....	34
Lisa 2. Konveierraami koostejoonise teine leht	35
Lisa 3. Konveierraami profiil	36
Lisa 4. Konveieri v��ll.....	37
Lisa 5. Konveieri raami tugilatt.....	38

SISSEJUHATUS

Ettevõttes Windak OÜ toodetavatel kaablikerimisliinidel kasutatakse kaubaaluste transportimiseks kahte erinevat tüüpi konveiereid: rullkonveiereid ja kettkonveiereid. Seoses erinevustega kaubaaluste suuruses Euroopa ja USA turul erinevad need konveierid üksteisest nii pikkuselt kui ka laiuselt ja operaatoriohutuse seisukohalt esineb kummalgi erinevaid puudusi. Ettevõttele oleks standardiseerimise ja ohutuse seisukohalt kasulik, kui kerimisliinidel oleks võimalik kasutada ühe kindla laiuselise lintkonveierit, mis toetaks ühtlaselt kaubaalust olenemata selle suurusest ning mis samuti tagaks operaatori ohutuse.

Käesoleva töö eesmärk on Windak OÜ-s toodetavatele kaablikerimisliinidele projekteerida kaubaaluste transportimiseks standardiseeritud lintkonveier ja uurida selle majanduslikku mõju.

Lõputöö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimeses peatükis antakse ülevaade ettevõttest Windak OÜ ja selle klientidest. Samuti tutvustatakse kaablikerimisliini ja pakkemasinat. Töö teises osas antakse lühike ülevaade modulaarsetest lintkonveieritest, kettkonveieritest ja rullkonveieritest. Kolmandas peatükis põhjendatakse konveieri komponentide valikut ning projekteeritakse lintkonveier. Viimases osas tuuakse välja projekteeritud lintkonveieri materjalide koondtabel, leitakse konveieri omahind ning võrreldakse projekteeritud lahenduse maksumust alternatiivsete konveierite maksumustega.

1. WINDAK OÜ ISELOOMUSTUS JA TOODETE TUTVUSTUS

Ettevõtte Windak loodi Rootsis 1994. aastal ning see ettevõtte hakkas tootma kaablite kerimis- ja pakkimismasinaid. Lisateenusena pakub ettevõtte väljaõpet, garantiijärgset hooldust ja varuosade müüki. 2004. aastal loodi Windak OÜ ning kogu tootmine ja arendus koliti Eestisse. Kõige esimese pakkimismasina tellimuse tegi Volvo. Täna on ettevõtte müünud tootmisliine üle maailma koguni kolmekümnes riigis ja peamine turg on Põhja-Ameerika, kuhu tarniti enam kui 80% toodetest. [1], [2]

Windaki seadmed võimaldavad peale ja maha kerida kuni 20 tonniseid kaablipooli ja neid pakendada väiksematele kaablipoolidele või kaablikeradeks ning neid kiletada ja ladustada kaubaalustele täisautomaatselt.

Lisaks kaablipakendamisseadmetele arendatakse Windakis ka voolikute pakendamisseadmeid ja 3D printeri toormaterjali pakendamisseadmeid. [2]

1.1 Ettevõtte kliendid

Windaki kliendid on kaablitootjad, kes soovivad vähendada tööjõukuluseid või soovivad uuendada oma pakendamislaine. Windak on jõudnud kõikidele maailma mandritele. Kliendid on tootmismahade poolest väga erinevad. Näiteks mõnede klientide tootmisliinid töötavad ööpäevaringselt ning need peatatakse vaid kindlal perioodil aastas hoolduse jaoks. Windaki masinad on disainitud silmas pidades iga kliendi eripärasid. Windaki suurimad kliendid on Commscope (USA), Southwire (USA) ja Nexans (Prantsusmaa). [3]

1.2 Liini ülevaade

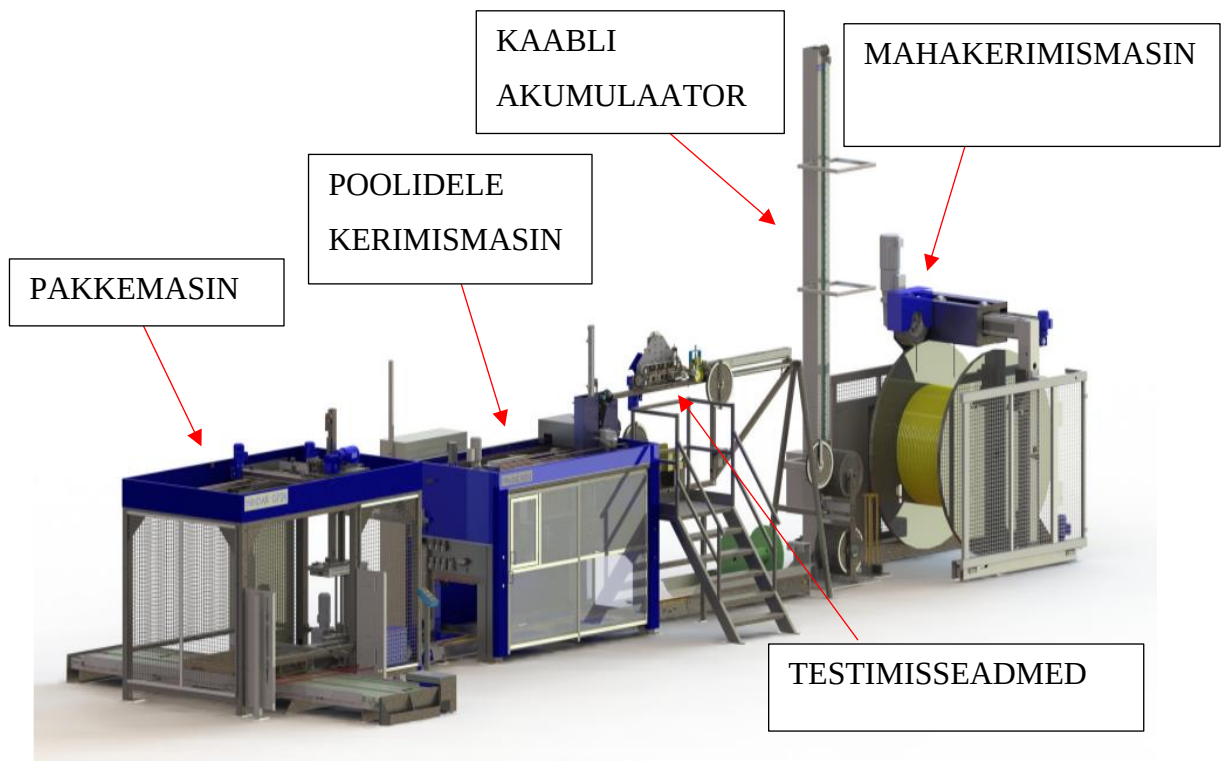
Kaubanduses ollakse harjunud nägema väiksemaid kaablipooli või kilesse pakendatud kaablikerasid, mida on tarbijal mugav osta. Tegelikult on toormaterjal kuni 20 tonni kaaluvate kaablipoolide peal. Windak pakub täisautomaatseid kerimisseadmeid, mis kerivad materjali suurte poolide pealt maha.

Esimese liini osa on mahakerimismasin, mis, nagu nimigi ütleb, kerib kaablipoolide pealt kaablit maha. Mahakerimismasina pealt liigub kaabel akumulaatorisse, mis hoiustab kaablivaru rattapakside peal. Ühel pakil on 10 ratast, millest üks on fikseeritud ja teine liikuv. Mida kõrgemale rattapakki tõuseb, seda suuremat kaablivaru on võimalik sellele talletada. See on vajalik kerimisel tekkivate pauside jaoks.

Näiteks juhul, kui kerimismasinal saab kaablipool täis ja kaabel on vaja läbi lõigata, siis peatatakse korraks kerimine ja akumulaator hakkab kohe kaablit talletama, sest mahakerimismasin ei ole võimeline hetkega seiskuma.

Peale kaabli akumulaatorit liigub kaabel läbi testimisseadmete, kus on näiteks kaabli pikkuse lugeja, isolatsiooni kontrollimise seade, isolatsiooni paksuse kontrollimise seade ja kaablile printimisseade. Kui mõni kontrollseade tuvastab probleemi, siis kaablipool keritakse lõpuni, kuid enne pakkemasinasse jõudmist tõugatakse vigane pool kerimismasinat välja.

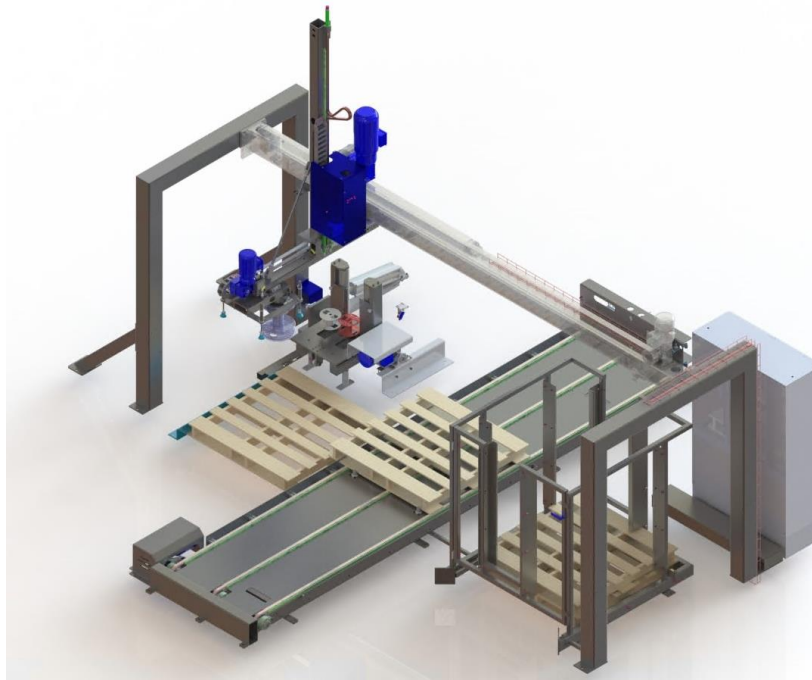
Peale testimisseadmeid liigub kaabel kerimismasinasse, kus kaabel keritakse poolidele või kaablikeradeks, seejärel toode kiletatakse ja edasi liigub toode pakkemasinasse, kus toode ladustatakse kaubaalusele. Joonisel (Joonis 1) on näidatud liini ülevaade.



Joonis 1. Liini ülevaade [4]

1.3 Pakkemasina tutvustus

Kaablikerimismasinast jõuavad kaablipoolid või -pakid kolmeteljelisse pakkimismasinasse, mis on kaablikerimisliini viimane lüli ning see on kujutatud joonisel (Joonis 2). Pakkemasin tõstab akumulaatorist kaubaaluse automaatselt konveierile, kus see tsentreeritakse pneumaatilise stopperiga. Peale kaubaaluse tsentreerimist alustab pakkemasin poolide või pakkide paigutamist kaubaalusele programmi järgi. Kaubaaluse täitumisel liigutab konveier kaubaaluse mahalaadimisalale ning seejärel alustab pakkemasin uut tsükli. Täitunud kaubaalus on kaablikerimisliini lõpptoode.



Joonis 2. Pakkemasin Palletizer GMC-RBR [5]

2. MODULAARSE LINTKONVEIERI ÜLEVAADE

Modulaarne plastiklint töötati algselt välja krevettide töötlemise transportimiseks USA ettevõtte Intraloxi asutaja J. M. Lapyere poolt 1970. aastal. Modulaarne plastiklint on kergesti puhastatav ja seda juhitakse ketirataste poolt, millega elimineeritakse läbilibisemine ja on tagatud joondumine. See asjaolu on ka üheks modulaarse plastiklindi müügiargumendiks. Enimkasutatavad lindimaterjalid on polüetüleen, polüpropüleen ja atsetaaltermoplast. Lindi parandamiseks piisab kruvikeerajast ja välja on võimalik vahetada ainult kahjustunud detaile. [6]

Sellist tüüpi lindil on mitmeid positiivseid omadusi. Modulaarsed plastiklindid on enim tuntud oma vastupidavuse poolest. Plasti vastupidavus muude lindimaterjalide ees annab plastiklintidele eelise ka paljude erinevate võimaluste ees, mis puudutavad kulumiskindlust, kandevõimet ja vastupidavust rasketes keskkondades. Üheks plastiklindi eeliseks on materjali odav hind, lisaks võtab selle paigaldamine vähe aega ja need on kaalult kerged. Näiteks ravimitööstuses või toiduainete töötlemisega tegelevates ettevõtetes, kus steriilsus ja puhtus on üliolulised, on modulaarse plastiklindi suureks eeliseks alternatiivide ees see, et seda on väga kerge puhastada. [6]

Üheks modulaarse plastiklindi negatiivseks omaduseks on, et neid kasutatakse konveieritel üldjuhul kergete koormate transportimiseks ja need ei sobi pikkadel vahemaadel raskete toodete transportimiseks. Lisaks ei ole sellist linti otstarbekas kasutada pulbriliste või lahtiste granuleeritud materjalide transportimiseks, sest väikesed osakesed võivad läbi lindi kukkuda. Kuigi plastiklindi materjal on odav, siis võib sellist tüüpi lint olla alternatiividest kallim, sest selle tootmisega kaasnevad kõrged tööjõukulud. [6]

2.1 Turul pakutavad lintkonveierid

Et aru saada, kas lintkonveieri projekteerimine ja tootmine ettevõttes sees on üldse otstarbekas, tuleb analüüsida erinevaid valmislahendusi teiste ettevõtete poolt.

2.1.1 Mh Modules PL1500 lintkonveier

Tootja MH Modules pakutav lintkonveier PL1500, näidatud joonisel (Joonis 3), on mõeldud taluma koormuseid kuni 1500kg. Tootja pakub ka erinevaid rihmalahendusi vastavalt tööstusele või keskkonnale, näiteks: toiduainetööstus, külm või kuum keskkond. [7]

See konveier sobiks ka Windaki pakkemasinale, kuid selle konveieri suureks miinuseks on kõrge hind ja pikk tarneaeg, kuni 7 kuud.



Joonis 3. MH Modules lintkonveier PL1500 [7]

2.1.2 Alfoteci modulaarne lintkonveier

Alfotec-i konveier on modulaarne ning tootja lubab konfigurereida konveierit ka vastavalt erivajadustele.

Konveieril ei ole vaja pinguteid tänu veosüsteemile. Konveierit on võimalik tellida pikkusega kuni 6 m ja laiussega kuni 2,3 m. Konveieri spetsifikatsioonis on välja toodud, et koormus lindile võib olla kuni 1000 kg, mis kahjuks ei ole sobilik kasutamaks Windaki pakkemasinaga, sest kaubaalused koos tootega kaaluvad 1500 kg. [8]



Joonis 4. Alfotec-i lintkonveier [8]

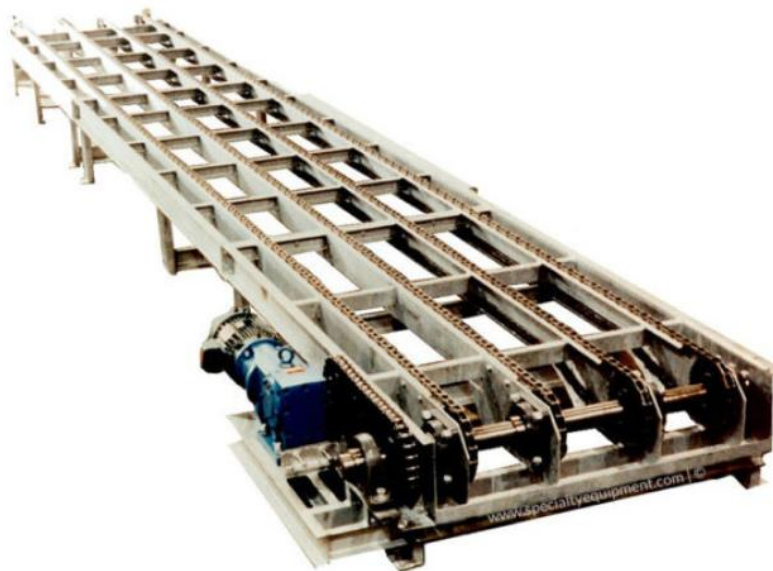
2.2 Võrdlus teiste konveiersüsteemidega

Windakis kasutatakse hetkel kaubaaluste transportimiseks kahte liiki konveiereid: kettkonveiereid ja rullkonveiereid. Mõlemal konveiersüsteemil esineb nii eeliseid kui ka erinevaid puudusi, mis soodustavad modulaarse lintkonveieri kasutuselevõttu.

2.2.1 Kettkonveier

Kettkonveierites kasutatakse toodete liigutamiseks ketti ja see on mõeldud eelkõige raskete toodete transportimiseks. Tänu tugevale konstruktsioonile on kettkonveierid võimelised transportima ka suure massiga tooteid. [9]

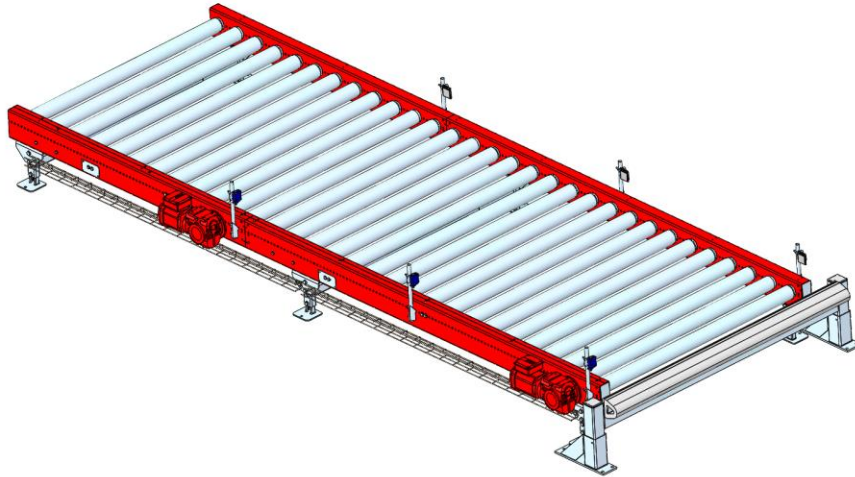
Kettkonveierid on väga töökindlad, lihtsa ehitusega ning odavad, kuid kettkonveier on pakkimismasinale vaja projekteerida vastavalt kliendi tehases kasutatavatele kaubaalustele. Olenevalt kaubaalusest peavad tugiraamid olema kohakuti kaubaaluse tugipindadega, vastasel korral võib kaubaalus puruneda. Kettkonveieril puudub paindlikus. Näiteks juhul, kui klient sooviks kasutusele võtta teistsuguse kaubaaluse, mis ei ole ettenähtud kasutamiseks projekteeritud konveieriga, siis ei oleks tal seda võimalik teha.



Joonis 5. Kettkonveier [10]

2.2.2 Rullkonveier

Rullkonveieri põhielemendiks on paralleelsed laagrite peal rullikud, mis on kinnitatud konstruktsiooni vahele. Rullkonveier transpordib tooteid gravitatsiooni või mehaanilisel jõul. Rullkonveieri puhul on oluline rulliku diameeter, sellest oleneb materjali voog ja efektiivsus. Rullkonveierit kasutatakse peamiselt materjali käitlemiseks, näiteks laadimispunktides, pagasi käitlemises või seeriatootmistes. [11]



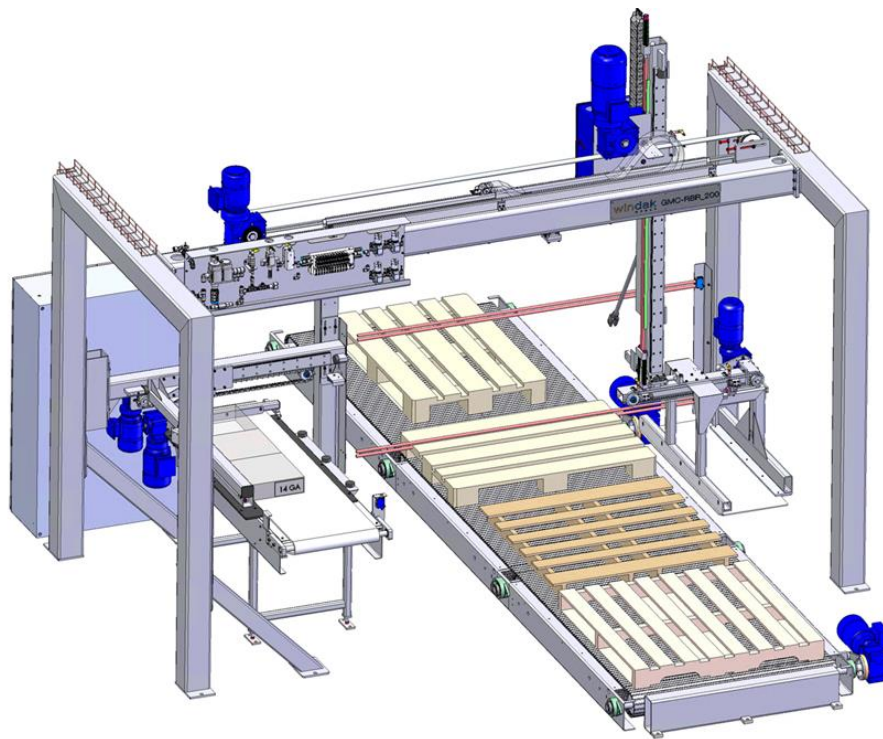
Joonis 6. Rullkonveier [12]

Suurimaks puuduseks rullkonveieri puhul on selle hind ja ohutus. Operaatoril ei ole võimalik selle peale astuda, kuna rullikute peal kõndides on suur kukkumisoht, mille tõttu tuleb jätta konveieri kõrvale rohkem ruumi käiguteede jaoks. Alati ei ole see võimalik, sest kliendi tehase pind võib olla väga väike.

3. LINTKONVEIERI PROJEKTEERIMINE

Töö eesmärk on projekteerida Windaki kaaablikerimisliini pakkemasinale lintkonveier kaubaaluste transportimiseks. Projekteerimise käigus tuli komponentide sobivus kindlaks määrata arvutuste teel. Konveier projekteeriti tarkvara SolidWorks 2022 abil ning kõik arvutused teostati modulaarsete plastiklintide tootja Intralox juhendi järgi.

Lintkonveieri eskiis on näidatud joonisel (Joonis 7) ning sellel on ka näha konveieri paiknemist pakkemasina suhtes. Lisaks on joonisel näidatud erineva suurustega aluste paiknemist konveieril.



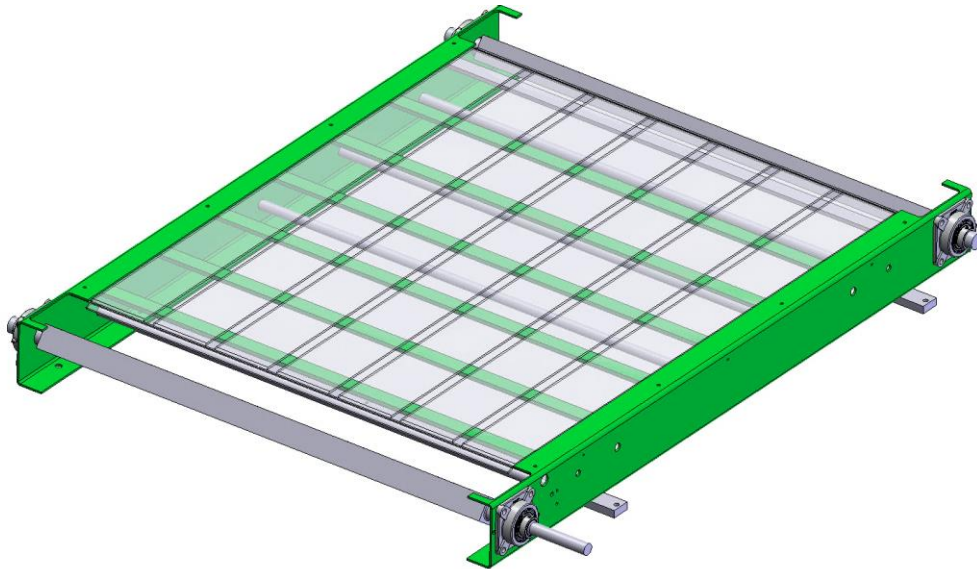
Joonis 7. Projekteeritud lintkonveieri eskiis

3.1 Konveieri lähteandmed

Lintkonveieri projekteerimise esimesel etapil tuleb määrata kindlaks lähteandmed, millele konveier peab vastama. Konveieri pikkus peab olema 1850 mm. Konveieri joonkiirus peab olema 9 m/min. Konveieri kõrgus ei tohi ületada 300 mm, vastasel korral väheneb pakkemasina ladustamiskõrgus. Konveieri peal kasutatakse kõige enam kaubaaluseid suurusega 800x1200 mm ($S = 0,96 \text{ m}^2$) ja 1200x1200 mm ($S = 1,44 \text{ m}^2$), mis koos tootega kaaluvad kuni 1500 kg.

3.2 Konstruktsiooni kirjeldus

Konveieri lähteandmetest lähtuvalt on võimalik põhikonstruktsiooni materjalina kasutada U-profiili 170x70x5 mm. U-profiili vahele tuleb poldida 20x20x1350 mm tugiladid, mille eesmärk on toetada konveieri linti. Raam, mis on näha joonisel (Joonis 8), kinnitatakse ankrupoltidega betoonpõrandasse.



Joonis 8. Konveieri raam

3.3 Lindi valik

Lint valiti Intraloxi kataloogist, mille järgi osutus sobivaimaks lindiks S4500 Flat Top Heavy Duty. Lindi materjaliks valiti polüpropüleen. Lint talub 4316 kg raskust meetri kohta, mis on antud konveieri projekteerimiseks sobilik. Polüpropüleen on väga universaalne lindimaterjal ning sellel on hea tasakaal tugevuse ja kerge massi vahel. Näiteks samast seeriast lint, mille materjaliks on atsetaal, talub 6548 kg raskust meetri kohta, kuid selle mass on samuti oluliselt suurem kui polüpropüleenist lindi mass – 14,96 kg/m². [13]

Lindi tehnilised omadused [13]:

- Lindi tugevus: 4316 kg/m;
- Lindi paksus: 15,9 mm;
- Mass: 9,62 kg/m².

Lindi valikul lähtuti transporditava kaubaaluse pindalast ja massist. Enimkasutatavate kaubaaluste pindalad on 0,96 m² ja 1,44 m² ning aluste mass on 1500 kg. Nende andmete järgi tuleb leida mõlema aluse massid ühe ruutmeetri kohta valemi (1) abil [13]:

$$M = \frac{M_{alus}}{S_{alus}}, \quad (1)$$

kus M – aluse mass ühe ruutmeetri kohta, kg/m²;

S_{alus} – aluse pindala, m²;

M_{alus} – aluse mass, kg.

Vastavalt valemile (1) leiti väiksema pindalaga aluse mass ruutmeetri kohta:

$$M = \frac{1500}{0,96} = 1562,5 \text{ kg/m}^2.$$

Sama valemi abil arvutati suurema pindalaga aluse mass ruutmeetri kohta:

$$M = \frac{1500}{1,44} = 1041,7 \text{ kg/m}^2.$$

Kuna väiksema pindalaga aluse mass on ühe ruutmeetri kohta suurem, siis arvestatakse edasistes arvutustes ainult selle aluse massiga, sest konveier peab suutma taluda kõige suuremat raskust, mis sellele mõjub.

Seejärel tuleb välja selgitada, kas valitud lint projekteeritavale konveierile sobib. Esmalt tuleb leida lindi pingus, mida on võimalik arvutada valemiga (2) [13]:

$$BP = (M + 2 * W) * F_W * L, \quad (2)$$

kus BP – lindi pingus, kg/m;

M – aluse mass ruutmeetri kohta, kg/m²;

W – lindi mass ruutmeetri kohta, kg/m²;

F_W – lindi ja liugpinna vaheline hõõrdetegur;

L – konveieri pikkus, m.

Lindi ja liugpinnavahelise hõõrdeteguri F_w väärtuseks valiti 0,13 Intraloxi juhendist arvestades, et ligupinna materjaliks on UHMW-PE. [13]

Vastavalt valemile (2) arvutati lindi pingus:

$$BP = (1562,5 + 2 * 9,62) * 0,13 * 1,85 = 380,41 \text{ kg/m.}$$

Järgmisena tuleb valemi (3) abil leida tegelik lindi pingus, mis võtab arvesse erinevaid töötingimusi ja konveieri kahesuunalist töötamist, kus reverseeriva suuna rihmapinge on kõrge. [13]

$$ABP = BP * SF * 2,2, \quad (3)$$

kus ABP – tegelik lindi pingus, kg/m;

SF – summeeritud teenindustegur.

Erinevad teenindustegurid on kantud tabelisse (Tabel 1). Summeeritud teenindusteguri leidmiseks ja tegeliku pinguse arvutamiseks tuleb erinevad tegurid, mis projekteeritava konveieri puhul kehtivad, omavahel liita.

Tabel 1. Konveieri teenindustegurid [13]

Nr	Töötingimus	Tegur
1	Käivitub ilma koormuseta, koormus lisatakse järk-järgult	1,0
2	Sagedased käivitused koormatud olekus (rohkem kui üks kord tunnis)	0,2
3	Töötamine kiirustel üle 30 m/min	0,2
4	Elevaator	0,4
5	Reverseeritav konveier	0,2

Projekteeritavale konveierile kohalduvad teenindustegurid nr 1, 2 ja 5, ehk summeeritud teenindusteguriks SF kujuneb 1,4.

Vastavalt valemile (3) arvutati tegelik pingus lindile:

$$ABP = 380,41 * 1,4 * 2,2 = 1171,66 \text{ kg/m.}$$

Seejärel tuleb leida maksimaalne lubatud lindi pingus. See leitakse valemiga (4) [13]:

$$ABS = BS * T * S, \quad (4)$$

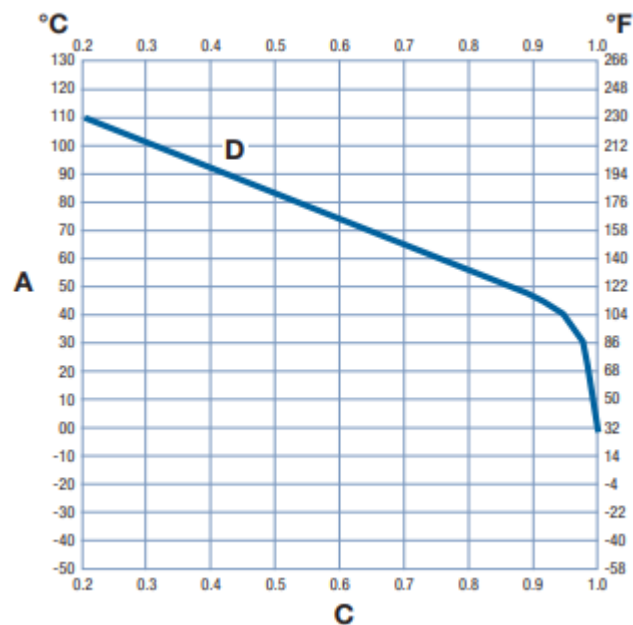
kus ABS – maksimaalne lubatud lindi pingus, kg/m;

BS – lindi tugevus, kg/m;

T – temperatuuritegur;

S – tugevustegur.

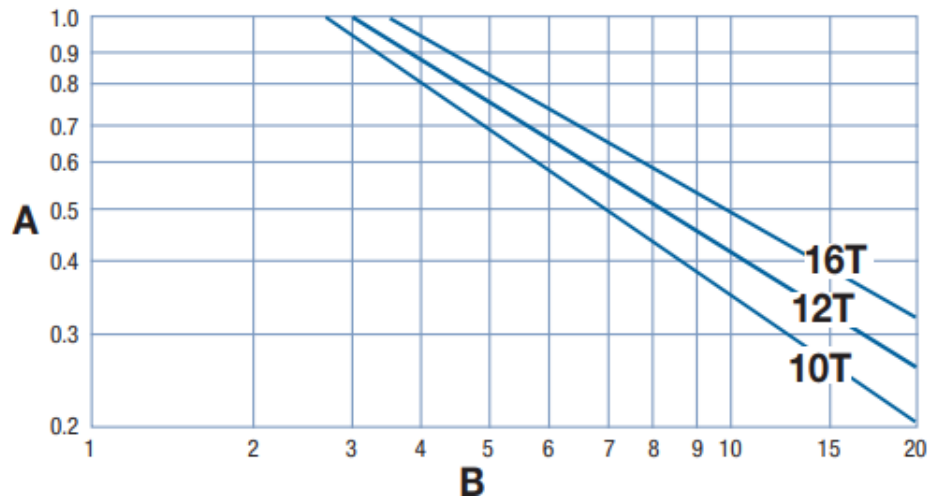
Temperatuuritegur T leitakse käsitsi jooniselt (Joonis 9).



Joonis 9. Polüpropüleenist lindi temperatuuriteguri sõltuvus temperatuurist, kus: A – lindi temperatuur konveieri ajami läheduses; C – temperatuuritegur; D – polüpropüleen temperatuuriteguri kõver [13]

Eeldades, et lindi temperatuur ajami läheduses tõuseb kuni 60 °C-ni, võeti temperatuuriteguriks 0,75.

Lindi kulumismäär on võrdeline lindi joonkiirusega, kuid pöördvõrdeline konveieri pikkusega ning see avaldub valemis (4) tugevustegurina S [13]. See leitakse samuti käsitsi jooniselt (Joonis 10).



Joonis 10. Lindi tugevusteguri (A) sõltuvus konveieri kiiruse ning võlli tsentrite vahekauguse suhtest (B) [13]

Kuna hammasrataste hammaste arv on 10, siis tuleb lindi tugevustegur leida joone 10T järgi.

Konveieri kiiruse ja võlli tsentrite vahekauguse suhe B on leitav valemi (5) abil [13]:

$$B = \frac{V}{L}, \quad (5)$$

kus B – konveieri kiiruse ja võlli tsentrite vahekauguse suhe;

V – konveieri kiirus, m/min;

L – võlli tsentrite vahekaugus, m.

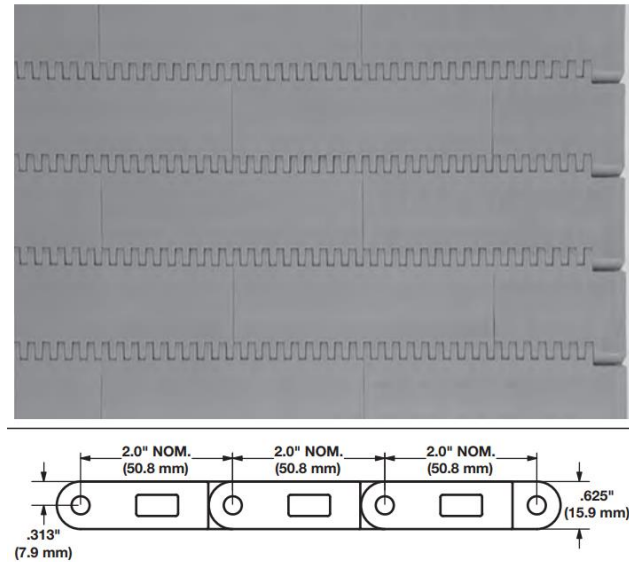
Konveieri kiiruse ja võlli tsentrite vahekauguse suhe on:

$$B = \frac{9}{1,67} = 5,4.$$

Jooniselt (Joonis 10) on näha, et suhtele 5,4 vastab tugevustegur 0,65. Järgnevalt arvutatakse maksimaalne lubatud lindi pingus vastavalt valemile (4):

$$ABS = 4316 * 0,75 * 0,65 = 2104,05 \text{ kg/m}.$$

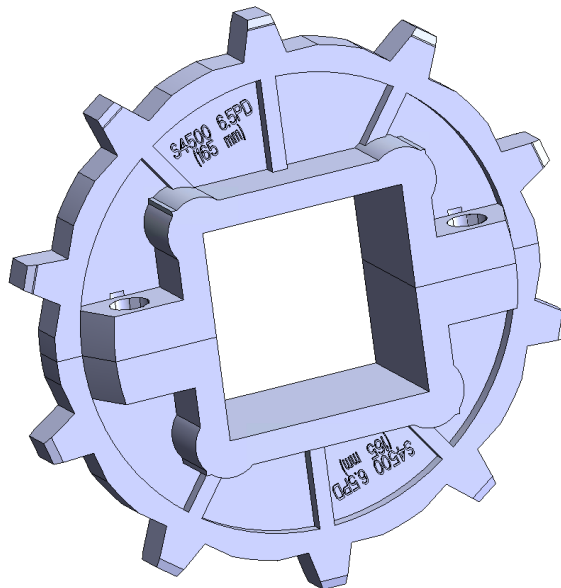
Kuna lindi tegelik pingus ABP on väiksem kui lindi maksimaalne lubatud pingus ABS , saab valitud lindi lugeda projekteeritavale konveierile sobivaks.



Joonis 11. Lint Intralox 4500 Flat Top Polypropylene [13]

3.4 Ketirataste valik

Ketirataste valiku määras ära lindi seeria, milleks on 4500. Kõige sobilikum ketiratas tooteseerias on *Enduralox Polypropylene Composite Split Sprockets* ning sellel on 10 hammast. Intraloxi juhendi järgi peab 1200 mm laiuse lindi puhul olema minimaalne ketirataste arv ühel võllil 9. [13]



Joonis 12. Intralox S4500 ketiratas [13]

3.5 Võlli valik

Konveieri veovõlliks on täismaterjalist nelikantprofiil, mis on mõõtmatega 60x60x1650 mm.

Võlli andmed:

- Võlli mass $M_{võll} = 33$ kg
- Võlli pikkus $L_{võll} = 1,65$ m.

Veovõlli puhul tuleb analüüsida kahte olulist tingimust enne, kui on võimalik kindel olla veovõlli sobivuses. Esimeseks tingimuseks on veovõlli vastupidavus rihma tõmbele aktsepteeritava läbipaindega ja selle võimekuses edasi kanda vajalikku väänet veoajami poolt. Vajalik on dimensioneerida veovõlli mõõdnud nii, et oleks võimalik kasutada lindiseeria kataloogist valitud hammasratast. Eeldatakse, et võllile mõjuvad jõud on tasapinnalised ja neid saab kombineerida võlli kogukoormuseks. [13]

Võllile mõjuv koormus tuleb arvutada valemiga (6) [13]:

$$w = (ABP + Q) * B, \quad (6)$$

kus w – võllile mõjuv koormus, kg;

Q – võlli mass meetri kohta, kg/m;

B – lindi laius, m;

ABP – tegelik lindi pingus, kg/m.

Võlli mass meetri kohta on leitav võlli massi ja pikkuse suhtena, ning see avaldub valemi (7) kujul:

$$Q = \frac{M_{võll}}{L_{võll}}, \quad (7)$$

Valemi (6) järgi leiti võllile mõjuv koormus:

$$w = \left(1171,66 + \frac{33}{1,65} \right) * 1,2 = 1430 \text{ kg.}$$

Veendumaks võlli sobivuses, tuleb leida võlli läbipaine. Läbipainde arvutamiseks on eelnevalt arvutatud võllile mõjuv koormus. Võlli läbipaine D (mm) on arvutatav valemiga (8) [13]:

$$D = \frac{5}{384} * \frac{w * L_{võll}^3}{E * I}, \quad (8)$$

kus w – võllile mõjuv koormus, kg;

$L_{võll}$ – võlli pikkus, mm;

E – elastsusmoodul, kg/mm²;

I – inertsimoment, mm⁴.

Elastsusmoodul ja inertsimoment on leitavad tabelist (Tabel 2).

Tabel 2. Elastsusmooduli ja inertsimomendi andmed [13]

Võlli läbimõõt, mm	Elastsusmoodul, kg/mm ²	Inertsimoment, mm ⁴
60	21400	1080000

Vastavalt valemile (8) leiti võlli läbipaine:

$$D = \frac{5}{384} * \frac{1430 * 1650^3}{21400 * 1080000} = 1,98 \text{ mm.}$$

Intraloxi juhendi järgi võib reverseeritava konveieri võlli läbipaine olla maksimaalselt 5,6 mm, seega saab järeldada, et valitud võll sobib projekteeritavale konveierile. [13]

3.6 Mootori valik

Mootori valimiseks on vaja leida koormatud konveieri töötamiseks vajalik võimsus. Mootori võimsuse leidmisel eeldatakse, et ülekandes tekkivateks kadudeks on 15% ning see arvutatakse valemiga (9) [13]:

$$P = \frac{ABP * B * V}{6,12 * (1 - 0,15)}, \quad (9)$$

kus P – mootori võimsus, kW;

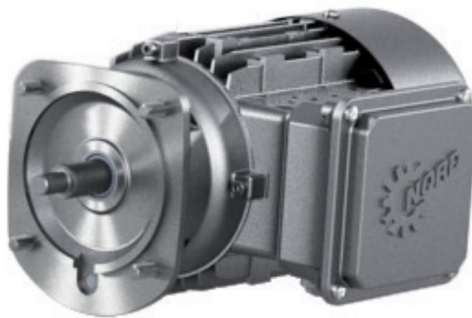
B – lindi laius, m;

V – lindi joonkiirus, m/min.

Seega on vajamineva mootori võimsuseks:

$$P = \frac{1171,66 * 1,2 * 9}{6,12 * (1 - 0,15)} = 2,43 \text{ kW}.$$

Kuna Windakis kasutatakse masinatel põhiliselt ainult Nordi mootoreid, siis standardiseerimise eesmärkidel valiti ka projekteeritud konveierile Nordi kataloogist mootor, mis on lähim arvutatud võimsusele 2,43 kW. Lähima võimsusega mootoriks kataloogi järgi on SK 9022.1VF - 100AP/4 TF, mille võimsuseks on 3 kW.



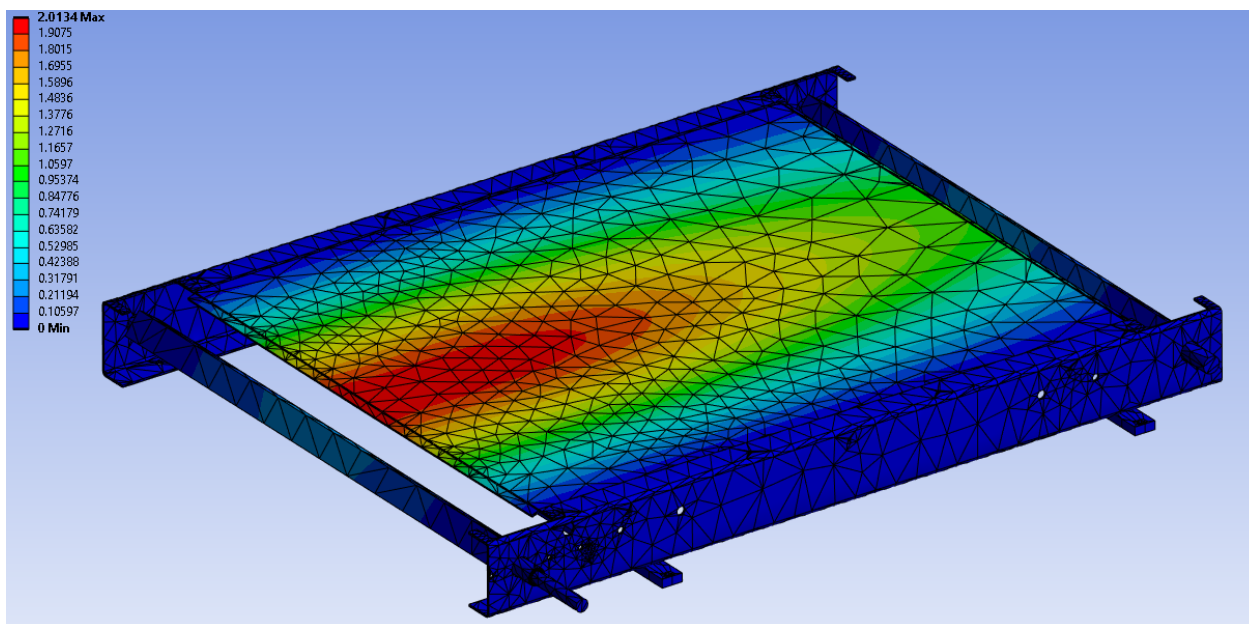
Joonis 13 Mootor Nord SK 9022.1VF - 100AP/4 TF [14]

3.7 FEM analüüs raamile

Raami sobivuse valideerimiseks tuleb analüüsida raamile mõjuvat pinget ja läbipainet. Selleks kasutati tarkvara Ansys. Raami materjaliks on valitud S355, mille voolavuspiir on 355 MPa ning seda ei tohi ületada. Jõud, mis raamile mõjub, on 14709 N.

3.7.1 Läbipaine

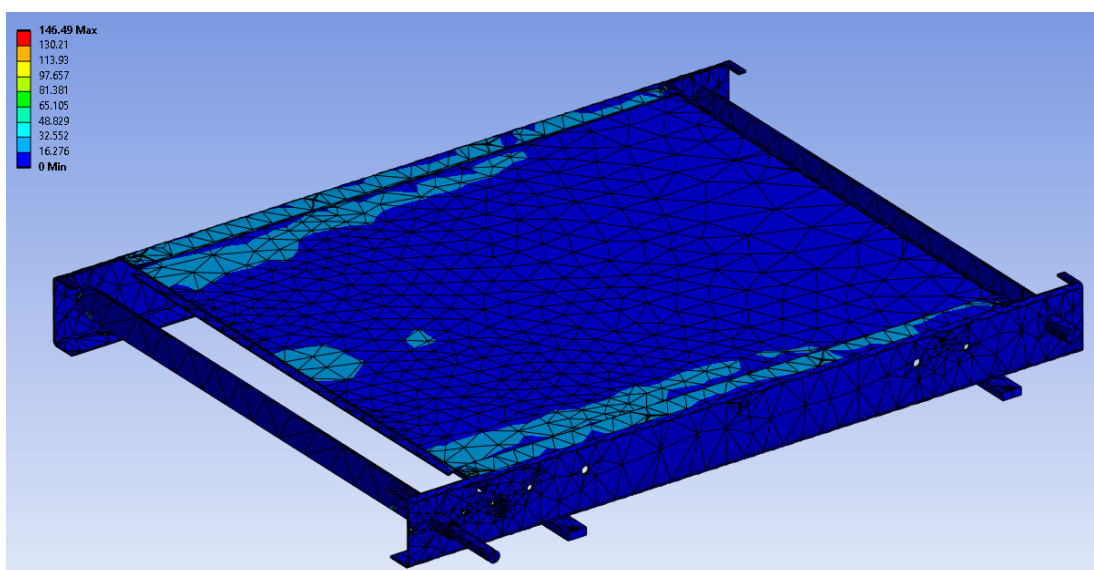
Joonisel (Joonis 14) on kuvatud raami läbipaine, mis kõige kriitilisemas punktis on 2 mm. Sellest tulemusest võib järeldada, et raam on piisavalt jäik, et taluda sellele mõjuvat koormust.



Joonis 14. Raami läbipaine analüüs

3.7.2 Maksimaalne pinge

Joonisel (Joonis 15) on kuvatud raamile mõjuvat maksimaalset pinget, mis on 146,49 MPa. Tulemus jääb alla lubatud maksimaalse voolavuspiiri ning võib järeldada, et konstruktsioonile püsivat deformatsiooni ei teki.



Joonis 15. Raami pinge analüüs

3.7.3 Ohutustegur

Konveiersüsteemi projekteerides on arvestatud minimaalse ohutusteguriga 2. Ohutusteguri leidmiseks tuleb kasutada valemit (10) [15]:

$$S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}}, \quad (10)$$

kus S – ohutustegur;

σ_y – materjali voolavuspiir, MPa;

σ_{max} – suurim normaalpinge, MPa.

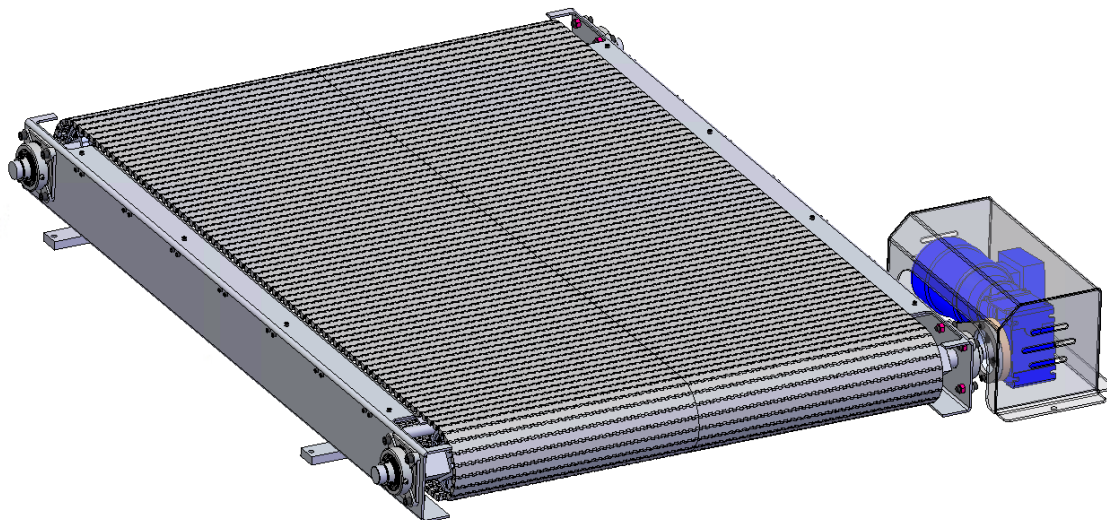
Valemi (10) järgi arvutati ohutustegur:

$$\frac{355}{146,49} = 2,42$$

Arvutuse tulemusest järeldub, et konstruktsioon on 2,4 kordse ohutustegur.

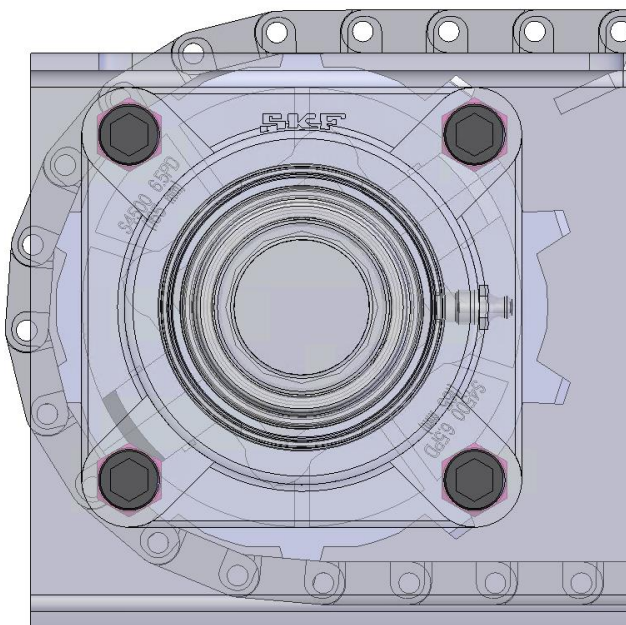
3.8 Tulemused

Eeltoodud arvutuste ja analüüsi tulemusena projekteeriti modulaarse plastiklindiga lintkonveier, mis on näidatud joonisel (Joonis 16). Konveieri raam toetab kuni 1200x1200 mm mõõtmetega kaubaalust ühtlaselt ning maksimaalne lubatud kaubaaluse mass on 1500 kg. Konveieri kõrgus on 190mm, tänu millele ei ole vaja olemasolevaid pakkemasinaid ümber ehitada ja see sobib kasutamiseks kõikide pakkemasinate konfiguratsioonidega.



Joonis 16. Projekteeritud konveier

Joonisel (Joonis 17) on kujutatud hammasrataste hambumist modulaarse plastiklindiga, kus on tagatud pidev vedu lindiga ja läbilibisemine on välistatud. Samuti ei ole probleemiks ka joondumine, sest hammasrattad haakuvad lindilülide vahele.



Joonis 17. Ketiratas hambuvuses lindiga

4. MAJANDUSLIK OSA

Et välja selgitada projekteeritud konveieri maksumus, tuleb analüüsida konveiersüsteemile tehtavaid kulusi. Tabelisse (Tabel 3) on välja toodud projekteeritud konveieri materjalide tükitabel ja detailide maksumus.

Tabel 3. Materjalide tükitabel ja detailide maksumus

Rida	Detaili nimetus	Kogus	Ühik	Hind, €	Summa, €
1	Konveieri raam P.Pool	1	tk	118	118
2	Konveieri raam V.Pool	1	tk	118	118
3	Pearaami aluslatt	2	tk	42	84
4	Vabajooksu rullikud	4	tk	170	680
5	Veovõll	1	tk	261	261
6	Vabajooksuvõll	1	tk	242	242
7	Intralox hammasrattad	18	tk	38	684
8	Käigukast	1	tk	281	281
9	Flants	1	tk	15	15
10	Mootor,Flants	1	tk	452	452
11	Distantstrõngas	1	tk	32	32
12	Mootori väändetugi	1	tk	9	9
13	Toeplaat	1	tk	27	27
14	Positsiooniandur	1	tk	110	110
15	Intralox Lint M4500	3,6	m	245	882
16	Mootori kate	1	tk	144	144
17	Kaablirenn	1	tk	14	14
18	Katteplaat	1	tk	149	149
19	Tugilatid	7	tk	62	434
				Kokku	4 736

Materjalide tükitabelist selgub, et detailide kogumaksumuseks kujuneb 4 736 €. Tabelis (Tabel 4) on näidatud konveieri projekteerimiseks, komplekteerimiseks ja koostamiseks vajalikud töölised, nende tööaeg ja tööaja tasu.

Tabel 4. Töötajate töötasu ja tööaeg

Tööline	Tunnitasu, €	Tööaeg, h	Summa, €
Projekteerija	20	68	1 360
Laotöötaja	12	1,2	14,4
Koostelukksepp	15	8	120
Kokku			1 554,4

Tööjõukuludeks kujuneb ligikaudu 1 554 €. Detailide maksumusest ja tööjõukuludest kujuneb esimese projekteeritud lintkonveieri summaks ligikaudu 6 290 €.

Järgnevalt tuleb võrrelda projekteeritud lahenduse maksumust ja valmiskonveieri soetamiskulu.

Tabelis (Tabel 5) on välja toodud erinevate konveierite maksumused. Projekteeritud konveieri omahinnast jäetakse edaspidi välja projekteerija kulu, sest see teenitakse tasa esimese müüdü konveieriga ja tabelis (Tabel 5) on näidatud omahind alates teisest müüdü konveierist. Konveieri omahind sisaldab tööjõu püsikulusid, milleks on laotöötaja tööaja kulu detailide komplekteerimisel ja koostelukksepa ajakulu konveieri mehaanilise osa koostamisel. Seega kujuneb projekteeritud lintkonveieri omahinnaks:

$$4\,736 + 14,4 + 120 = 4\,870,4 \text{ €}.$$

MH Modules konveierite omahind ja müügihind on ligikaudsed ning nende maksumuse info pärineb hinnapakumistest.

Tabel 5. Konveierite maksumuste võrdlus [12]

Toode	Omahind, €	Müügihind, €	Kasum, €
Projekteeritud lintkonveier	4 870	16 000	11 131
MH Modules rullkonveier	6 500	12 000	5 500
MH Modules lintkonveier	11 000	18 000	7 000

Tabelist (Tabel 5) selgub, et majanduslikult otstarbekam on lintkonveier ise valmistada, sest lintkonveieri omahinnaks kujunes 4 870 € ning selle müügist on võimalik teenida kasumit 11 360 €. Kui lintkonveier osta ostutootena, siis oleks selle soetamismaksumus ligikaudu 18 000 €, mis on umbes 3,7 korda suurem projekteeritud lintkonveieri omahinnast.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk oli projekteerida standardiseeritud lintkonveier ettevõttes Windak OÜ toodetavatele kaablikerimisliinidele ja uurida selle majanduslikku mõju. Lintkonveieri projekteerimise vajadus tekkis erinevustest USA-s ja Euroopas kasutatavate kaubaluste suuruste vahel ning konveiersüsteemide kõrgetest sisseostuhindadest, mis ei olnud ettevõttele majanduslikult kasumlikud. Lisaks ei ole hetkel kasutatavate rull- ja kettkonveieritega võimalik klientidele paindlikku lahendust pakkuda.

Lõputöö tulemusena projekteeriti pakkemasinale kaubaaluste transportimiseks lintkonveier. Konveieri projekteerimiseks disainiti sellele raam, pidades silmas olemasolevaid konveiereid, et selle välimus oleks võimalikult sarnane hetkel kasutusel olevate konveiersüsteemidega. Lisaks tuli sellele valida lint, leida sobivad ketirattad, völli ja mootor. Raami sobivuse valideerimiseks teostati sellele FEM-analüüs, mille tulemusena selgus, et raam on piisavalt jäik, et taluda sellele mõjuvat koormust ning püsivat deformatsiooni konstruktsioonile ei teki.

Detailide maksumuse ja tööjõukulude põhjal kujunes projekteeritud lintkonveieri omahinnaks 4 870 €. Selgus, et lintkonveierit on majanduslikult otstarbekam ettevõttel endal valmistada, sest ostutoote soetamismaksumus on ligikaudu 18 000 € ning projekteeritud lintkonveieri müügist on võimalik üle 10 000 € kasumit teenida.

Võib järeldada, et töö eesmärk on täidetud, sest projekteeritud lintkonveierit on võimalik olemasolevates pakkemasinates erinevate suurustega kaubaaluste transportimiseks kasutada ja lahendus osutus majanduslikult otstarbekaks.

SUMMARY

The aim of this final thesis *Design of Belt Conveyor System for Pallets* was to design a standardized belt conveyor for the cable winding lines produced by Windak OÜ and to analyze its economic impact. The need for designing a belt conveyor arose from differences in the sizes of pallets used in the USA and Europe, as well as the high purchase prices of conveyor systems, which were not economically profitable for the company. In addition, the currently used roller and chain conveyors do not provide flexible solutions for customers.

As a result of this thesis, a belt conveyor was designed for transporting pallets to be used in the Windak packaging machines. A frame was designed for the conveyor, considering the existing conveyors so that its appearance would be as similar as possible to the currently used conveyor systems. In addition, the belt had to be chosen and the correct sprockets, shaft, and motor had to be found. To validate the suitability of the frame, FEM analysis was performed, which showed that the frame is rigid enough to withstand the load and the structure of the conveyor did not experience any permanent deformation.

Based on the cost of details and labor, the price of the designed belt conveyor was determined to be 4,870 €. It was found that it is economically more profitable for the company to manufacture the belt conveyor in-house, as the purchase cost of a ready-made product is approximately €18,000 and it is possible to make a profit of over €10,000 from the sale of the designed belt conveyor.

It can be concluded that the aim of the thesis has been fulfilled, as the designed belt conveyor can be used for transporting pallets of different sizes in existing packaging machines, and the solution proved to be economically profitable.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Windak Group, „About Windak,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.windakgroup.com/company/about-windak/>. [Kasutatud 11 03 2023].
- [2] Windak OÜ, „2021. a. majandusaasta aruanne,“ Tallinn, 2022.
- [3] R. Kullerkupp, „Relocation and Layout Optimisation of Windak OÜ Factory,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2020.
- [4] Windak Group, „AUTOREELER AR24_2.0,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.windakgroup.com/product/autoreeler-ar24-d-2/>. [Kasutatud 23 04 2023].
- [5] Windak Group, „PALLETIZERS PX8,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.windakgroup.com/product/palletizers-px8-2/>. [Kasutatud 23 04 2023].
- [6] B2E Automation, „Modular Plastic Belt Conveyors: Pros, Cons, and Top Alternatives,“ 2022.04 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.b2eautomation.com/insights/modular-plastic-belt-conveyors-pros-cons-and-top-alternatives>. [Kasutatud 29 04 2023].
- [7] MH Modules, „PL1500 – Lamelltransportörer,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mhmodules.com/l-large-for-upp-till-1500-kgm/pl1500-lamelltransportorer/>. [Kasutatud 25 03 2023].
- [8] Alfotec, „Plastic modular belt conveyor,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.alfotec.com/en/conveyor-elements/conveyor-technology-overview/plastic-modular-belt-conveyor/>. [Kasutatud 25 03 2023].
- [9] PS&MS Industrial Services, „Chain conveyors,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://psams.pl/machinery-engineering-department/conveyor-systems/chain-conveyors/?lang=en>. [Kasutatud 05 05 2023].

- [10] Specialty Equipment, „Chain Conveyors for Heavy Loads,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://specialtyequipment.com/product/chain-conveyors-heavy-loads/>. [Kasutatud 05 05 2023].
- [11] M. Soom, „Lintkonveieri projekteerimine,“ Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, 2019.
- [12] Windak OÜ sisevõrk, 2023.
- [13] Intralox, „2023 Engineering Manual. Modular Plastic Belts,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://assets-us-01.kc-usercontent.com/19eb64b5-1815-003a-d268-e7109927ccad/2086a0e3-1178-4bc0-9043-cd512bfc9253/5012156.1_2023%20MPB%20Engineering%20Manual_EN-US.pdf#page=528&zoom=100,0,93. [Kasutatud 22 03 2023].
- [14] Nord Drivesystems, „Projects,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://shop.nord.com/EE-en/mynord/projectlist#/configurator/3ad2ad25-d425-4367-9b82-4efb5b029102>. [Kasutatud 01 05 2023].
- [15] P. Põdra, „PAINE-STAATIKAGA MÄÄRAMATU: Lubatav koormus,“ 14 09 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.slideserve.com/gagan/tugevus-petus>. [Kasutatud 30 04 2023].

LISAD

Lisa 1. Konveierraami koostejoonise esimene leht

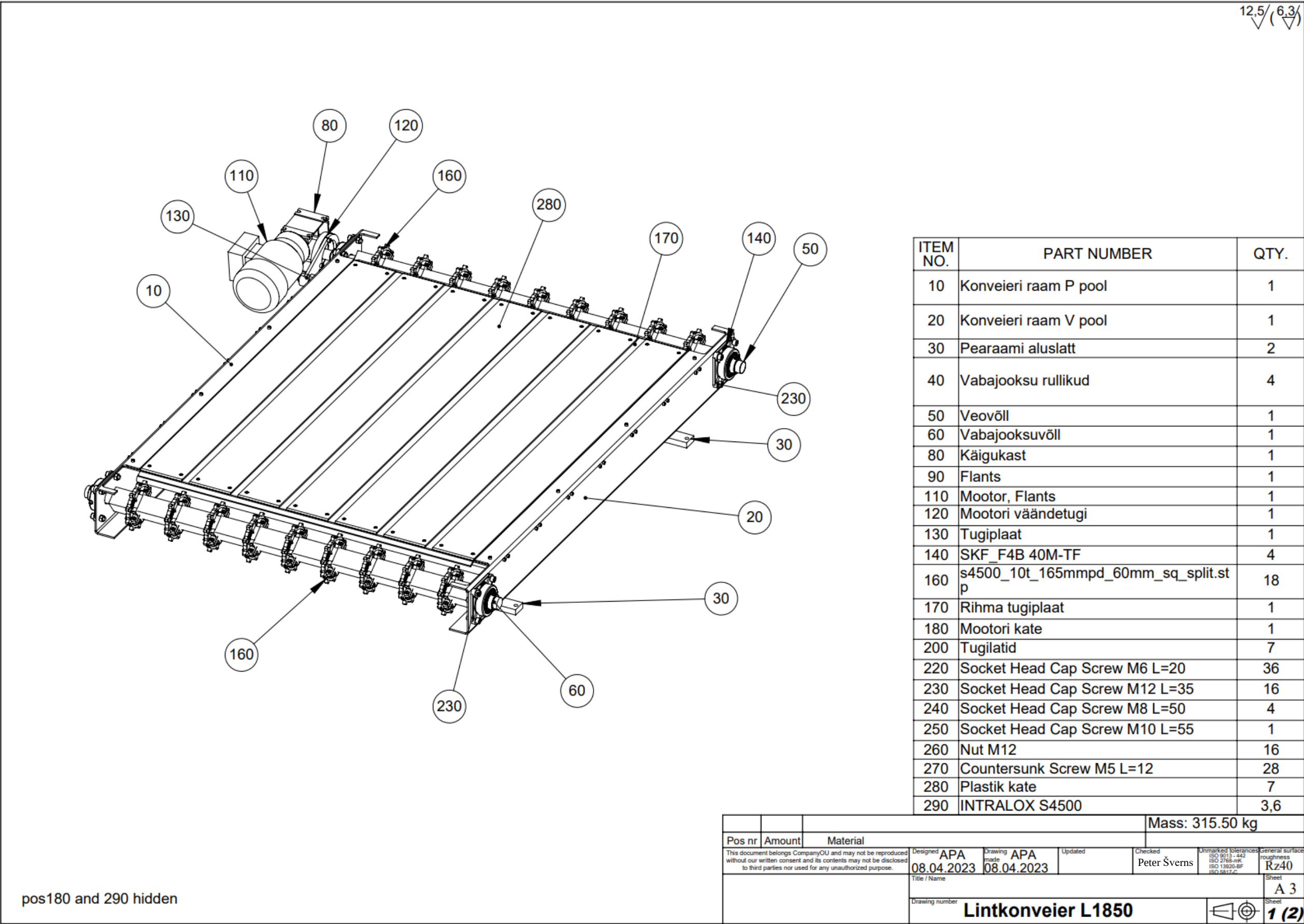
Lisa 2. Konveierraami koostejoonise teine leht

Lisa 3. Konveierraami profiil

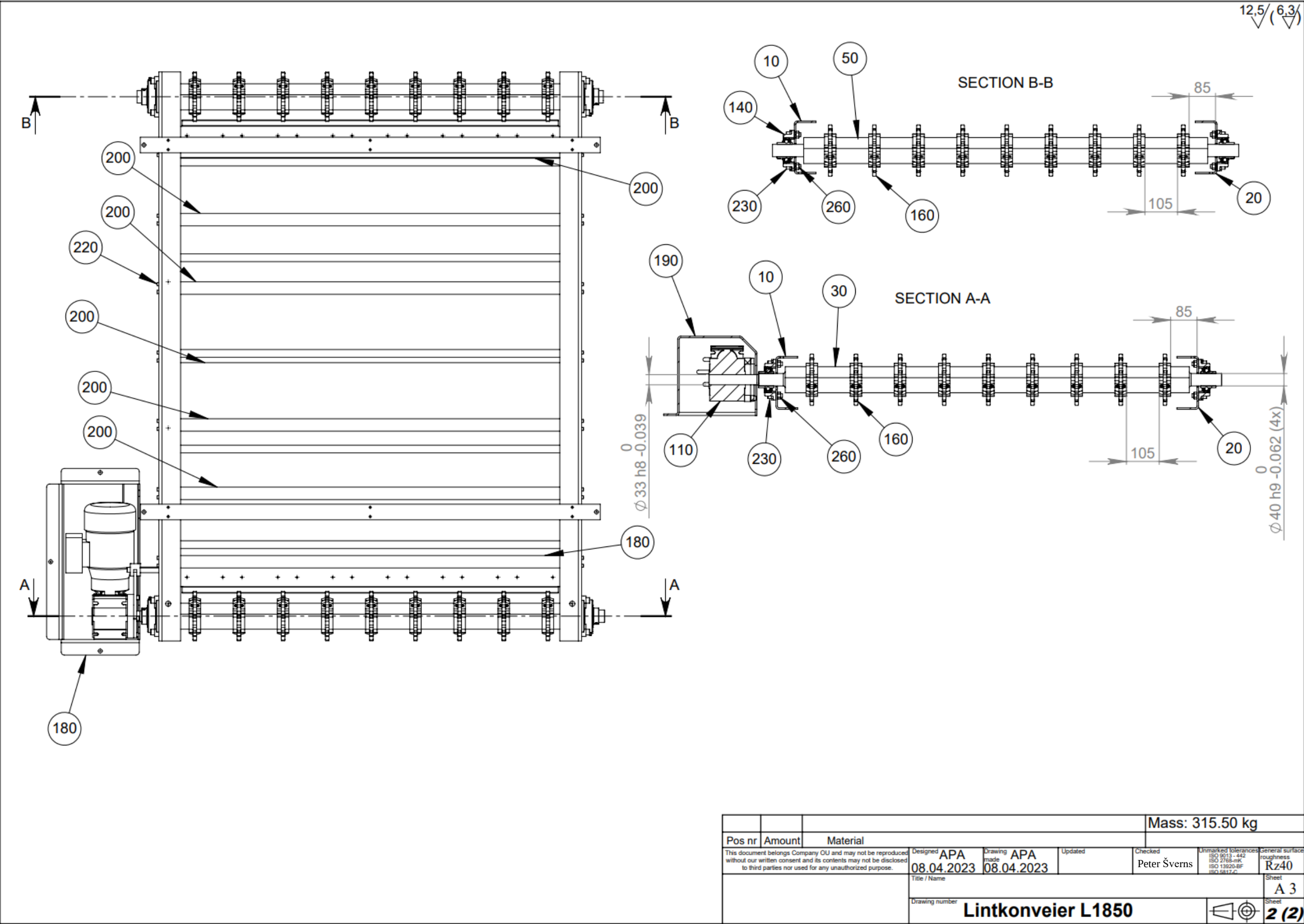
Lisa 4. Konveieri võll

Lisa 5. Konveieri raami tugilatt

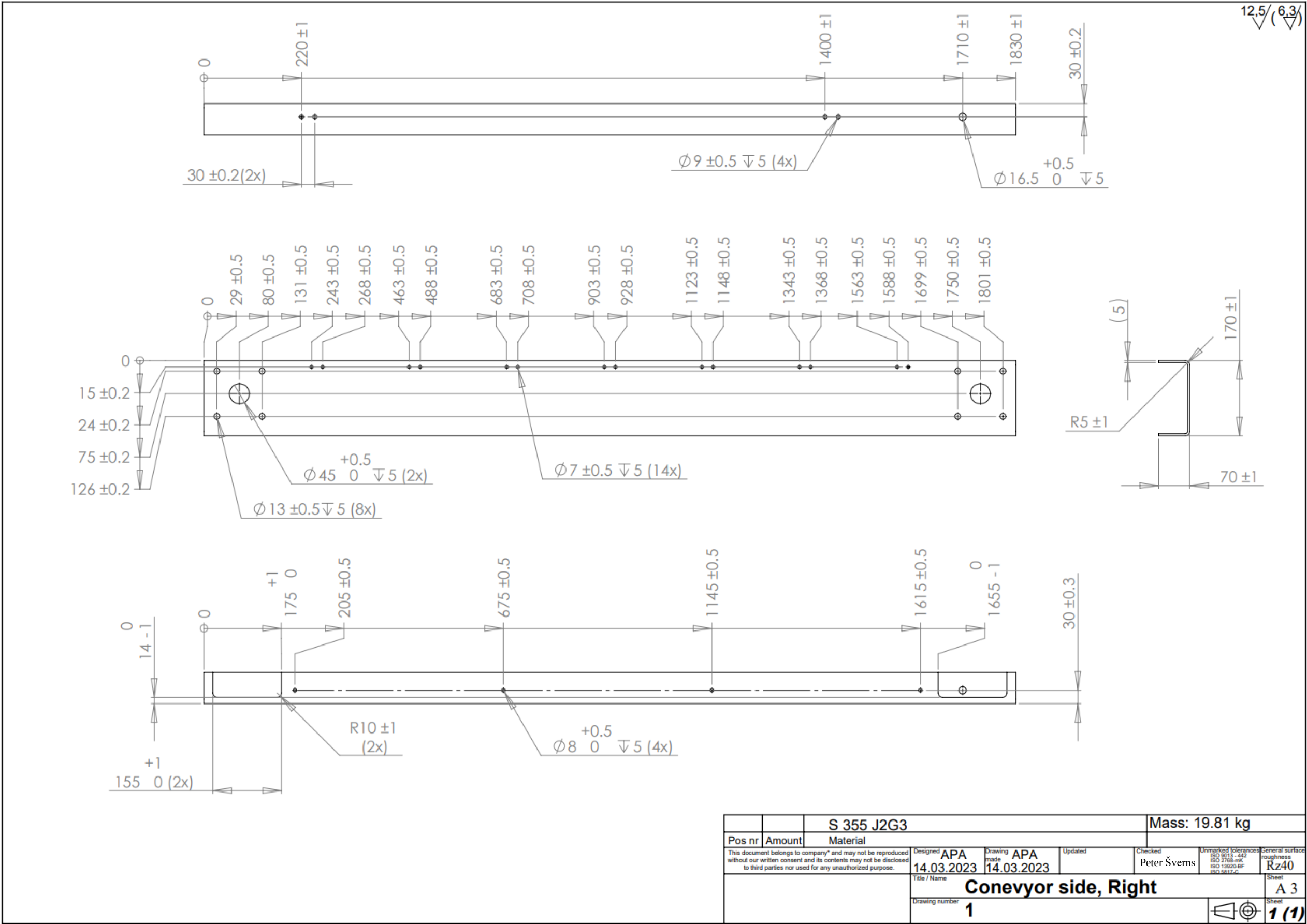
Lisa 1. Konveierraami koostejoonise esimene leht



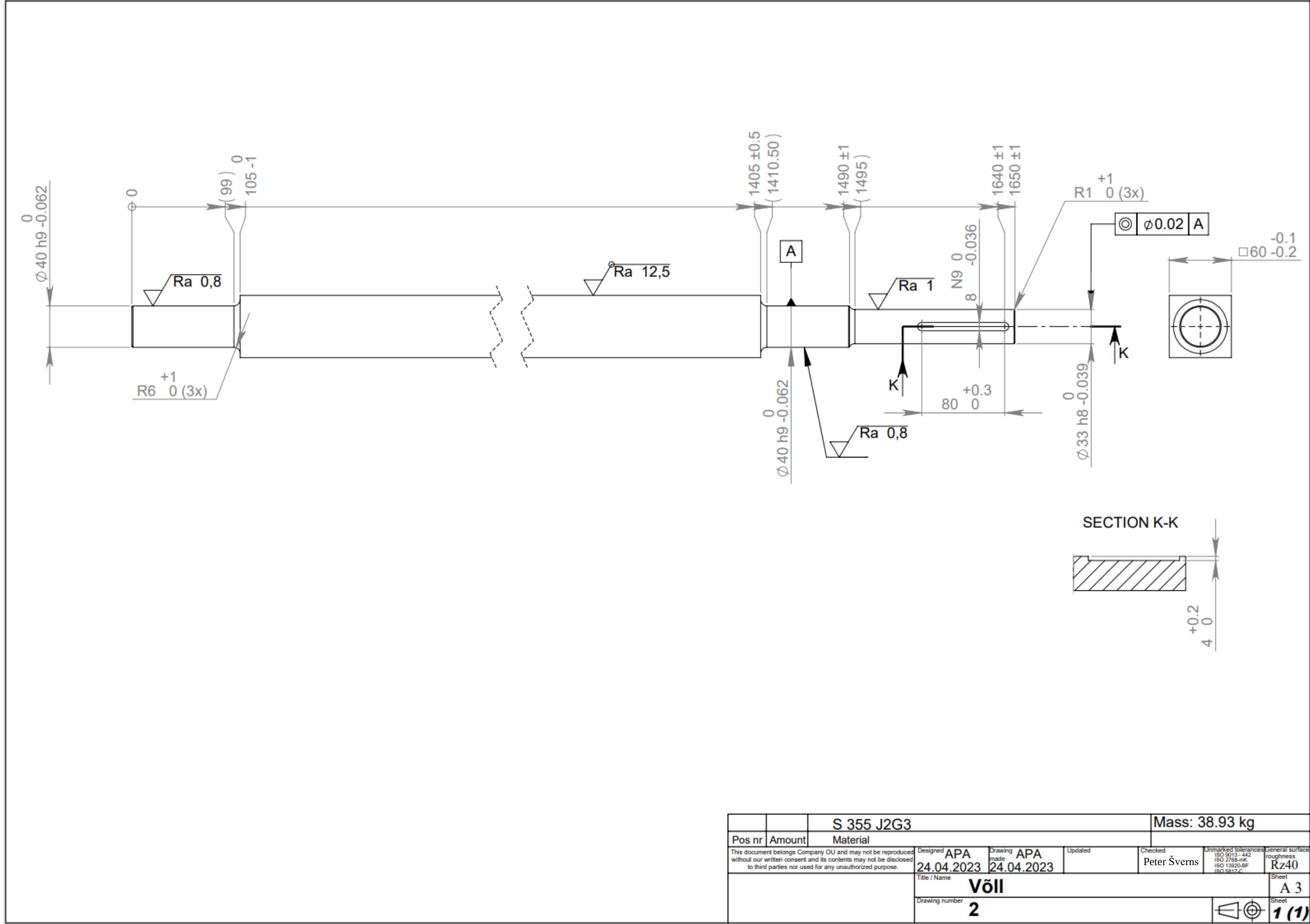
Lisa 2. Konveierraami koostejoonise teine leht



Lisa 3. Konveierraami profiil



Lisa 4. Konveieri vōll



Lisa 5. Konveieri raami tugilatt

