



Kirill Semaško

TOOTMISLIINI AUTOMATISEERIMINE BALBIINO TEHASES– EELPROJEKT

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Robotitehnika eriala

Juhendaja: Eduard Brindfeldt

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kirill Semaško annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

TOOTMISLIINI AUTOMATISEERIMINE BALBIINO TEHADES – EELPROJEKT

1. reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
2. reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

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

Autorideklaratsioon

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

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

Juhendajad Eduard Brindfeldt, Maksim Pugatšov. Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega. Tallinnas, allkirjastatud digitaalselt.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS	6
2. ÜLEVAADE TOOTMISLIINI TÖÖPÕHIMÕTTE JA PROBLEEMI ANALÜÜS	7
2.1 Probleemide ja riskide tuvastamine.....	7
2.1.1 Probleemide mõju analüüs tootmisele.....	8
2.2 Automatiseerimise vajalikkuse põhjendus ja eelised.....	9
2.3 Automatiseerimisest saadav oodatav kasu	9
3. AUTOMAATSE KONSTRUKTSIOONI TÖÖPROTSESSI KIRJELDUS	11
3.1 Automaatse konstruktsiooni protsessi töösammud	11
3.2 Optimaalse jäätisekoguse analüüs tangidega haaramiseks	13
4. KOMPONENTIDE VALIK	14
4.1 Pneumaatilised tangid	14
4.2 Kinnitusliist tangidele	18
4.3 Pneumaatilised silindrid konstruktsiooni tõstmiseks ja langetamiseks.....	20
4.4 Tõstmise ja langetamise andurid	25
4.5 IGUS Gantry XY seadmestus	26
4.6 Liinikiiruse andur	28
4.7 Juhtimissüsteem.....	29
4.8 Lintkonveier I.....	31
4.9 Lintkonveier II	40
5. RESSURSSIDE ANALÜÜS KONVEIERISEGMENTIDE 3D PRINTIMISEKS.....	43
6. PROJEKTI ALUSEL INVESTEERINGUTE MAKSUMUSE ARVESTUS	46
6.1 Komponentide kulude arvutused.....	46
6.2 Teenuste kulude arvutused	47
KOKKUVÕTE	50
SUMMARY	51
VIIDATUD ALLIKAD.....	52

SISSEJUHATUS

Kaasaegse tootmise tingimustes, kus tehnoloogia kiire areng määrab ettevõtete konkurentsivõime, muutub tootmisprotsesside pidev täiustamine mitte lihtsalt püüdluseks, vaid vajaduseks. Automatiseerimine on tõhususe ja tootekvaliteedi parandamise dünaamilise jõu peamine jõud.

Käesoleva töö eesmärgiks on välja töötada ja juurutada terviklik automatiseeritud süsteem jäätise pakendamise protsessi optimeerimiseks Balbiino AS ettevõtte tootmisliinil. See eesmärk ei hõlma ainult olemasolevate protsesside tehnilisi täiustusi, vaid ka kohustust parandada üldist tootlikkust, vähendada tööjõu- ja materjalikulusid ning parandada valmistoodete kvaliteeti ja ohutust. Tuginedes praeguste tootmisüksuste ja võimalike kitsaskohtade põhjalikule analüüsile, on projekti eesmärgiks võtta kasutusele täiustatud automatiseeritud lahendused, sealhulgas pneumaatilised haaratsid ja elektropneumaatilised ventiilid, mis sünkroniseerivad tõhusalt tootmisliini dünaamikaga.

Automatiseerimine on tõhus viis minimeerida töötajate vajadust pidevalt liinil olla, vähendades seeläbi vigade riski ja suurendades tootmisprotsesside täpsust. See protsessimuutus annab võimaluse kiirendada tootmist, suurendada täpsust ja pakkuda kvaliteetsemaid tooteid. Tänapäeva kiiresti muutuv jäätiseturg nõuab tootjatelt paindlikkust ja võimet kiiresti kohaneda tarbijate uute nõudmistega. Tootmisliinide automatiseerimine strateegilise investeeringuna võib anda Balbiino AS-le olulise konkurentsieelise, soodustades uute toodete kiiremat kasutuselevõttu ja suurendades üldist innovatsiooniaktiivsust.

Selle eesmärgi saavutamiseks hõlmab projekt mitmeid olulisi etappe alates kontseptuaalsest disainist ja komponentide valikust kuni üksikasjaliku süsteemiarenduseni CAD-tarkvara abil. Erilist tähelepanu pööratakse süsteemi integreerimisele olemasoleva ettevõtte infrastruktuuriga, et tagada minimaalne seisakuaeg ja maksimaalne ühilduvus. Lisaks sisaldab töö majandusanalüüsi, komponentide ja projekti kui terviku kuluhinnangut ning 3D-printimise tehnoloogiate kasutamise võimaluste uurimist kulude vähendamiseks.

Töö hõlmab kavandatava süsteemi ideekavandit, tehnilist arendust ja majandusanalüüsi eesmärgiga tõsta tootmise efektiivsust, vähendada tegevuskulusid ja tõsta toodete kvaliteedistandardeid. Projekti käigus töötatakse välja modulaarne haardesüsteem, mis integreeritakse olemasolevasse tootmisliini ning tagab toote täpse ja usaldusväärse haarde, positsioneerimise ja transpordi pakkemasinasse. See hõlmab ka süsteemi

kohandamist olemasolevate tootmisprotsessidega minimaalsete muudatustega praeguses liinikonfiguratsioonis.

Töö tulemuseks ei peaks olema ainult ettevõtte protsesside tehniline täiustamine, vaid pakkuma võimalusi tulevaste uuenduste skaleerimiseks ja lihtsustamiseks, mis tõstab Balbiino AS toodete konkurentsivõimet ja turuväärtust. Seega on töö eesmärk mitmetahuline ning selle eesmärk on saavutada mitte ainult kohesed tehnilised täiustused pakendamisprotsessis, vaid tagada ka Balbiino AS-i tootmisvõimsuse pikaajaline jätkusuutlikkus ja areng. Tulemuseks peaks olema automatiseeritud süsteem, mis mitte ainult ei tõsta tootmise efektiivsust ja kvaliteeti, vaid avaldab tänu paranenud tootekvaliteedile positiivset mõju ka ettevõtte majanduslikule efektiivsusele ja mainele turul.

1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

Balbiino AS on Eesti juhtiv jäätiste ja külmutatud magustoitude tootmisele spetsialiseerunud ettevõtte. Alates asutamisest 1993. aastal on ettevõtte loonud usaldusväärse tootja maine, populaarne nii Eesti siseturul kui ka rahvusvaheliselt.

Balbiino ettevõtte filosoofia lähtub kvaliteedi ja uuenduslikkuse põhimõtetest. Aastase tootmismahuga 30 miljonit ühikut paneb ettevõtte olulist rõhku toodete ja tootmisprotseduuride täiustamisele, et vastata tarbijate maitse-eelistustele ja säilitada kõrgeid kvaliteedistandardeid [1].

Balbiino eripäraks on sortimendi mitmekesisus, mille hulgas on lai valik jäätise maitseid, aga ka külmutatud kondiitritooted ja külmutatud magustoidud. Kaasaegseid toitumistrende järgides uuendab ettevõtte regulaarselt oma tooteportfelli, tuues turule uuenduslikke tooteid, mis vastavad praegustele tarbijatrendidele.

Kõrge tootekvaliteet ja toiduohutus on Balbiino tegevuses kesksel kohal. Tootmisprotsessi iseloomustab range kvaliteedikontroll, mis hõlmab kõiki etappe – alates tooraine valikust kuni valmistoodete pakendamiseni. Ettevõtte strateegias on oluline roll ka jaotusvõrgu arendamisel, tagades Balbiino toodete kättesaadavuse erinevates jaemüügipunktides üle Eesti ja välismaal.

Pideva täiustamise ja innovatsiooni strateegia raames uurib Balbiino aktiivselt ka tootmisprotsesside automatiseerimise võimalust. See arengusuund hõlmab arenenud tehnoloogiate kasutuselevõttu tööprotsesside optimeerimiseks, tootmise efektiivsuse tõstmiseks ja tegevuskulude vähendamiseks. Investeerimine automatiseerimisse on Balbiino strateegia võtmeelement, et säilitada turul konkurentsivõime ja tagada jätkusuutlik kasv tulevikus.

Selles kontekstis on autori missioon läbi lõputöö aidata kaasa automaatsete installatsioonide arendamisele ettevõttes. Autor on pühendunud mitte ainult olemasolevate protsesside tehnilisele täiustamisele, vaid ka uute innovaatiliste lahenduste otsimisele, mis suudavad tõsta Balbiino AS üldist tootlikkust ja efektiivsust. Käesolev uurimus peegeldab autori pühendumust inseneripõhimõtetele ja soovi edendada edusamme tööstusautomaatika vallas, mis on ettevõtte jätkusuutliku kasvu ja arengu võtmetegur.

2. ÜLEVAADE TOOTMISLIINI TÖÖPÕHIMÖTTE JA PROBLEEMI ANALÜÜS

Viie poolautomaatse tootmisliiniga varustatud Balbiino tehases on korraga võimalik toota mitut sorti jäätist, mis vastab laiale tarbija maitsele. Tootmisprotsessi käigus, eriti jäätisetopside tootmisele spetsialiseerunud liinil, tuvastati aga olulisi probleeme pakendamise tõhususega. See asjaolu tekitab tungiva vajaduse optimeerida töövoogu, et tõsta tootlikkust ja parandada jäätisepakendite kvaliteeti.

Praeguses pakkimisetapis osaleb kaks töötajat: üks vastutab jäätise viimise eest külmutustunnelist väljuvatelt plaatidelt pakendamismasina konveierile ja teine reguleerib jäätise asendit enne pakkimismasinasse sisenemist. Selle töömeetodiga kaasnevad mitmed riskid ja väljakutsed. Esiteks on suur oht toote kahjustamiseks vale positsioneerimise või pakkimisprotsessi ajal deformatsiooni tõttu. Teiseks suurendab selline lähenemine tööõnnetuste tõenäosust, mis seab ohtu töötajate tervise ja ohutuse. Lisaks aeglustab käsitsi pakendamine protsessi ja vähendab liini üldist tootlikkust, mõjutades inimteguritest tulenevalt ka pakendi kvaliteeti. Lõpuks toob see kõik kaasa suurenenud tootmiskulud, suuremad defektid ja tootekadu.

Arvestades neid probleeme, muutub kiireloomuliseks vajadus viia läbi tootmise hetkeseisu süvaanalüüs, tuvastada võimalikud riskid ja töötada välja terviklikud lahendused, mis on suunatud pakkimisprotsessi automatiseerimisele ja optimeerimisele. See hõlmab tootmisprotsesside tehniliste täiustuste võimaluste uurimist ja kavandatavatest muudatustest tuleneva võimaliku majandusliku kasu hindamist.

2.1 Probleemide ja riskide tuvastamine

Balbiino AS tootmisliinil, kus toodetakse topsides ja torbikutes jäätist, on tuvastatud olulisi probleeme, mis mõjutavad pakkimisprotsessi efektiivsust. Peamine probleem on töötajate suutmatuse säilitada vajalikku liinikiirust. See toob kaasa olukordi, kus jäätisel ei ole aega töödelda, mis toob kaasa üldise efektiivsuse languse ja müümata toodete mahu suurenemise. Tihti juhtub ka seda, et kahe töötaja asemel on liinil vaid üks, suurendades nende töökoormust ja suurendades ületöötamisest tulenevate vigade tõenäosust, samuti tekitades ohtu võimalike vigastuste ja ohtude tekkeks töötajale ja tootmisele.

Lisaks on töötajate pideva füüsilise kontakti tõttu toodetega, isegi kui järgite kõiki sanitaarstandardeid ja kasutatakse kaitsevahendeid, toote saastumise oht. Töötajate tahtmatu kokkupuude jäätisega erinevate kehaosadega, näiteks küünarnukkidega, võib

kahjustada toote kvaliteeti ja tarbijate tervist, kuigi töötajad kannavad isiklikke kaitsevahendeid, sealhulgas spetsiaalseid küünarnuki kindaid. Lisaks suureneb tingimustes, kus töötajad ei saa suure liinikiiruse või väsimuse tõttu pakkimisprotsessi täielikult kontrollida, pakendatud toote kvaliteedi languse tõenäosus, mis võib põhjustada kahjustusi või välimuse halvenemist.

Seega on selge, et praegused tingimused pakendiliinil nõuavad suuri muudatusi ja täiendusi. Töövoo optimeerimise lahendused nagu automatiseerimine ei saa mitte ainult aidata tõsta tootlikkust ja parandada toodete kvaliteeti, vaid ka oluliselt parandada töökeskkonna ohutust ja tagada hügieenistandardite järgimise.

2.1.1 Probleemide mõju analüüs tootmisele

Balbiino AS tootmisliini analüüsides on võimalik tuvastada mitmeid kriitilisi probleeme, mis mõjutavad negatiivselt selle efektiivsust ja toodete kvaliteeti. Peamine probleem, millega ettevõtte silmitsi seisab, on lahknevus töötajate kiiruse ja tootmisliini tempo vahel. See toob kaasa olukordi, kus mõni toode jääb vahele ja pakendamata, mis vähendab üldist tootlikkust ja toob kaasa müümata jäänud toodete arvu suurenemise.

Probleemi süvendab töötajate nappus, kui vajaliku arvu töötajate asemel on liinil vaid üks, mis suurendab oluliselt töötaja töökoormust. See mitte ainult ei suurenda väsimusest ja võimetusest protsessi tõhusalt juhtida tingitud vigade ohtu, vaid suurendab ka tööga seotud vigastuste ja ebaõnnestumiste tõenäosust, mis ohustavad nii töötajat kui ka ettevõtet tervikuna.

Teine oluline aspekt on hügieeniküsimus. Kuna jäätise tootmine kuulub toiduainetööstusele, ei saa töötajate pidev kokkupuude tootega isegi kõigi sanitaarnormide range järgimise ja kaitseriietuse kasutamise korral nakkusohtu täielikult kõrvaldada. Toote juhuslik kokkupuude töötajate muude kehaosadega võib põhjustada toote saastumist, mis mõjutab negatiivselt jäätise kvaliteeti ja võib ohustada tarbijate tervist.

Lisaks toovad seisakud ja viivitused tootmisliinil iga jäätisepartii pikemad töötlemisajad ja üldise tootlikkuse vähenemise. See mitte ainult ei kahjusta tootmise efektiivsust, vaid mõjutab ka ettevõtte mainet, kuna püsivad probleemid kvaliteedi ja tarneaegadega võivad õhnestada klientide usaldust. Järjepidevad pakendamise viivitused võivad tootmisahelas allavoolu põhjustada probleeme, mis mõjutavad logistikat, planeerimist ja tarnegraafikuid.

Seetõttu on Balbiino AS-i jaoks äärmiselt oluline kaaluda uute tehnoloogiate ja protsesside kasutuselevõttu, mis suudavad tuvastatud probleeme ja riske minimeerida. Pakkimisprotsessi automatiseerimine võib olla võtmelahendus, et suurendada protsessi

kiirust ja täpsust, vähendada sõltuvust inimlikest eksimustest ning tagada hügieeni- ja tootekvaliteedi standardite järgimine.

2.2 Automatiseerimise vajalikkuse põhjendus ja eelised

Balbiino AS jäätisetootmisliini automatiseerimise vajaduse põhjendus ja eelised tulenevad otseselt tuvastatud probleemidest ja riskidest. Jäätise pakkimiskonveierile ülekandmise protsessi automatiseerimine töötab liini kiiruse ja tõhususe dramaatilist paranemist. Automatiseeritud süsteemide kasutuselevõtt võib tagada toodete pideva ja kiire liikumise, mis tõstab oluliselt tootlikkust. Automaatsed mehhanismid, erinevalt inimtööst, ei väsi ja võivad töötada ühtlasel kiirusel sujuvalt, mis tagab kogutoodangu kasvu.

Robotseadmete kasutamine jäätise käitlemisel vähendab oluliselt toote ja pakendi kahjustamise ohtu. Automatiseeritud süsteeme saab täpselt häälestada, et käsitseda tooteid ettevaatlikult, säilitades kvaliteeti ning vähendades jäätmeid ja jääke. See mitte ainult ei paranda lõpptoote kvaliteeti, vaid vähendab ka materiaalseid kadusid.

Lisaks välistab pakendamisprotsessi automatiseerimine vajaduse töötajate otseseks kontaktiks toodetega, mis parandab oluliselt sanitaartingimusi tootmises. See lähenemine on oluline rangete hügieenistandardite säilitamiseks, eriti toiduainetööstuses, kus kanalisatsioon ja tooteohutus on ülimalt tähtsad.

Kokkuvõttes ei paku Balbiino AS tehase pakendamisliini automatiseerimine mitte ainult tehnoloogilisi täiustusi, vaid annab olulise panuse ka toote kvaliteedi, protsesside ohutuse ja tootmise majandusliku efektiivsuse parandamisse. Need tegurid mängivad võtmerolli ettevõtte konkurentsieeliste tugevdamisel turul.

2.3 Automatiseerimisest saadav oodatav kasu

Selle liinilõigu automatiseerimine toob kaasa järgmised eelised:

- toote kvaliteedi parandamine;
- suurenenud tootlikkus ja tõhusus;
- vähendatud tegevuskulud;
- töötingimuste parandamine;
- hügieenistandardite tugi.

Jäätise pakendamise protsessi automatiseerimine tagab toote stabiilsema ja kvaliteetsema käsitlemise. Täppismasinad aitavad minimeerida käsitsi pakkimisel tekkida võivaid kahjustusi ja vigu. See toob kaasa parema üldise tootekvaliteedi ja klientide rahulolu.

Automatiseeritud süsteemide kasutuselevõtt kiirendab pakkimisprotsessi ja muudab selle tõhusamaks. Inimlike viivituste kõrvaldamine ja liinide seisakute vähendamine toob kaasa tootmismahtude olulise suurenemise ja tegevuskulude vähenemise.

Pakendite automatiseerimine vähendab tööjõu- ja sellega seotud kulusid, sealhulgas koolitust ja töötajate kindlustust. Samuti on oodata kulude vähenemist defektide ja kahjustatud toodete arvu vähenemise tõttu.

Üksluiste ja füüsiliselt nõudlike ülesannete asendamine automatiseeritud protsessidega parandab töötajate töökeskkonda. See vähendab kutsehaiguste riske ja parandab üldist töökeskkonda, võimaldades töötajatel keskenduda oskuslikumatele ja olulisematele ülesannetele.

Automatiseerimine minimeerib inimeste otsese kontakti toodetega, mis on toiduainetööstuse kõrgete hügieenistandardite säilitamiseks ülioluline. See aitab vältida võimalikku toote saastumist ja tagab kõrgema sanitaarohutuse taseme.

3. AUTOMAATSE KONSTRUKTSIOONI TÖÖPROTSESSI KIRJELDUS

Kaasaegses tootmispraktikas on automatiseeritud projekteerimise töövoogudel võtmeroll toimingute efektiivsuse, täpsuse ja korratavuse tagamisel. Need protsessid on mehaaniliste komponentide, elektrooniliste andurite ja juhtimisalgoritmide integratsioon, mis on loodud ülesannete täitmiseks ilma pideva inimese sekkumiseta. Selliste süsteemide eripäraks on nende võime iseseisvalt kohandada ja optimeerida töotsükleid reaajas, mis suurendab tootlikkust ja vähendab tegevuskulusid.

Automatiseeritud disaini töövoog hõlmab mitmeid kooskõlastatud samme. Selliste süsteemide oluliseks omaduseks on nende modulaarsus ja mastaapsus, mis võimaldab tootmisliini lihtsalt kohandada muutuvatele nõuetele ja tootmismahitudele.

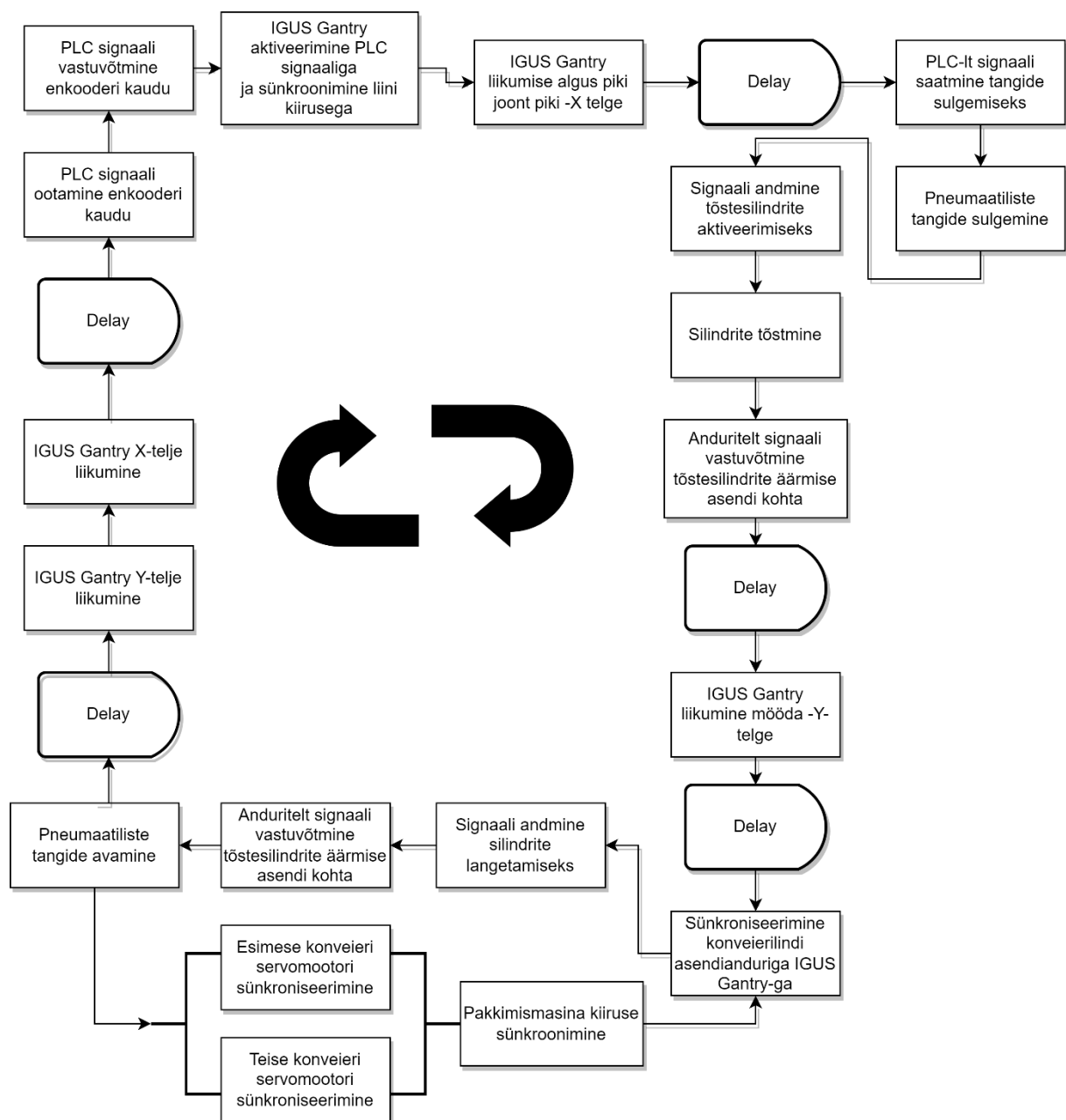
3.1 Automaatse konstruktsiooni protsessi töösammud

Automatiseeritud jäätise pakkimisliini väljatootamine hõlmab iga anduri töö üksikasjalikku kirjeldust ja selle koostoimet süsteemi teiste komponentidega:

- jäätise tuvastamine ja tangi aktiveerimine: kui plaadijäätis lahkub külmumistunnelist, jõuab see konveierile paigaldatud kohalolekuandurini. See andur vastutab jäätise tuvastamise eest ja saadab signaali keskkontrollerile (PLC). Signaali vastuvõtmisel aktiveerib PLC pneumaatilised tangid, valmistades need ette jäätise korjamiseks;
- tangide koordineerimine: kontroller saadab käsud elektropneumaatilistele klappidele, mis tangidega juhivad. See aktiveerib esmalt tangide avamise mehhanismi ja seejärel, kui jäätis on haarde sees, saadab signaali tangid sulgeda, et jäätist kindlalt kinni haarata;
- jäätise ülekandmine: Pärast jäätise edukat haaramist viivad tangid selle pakendamise järgmisse etappi. Selleks kasutatakse täiendavaid andureid ja mehhanisme, mis tagavad tangide sujuva liikumise ja täpse positsioneerimise;
- kiiruse sünkroonimine kooderiga: liinile paigaldatud kooder jälgib pidevalt selle kiirust. Andmed kodeerijast edastatakse kontrollerile, mis kasutab seda teavet tangide kiiruse reguleerimiseks, tagades nende sünkroniseerimise konveieri liikumisega;
- jäätise teisaldamine pakkimiskonveierile: kui jäätis on pakkimiskonveieri kohal, saadab kontroller tangidele signaali avanemiseks, mis võimaldab jäätise kenasti pakkimismasina konveierile asetada;

- kontroll ja pakendamine: kui jäätis on pakkimisliinil, läbib see viimase kontrollietapi, kus enne lõplikku pakkimist kasutatakse lisaandureid, et kontrollida selle kvaliteeti ja õiget paigutust.

Kogu süsteemi juhib ja koordineerib tarkvaraline loogikakontroller, mis tagab pakkimisliini kõikide komponentide täpse ja tõhusa töö. See hõlmab mitte ainult pidevat andurite ja täiturmehhanismide vahelist suhtlust, vaid ka süsteemi töö pidevat jälgimist ja reguleerimist maksimaalse tootlikkuse ja tootekvaliteedi saavutamiseks. Demonstratsiooniskeem [Joonis 1] näitab ringikujulist võtmetoimingute komplekti, mida installatsioon ühe tsükli jooksul teeb.



Joonis 1. Paigaldustoimingute demonstratsiooniskeem

3.2 Optimaalse jäätisekoguse analüüs tangidega haaramiseks

Ideaalse jäätisekoguse väljaselgitamiseks, mida pneumaatilise tangi disain Balbiino AS-i pakkimisliinil peaks haarama, viidi läbi põhjalik analüüs, võttes arvesse tootmisprotsessi erinevaid aspekte. Liini tootmisvõimsuse ja teatud tootekoguse käitlemise võime hindamise põhjal leiti, et kõige sobivam on üheksa jäätisetüki püüdmine. See kogus võimaldab hoida liini kiirust optimaalsel tasemel, tagades toodete sujuva ja sünkroonse liikumise, mis aitab vältida seisakuid ja aeglustada protsessi.

Selles analüüsis olid olulised tegurid ka üksikute jäätise suurus ja kaal. Olles veendunud, et tangid on konstrueeritud kindlaksmääratud jäätisekoguse turvaliseks hoidmiseks, tehti kindlaks, et selline koorem ei tekita täiendavat ohtu nende kukkumiseks või kahjustamiseks. See tagab kõrge haardetäpsuse ja töökindluse, mis on oluline toote kvaliteedi säilitamiseks ja jäätmete vähendamiseks.

Arvesse võeti ka toiduainetööstuse jaoks olulisi hügieeninorme. Üheksa jäätisetüki püüdmine minimeerib inimeste otsese kontakti tootega, aidates säilitada tootmises kõrgeid hügieenistandardeid. Kulutõhusus oli samuti võtmekriteerium, kuna selline püütud jäätise kogus võimaldab tõsta liini üldist tootlikkust, vähendades samal ajal tegevuskulusid ja minimeerides tootekadusid.

Kokkuvõtteks võib öelda, et haaratavate jäätisetangide optimaalse koguse põhjalik analüüs näitas, et üheksaosaline jäätisehaaramine oli parim valik, mis ühendab tootmise efektiivsuse kvaliteedi, ohutuse ja majandusliku kasuga.

4. KOMPONENTIDE VALIK

Automatiseeritud jäätise pakendamise süsteemi loomisel on oluline hoolikalt valida komponendid, nagu andurid ja riistvara. Süsteemi kui terviku tõhusus ei sõltu mitte ainult üksikute elementide kvaliteedist, vaid ka nende võimest üksteisega koos tegutseda. Peamine aspekt on kõigi süsteemi komponentide ühilduvus, mis tagab pakkimisliini sujuva ja sujuva töö. Lisaks tehnilistele omadustele on vaja arvestada seadmete töökindlusega ja selle võimega taluda pikki töötähtaegu ilma sagedase hoolduse või väljavahetamise vajaduseta.

Üks olulisemaid tegureid komponentide valikul on hinna ja kvaliteedi suhe. Oluline on valida seadmed, mis mitte ainult ei vasta eelarvepiirangutele, vaid pakuvad ka pikaajalist kasu, vähendades tegevuskulusid, suurendades tootlikkust ja minimeerides seisakuid. Lisaks peavad komponendid olema paindlikud ja skaleeritavad, võimaldades süsteemil kohaneda muutuvate tootmisvajaduste ja tehnoloogiatrendidega.

Samuti on oluline arvestada valitud komponentide integreerimise ja haldamise lihtsusega. See hõlmab nende ühilduvust olemasolevate juhtimissüsteemidega ning pakendamisprotsesside jälgimise ja reguleerimise lihtsust. Lõpuks peavad kõik komponendid rangelt vastama ohutus- ja kvaliteedistandarditele, mis on toiduainetööstuses kasutatavate seadmete nõue.

Need tegurid koos määravad edu automatiseeritud jäätisepakendamise süsteemi loomisel, tagades selle töökindluse, efektiivsuse ja kuluefektiivsuse pikaajaliselt.

4.1 Pneumaatilised tangid

Kavandatava automaatikasüsteemi keskmeks on pneumaatilised tangid, mis on jäätise plaadilt konveieritele korjamise ja ülekandmise protsessis kriitilise tähtsusega. Need tangid on disainitud pöörates erilist tähelepanu materjalidele, vastupidavusele ja liikumise täpsusele, et tagada veatu ja hügieeniline koostoime tootega [Joonis 3].

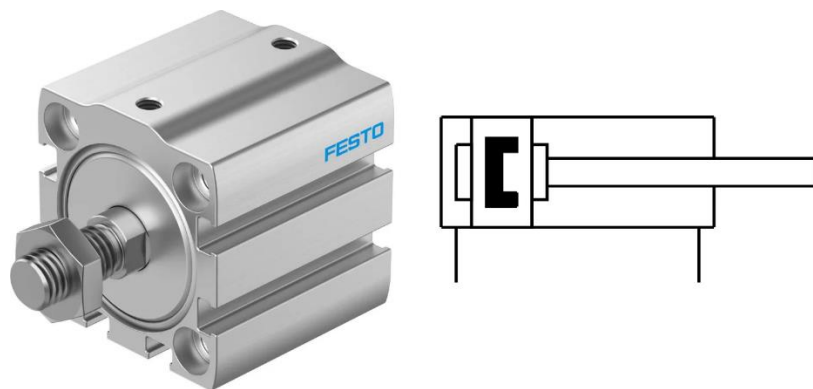
Tangid on valmistatud toidukvaliteediga roostevabast terasest ja polümeermaterjalidest, nimelt spetsiaalsest plastist, mis tagab nende vastupidavuse, kerguse ja võime säilitada kõrget hügieenitaset. Kõik materjalid on valitud nii, et need taluvad jäätise tootmisprotsessis esinevaid madalaid temperatuure ning peavad vastu korrosioonile, mis on põhjustatud sagedasest kokkupuutest niiskuse ja puhastusvahenditega.

Haaratitel on mõlemal küljel kakskümmend kraadi avanemiskäik ning tootega kokkupuutuvad otsad on valmistatud toiduplastikust, mis hoiab ära jäätise kahjustamise

ja pehmendab haaret [Joonis 4]. Toiduplast on ohutusmeede, mis on loodud spetsiaalselt toidutöötlemistehastes kasutamiseks. Need plastid vastavad rangetele toiduohutuse ja hügieenistandarditele. Need ei sisalda kahjulikke aineid, mis võivad toidu sisse migreeruda ja on vastupidavad mitmesugustele töötlemistingimustele, nagu kõrge temperatuur, happed ja leelised ning sagedane puhastamine.

Need tangid ja paigaldised on loodud töötama sünkroonis plaatide liikumisega, tagades toodete tõrgeteta korjamise ilma liini peatamiseta. Ühe silindriga tangi teoreetiline kaal on programmi Solid Edge 2022 simulatsiooniandmetel 0,66 kilogrammi. Tangide ja nende statiivi disain on valmistatud roostevabast terasest. See on ülioluline toiduainetööstuses, kus sanitaartingimuste ja standardite säilitamine on prioriteet.

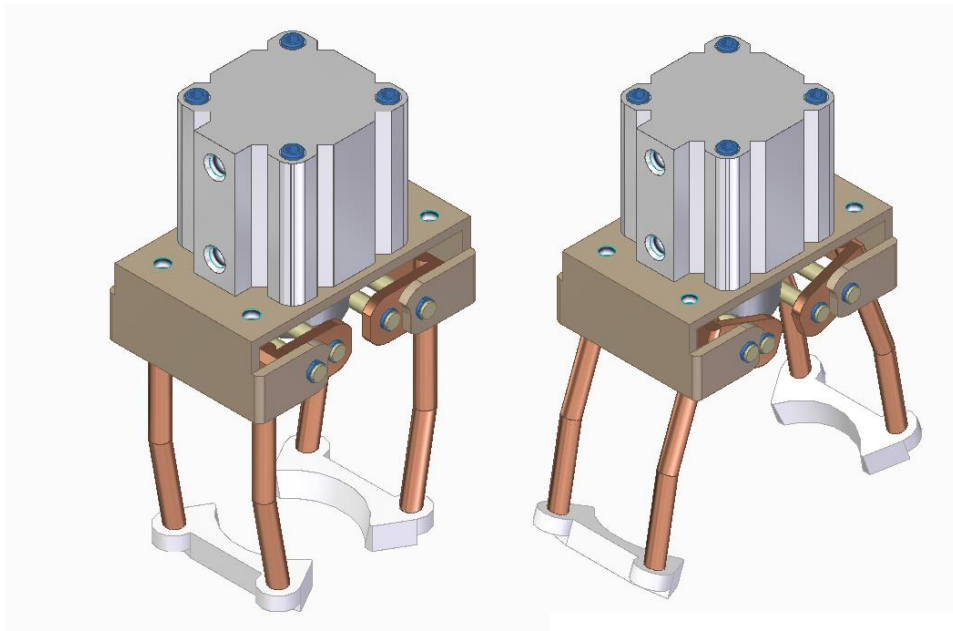
Tangide jaoks, mille silindri käik on vaid 10 millimeetrit, peate otsima miniatuurseid pneumaatilisi silindreid, mis suudavad tagada täpse ja kiire liikumise. Lihtsate rakenduste jaoks võib sobida minisilinder Festo ADN-S-32-50-A-P-A [Joonis 2]. Pneumaatilise silindri tehnilised andmed on toodud Tabelis 1.



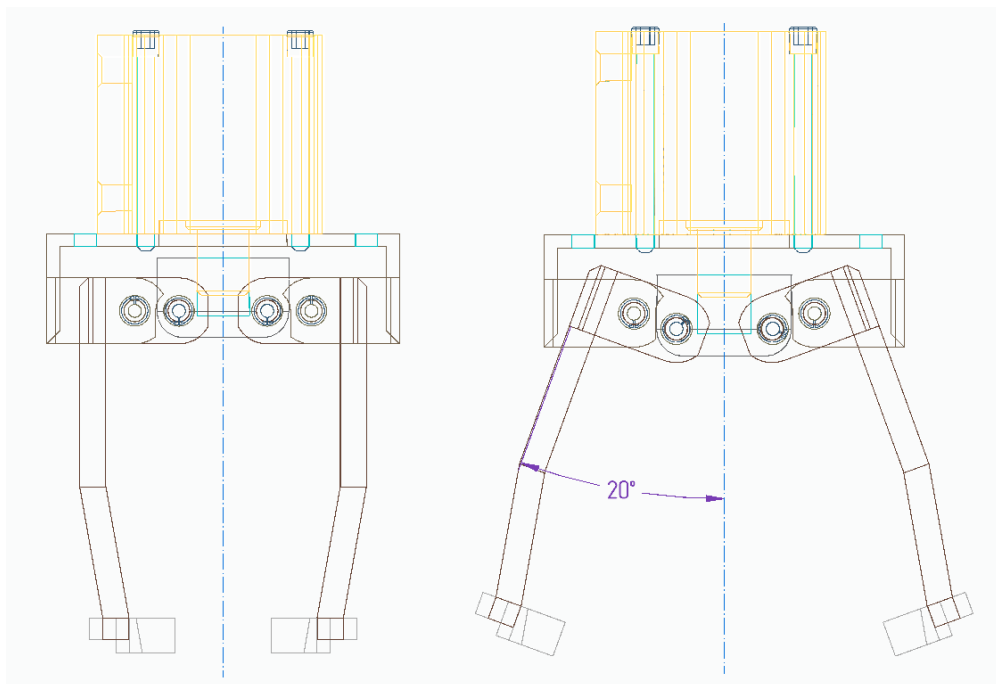
Joonis 2. Pneumaatiline silinder Festo ADN-S-32-50-A-P-A

Tabel 1. Pneumaatilise silindri Festo ADN-S-32-50-A-P-A tehnilised andmed [2]

Parameeter	Väärtus
Käik	50 mm
Kolvi läbimõõt	32 mm
Töörežiim	Kahetoimeline
Töörõhk	0,6 bar – 10,0 bar



Joonis 3. Solid Edge 2022 pneumaatilise tangide minisilindriga mudel suletud ja avatud asendis.



Joonis 4. Pneumaatiliste tangide traatraami külgsuuna.

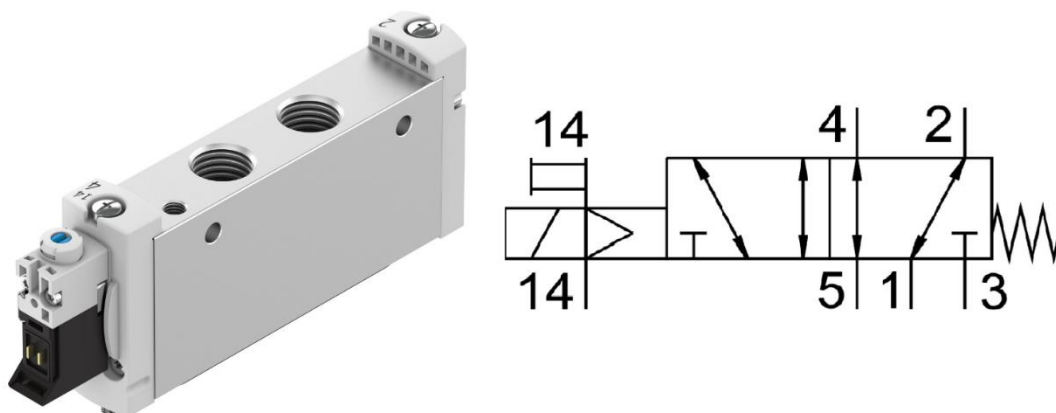
Festo ADN-S-32-50-A-P-A pneumaatiliste silindrite juhtimiseks, mis vastutavad jäätisepakendamise liini tangide avamise ja sulgemise eest, kasutatakse Festo VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3 elektropneumaatilist klappi. See klapp valiti spetsiaalselt väljapaistva jõudluse tõttu juhtimistäpsuse, töökindluse ja integreerimise lihtsuse osas.

VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3 klapp [Joonis 5] eristub võimega kiiresti ja täpselt reageerida PLC signaalidele, mis tagab tangide kohese avanemise ja sulgemise, minimeerides viivitusi ja suurendades tootmisprotsessi kiirust. Selle ülesanne on juhtida õiget rõhku ja õhuvoolu, võimaldades reguleerida haardejõudu vastavalt tootmisnõuetele. Klapi tehnilised andmed on toodud Tabelis 2.

Klapp sobib ideaalselt kasutamiseks ka toiduainete töötlemise keskkondades tänu oma korrosioonikindlatele ja kergesti puhastatavatele ehitusmaterjalidele. Klapi kompaktsed mõõtmed võimaldavad sellel sujuvalt sobituda tootmiskeskkondadesse, kus iga toll ruumi on oluline.

Festo klapi integreerimine ADN-S-32-50-A-P-A silindritega tagab erakordse koordineerimise kõigi pakkimisliinide mehhanismide vahel. See sünergia suurendab tootlikkust, vähendab tootmisdefektide riski ja optimeerib energiatarbimist, muutes kogu protsessi ökonoomsemaks ja keskkonnasäästlikumaks.

Tänu Festo elektropneumaatilise klapi VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3 kasutamisele suudab Balbiino AS pakkimisliin saavutada uue automatiseerimise taseme, parandada toote üldist kvaliteeti ja kiirendada aega. jäätist turustada.



Joonis 5. Elektropneumaatiline klapp Festo VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3

Tabel 2. Elektropneumaatilise klapi Festo VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3 tehnilised andmed [3]

Parameeter	Väärtus
Klapi funktsioon	5/2-suunaline, monostabiilne
Klapi suurus	18 mm
Tööpinge	24V DC
Töörõhk	0,9 bar – 10,0 bar

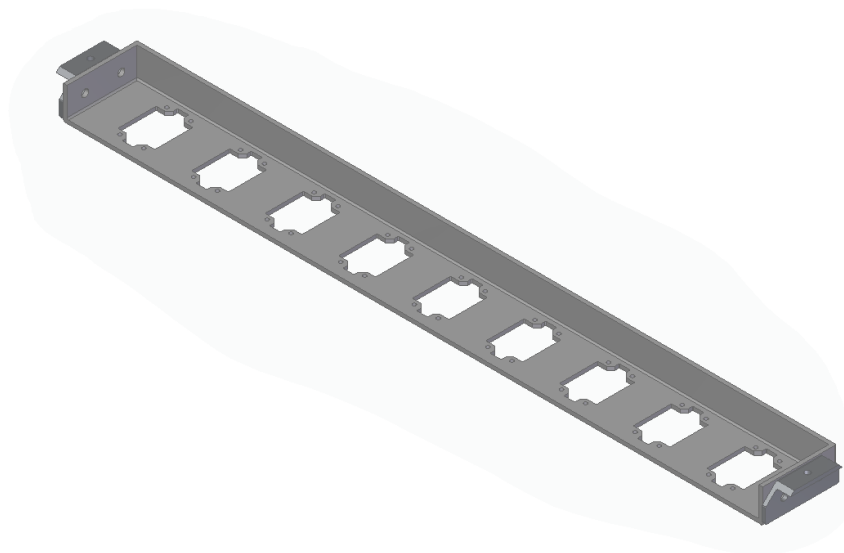
4.2 Kinnitusliist tangidele

Automatiseeritud jäätisepakendamise süsteemi väljatöötamise võtmelemendiks on roostevabast terasest kinnitusplaat [Joonis 6] pneumaatiliste tangide paigaldamiseks. See tugev ja vastupidav disain on valmistatud nii, et see vastaks kõigile toiduainetööstuse nõuetele ning sellel on vajalikud omadused tõhusaks ja ohutuks tööks tööstuskeskkonnas.

Roostevaba terase kasutamine tagab kõrge korrosioonikindluse ja hoolduse lihtsuse, mis tagab mugava sanitaartöötuse. Nutikad kinnituspunktid võimaldavad üheksa tangi paigutamist ühtlaselt kogu varda pikkuses, optimeerides töövoogu ja suurendades tootmisvõimsust. Varras kaalub 4,355 kg ja selle külgedel on kinnitused pneumaatiliste silindrite jaoks tõstmiseks ja langetamiseks.

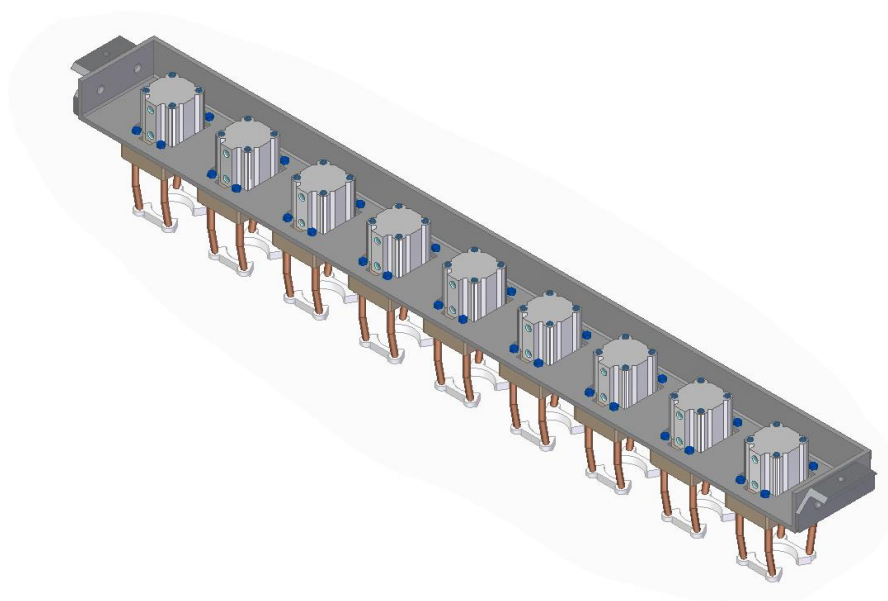
Seda latti saab selle modulaarsuse tõttu hõlpsasti integreerida olemasolevasse süsteemi, võimaldades tangide kiiret vahetamist või hooldamist. Turvaelementide lisamine konstruktsiooni välistab tangide juhusliku vabastamise ohu, suurendades kasutaja kaitset ja säilitades toote terviklikkuse.

Roostevabast terasest kinnitusliist on seetõttu tootmisliini täiustamise lahutamatu osa, mis toob esile Balbiino AS-i pühendumuse innovatsioonile ning jäätisetootmise kvaliteedi ja efektiivsuse standardite tõstmisele.



Joonis 6. Roostevabast terasest pneumaatiliste tangide kinnitusliist Solid Edge 2022 mudel.

Täiustatud CAD-tarkvara abil loodud integreeritud kinnitusvahendi teoreetiline kaal on 10,784 kilogrammi ja see on valmistatud kvaliteetsest roostevabast terasest. Üheksa pneumaatilise tangiga varustatud alus optimeerib jäätise korjamise ja transportimise protsessi, suurendades pakkimisliini efektiivsust. Pneumaatilised tangid kinnitatakse kinnitusvarda külge kolmekümne kuue M5 roostevabast terasest poldi ja mutri abil. Joonisel 7 on näidatud tangide ühendamine kinnitusvahendiga.



Joonis 7. Solid Edge 2022 roostevabast terasest pneumaatiliste tangide kinnitusliist mudel.

4.3 Pneumaatilised silindrid konstruktsiooni tõstmiseks ja langetamiseks

Pneumaatilised silindrid mängivad jäätisepakendamise süsteemis seadme tõstmise ja langetamise mehhanismis keskset rolli. Need mitte ainult ei anna vajalikku jõudu 10,784 kilogrammi kaaluva agregaadiga tõstmiseks, vaid peavad vastu pidama ka teisaldatava jäätise lisakoormusele. See määrab 15 kg ohutusvaruga silindrite valiku, mis tagab süsteemi usaldusväärse ja katkematu töö ka maksimaalsete koormuste korral.

Jõu, mida pneumaatiline silinder võib avaldada, määravad kaks peamist parameetrit: töö rõhk ja kolvi ristlõikepindala. See tähendab, et vajaliku 15 kg jõu saavutamiseks on vaja valida silindrid, mille omadused võimaldavad sellist jõudu tekitada.

Pneumaatiliste silindrite võtmeroll selles süsteemis on tagada seadme kontrollitud ja täpne tõstmine ja langetamine. See on oluline tagamaks, et jäätise liigutamise protsess viiakse läbi hoolikalt, ilma toote kahjustamise või süsteemitõrgeteta. Silindrid tagavad seadme sujuva liikumise, mis on kriitilise tähtsusega kvaliteetse transpordiprotsessi säilitamiseks.

Selleks, et arvutada, kas kaks pneumaatilist silindrit suudavad tõsta 15 kg kaaluvat lasti õhurõhul kuus baari, saab kasutada järgmist arvutustejada.

Rõhu teisendamine baaridest paskaliteks: esmalt teisendame rõhu baaridest paskaliteks, kuna SI-süsteemi rõhu standardne mõõtühik (1) on

$$6 \text{ bar} = 6 \times 100\,000 \text{ Pa} = 600\,000 \text{ Pa}, \quad (1)$$

Nõutava jõu (2) [6] arvutamine: tõstetava koorma kaal on 15 kg. Selle raskuse tõstmiseks vajalik jõud on võrdne raskusega, mis on korrutatud vaba langemise kiirendusega [7]

$$F = m \times g, \quad (2)$$

kus F – jõud, N;

m – mass, kg;

g – vaba langemise kiirendus, m/s^2 .

$$F = 15 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 147,15 \text{ N}.$$

Pärast arvutusi saame vajaliku jõu 147,15 N ja saab arvutada silindri kolbide kogupindala. Silindri kolbide kogupindala arvutamine valemiga [8] (3): pneumaatilise silindri poolt avaldatav jõud F N võrdub rõhu ja kolvi pindala korrutisega

$$F = P \times A \gg A = \frac{F}{P}, \quad (3)$$

kus A – pindala, millele jõud mõjub, m^2 ;

F – objektile mõjuv jõud, N ;

P – rõhk, Pa .

Kahe silindri puhul on kogupind kaks korda suurem, seega kahekordistame vajaliku jõu.

Kahe silindri kolvi kogupindala $A_{\text{üld}}$ m^2 (4)

$$A_{\text{üld}} = \frac{(2 \times F)}{P}. \quad (4)$$

Ühe silindri kolvi pindala (5) A_{sil} m^2 arvutamine

$$A_{\text{sil}} = \frac{A_{\text{üld}}}{2} = \frac{\frac{(2 \times 147,15)}{600\,000}}{2} = \frac{\frac{294,3}{600\,000}}{2} = 0,00024525. \quad (5)$$

Pärast pindala arvutamist peab selle ringi pindala valemi abil teisendama kolvi läbimõõduks (6) [9]

$$A = \pi \times r^2 \gg r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}, \quad (6)$$

$$d = 2 \times \sqrt{\frac{\left(\frac{2 \times F}{P}\right)}{\pi}} \approx 0,01767.$$

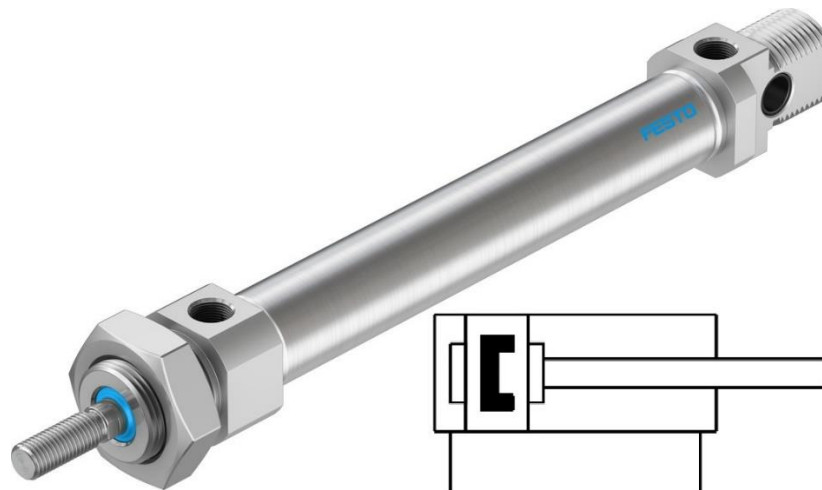
kus A – pindala, millele jõud mõjub, m^2 ;

r – raadius, ka pool läbimõõdust d , m ;

π – matemaatiline konstant pii.

Arvutuste tulemusena leidsime, et mõlema silindri kolvi läbimõõt peab olema vähemalt 17,67 mm, et need suudaksid tõsta ligikaudu 15 kg kaaluvat konstruktsiooni õhurõhul 6 bar. See arvutus põhineb standardsetel füüsikalistel põhimõtetel ja pneumaatikas kasutatavatel võrranditel. Seetõttu peaksite pneumaatilisi silindreid valides otsima mudeleid, mille kolvi läbimõõt on suurem kui 17,67 mm, et töö saaks tehtud.

Festo DSNU-20-100-P-A on selle ülesande jaoks sobiv valik. Selle pneumaatilise silindri kolvi läbimõõt on 20 mm, mis vastab arvutuslikule läbimõõdule 17,67 mm ja isegi ületab seda, tagades vajaliku jõu 15 kg koormuse tõstmiseks õhurõhul 6 baari [Joonis 8].



Joonis 8. Festo DSNU-20-100-P-A pneumaatiline silinder

Tabel 4. Pneumaatilise silindri Festo DSNU-20-100-P-A tehnilised andmed [4]

Parameeter	Väärtus
Käik	100 mm
Kolvi läbimõõt	20 mm
Teoreetiline jõud 6 bar juures, eelkäik	188,5 N
Töörežiim	Kahetoimeline

Jäätisepakendamise liinil tange tõstvate ja langetavate pneumaatiliste silindrite juhtimiseks rakendatakse Festo VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3 elektropneumaatiliste klappidega süsteem. [Joonis 5] Need ventiilid muudavad programmeeritava loogikakontrolleri (PLC) elektrilised käsud pneumaatiliste silindrite toiminguteks, tagades pressi suure täpsuse ja sünkroniseerimise ülejäänud liinikomponentidega.

Jäätise tootmise karmides tingimustes taluma loodud juhtimissüsteemil on selle tõhususe tagamiseks mitmeid põhifunktsioone:

- töökindlus ja vastupidavus;
- täpne juhtimine;
- integratsioon ja modulaarsus;
- hoolduslihtsus.

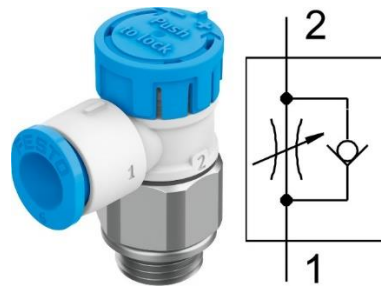
Festo komponentide kasutamine tagab haardesüsteemi pideva töö ja minimeerib seisakuid tänu nende vastupidavusele ja kulumiskindlusele. Elektropneumaatilised klapid reguleerivad täpselt rõhku ja liikumist silindrites, mis on kriitiline tagamaks, et jäätist võetakse konveieril täpselt üles ja paigutatakse. Klapid on hõlpsasti integreeritavad PLC-süsteemi ja neid saab kohandada erinevatele tootmisstsenaariumidele, võimaldades süsteemi hõlpsat uuendamist ja laiendamist. Klapid on paigaldatud nii, et tehnikutel on mugav hooldustöid teha ilma, et peaks kogu tootmisprotsessi peatama.

See väga integreeritud juhtimissüsteem on ülioluline Balbiino AS-i pakendiliini automatiseerimise uue taseme saavutamiseks, aidates tõsta tootlikkust, parandada toodete kvaliteeti ja tagada tootmisprotsessi järjepidevus. Elektropneumaatilise klapi tehnilised andmed on toodud Tabelis 2.

Festo DSNU-20-100-P-A pneumaatilistes silindrites olevate kolbide liikumiskiiruse reguleerimiseks on vaja drosselklappe. Drosselklappe või õhuvoolu regulaatoreid kasutatakse süsteemi õhuvoolu kiiruse reguleerimiseks, mis võimaldab täpselt reguleerida kolbide tõusu ja languse kiirust. Festo õhuvooluregulaatori mudel VFOE-LE-T-G18-Q6 on suurepärane valik Festo DSNU-20-100-P-A pneumaatiliste silindrite kiiruse reguleerimiseks. Sellel õhuregulaatoril on mitu põhifunktsiooni ja eeliseid, mis muudavad selle teie rakenduse jaoks sobivaks:

- **keerme suurus:** G1/8 tähendab, et regulaatoril on standardne kerme suurus, mis peaks ühilduma enamiku standardmõõdus pneumaatiliste silindrite portidega, sealhulgas valitud silindritega;
- **regulaatori tüüp:** VFOE-LE-T-G18-Q6 õhuvooluregulaator on mõeldud õhuvoolu kiiruse täpseks reguleerimiseks, mis võimaldab juhtida silindri kolvi tõusu- ja languskiirust;
- **vastupidavus töötingimustele:** Regulaatori konstruktsioon tagab selle vastupidavuse erinevatele töötingimustele, mis on oluline pikaajaliseks ja usaldusväärseks tööks süsteemis;
- **lihtne reguleerimine:** see mudel pakub mugavat ja lihtsat reguleerimist, mis võimaldab kiiresti ja täpselt reguleerida kolvi kiirust;
- **Festo ühilduvus:** Kuna nii regulaator kui silindrid on Festo valmistatud, peaksid need hästi koos töötama, et tagada süsteemi tõhus ja usaldusväärne töö.

Iga pneumaatilise silindri kolvi kiiruse optimaalseks juhtimiseks on soovitatav, et iga liikumissuuna jaoks (tõstmine ja langetamine) oleksid eraldi regulaatorid. See tagab täpsema ja sõltumatumat kiiruse juhtimise igas suunas. Kuna seal on kaks pneumaatilist silindrit ja igaüks vajab tõstmiseks ja langetamiseks eraldi kiiruse reguleerimist, on vaja nelja õhuvooluregulaatorit. [Joonis 9].

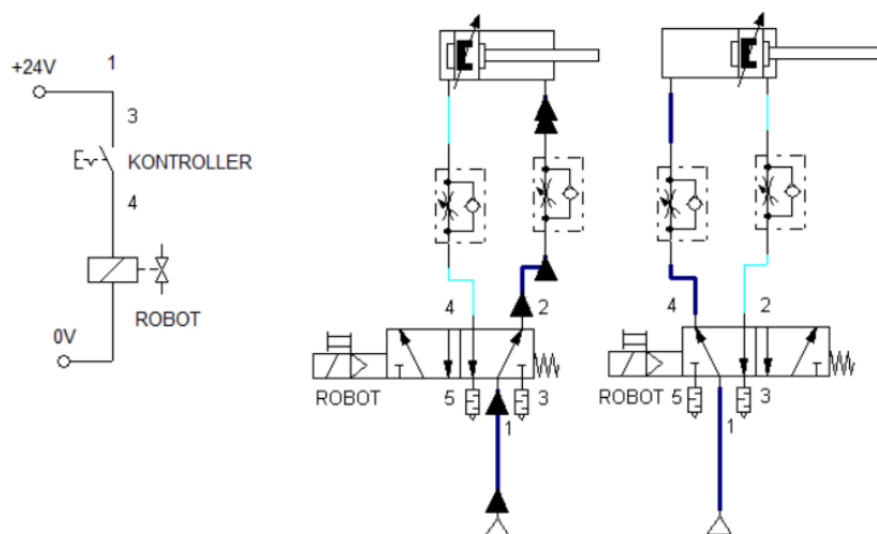


Joonis 9. Ühesuunaline õhuvoolu reguleerimisklapp Festo VFOE-LE-T-G18-Q6 [5]

Tabel 5. Ühesuunalise voolureguleerimisklapi Festo VFOE-LE-T-G18-Q6 tehnilised andmed

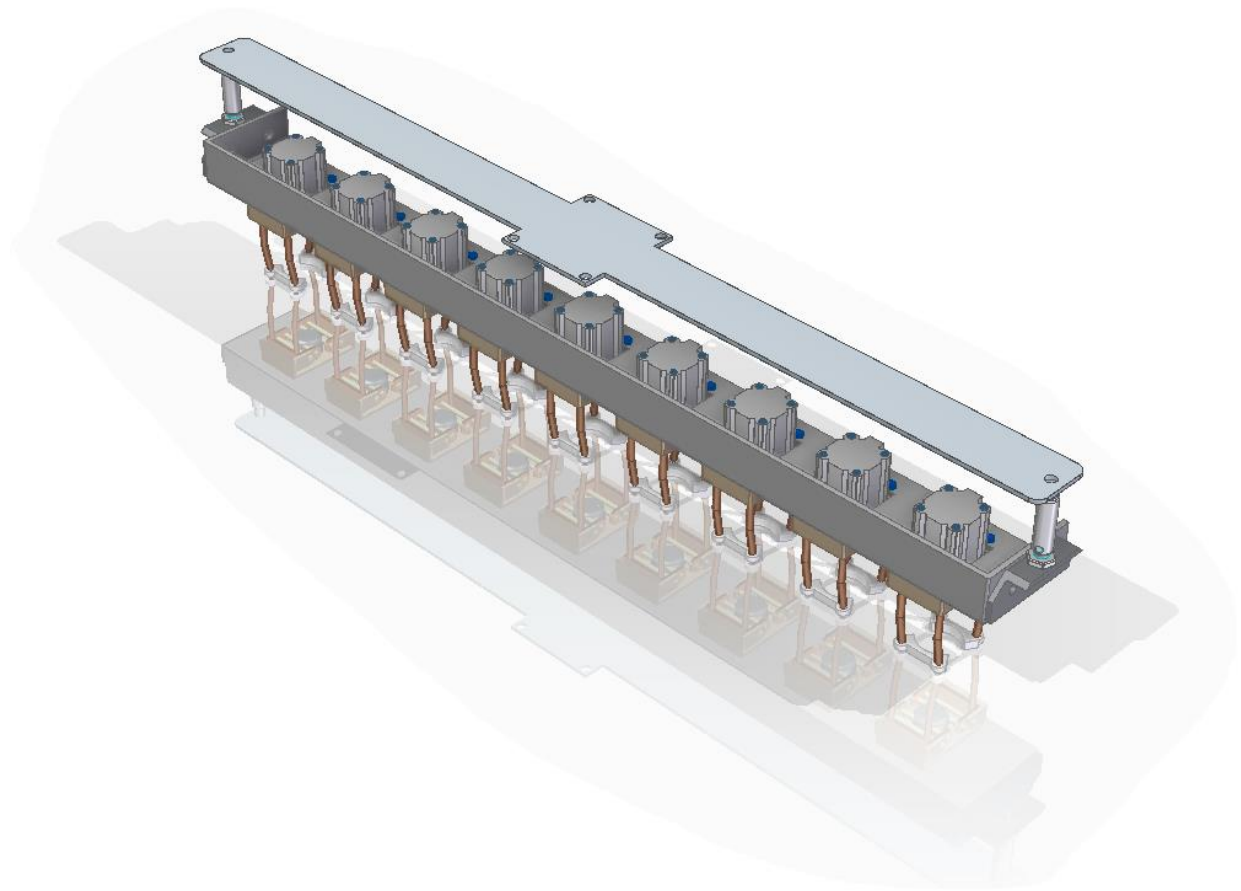
Parameeter	Väärtus
Klapi funktsioon	Heitõhu ühesuunalise voolu reguleerimise funktsioon
Laius üle tasapinna	13 mm
Adjustment component	Reguleerimiskomponent
Käivitamise tüüp	Käsitsi
Töörõhu täielik temperatuurivahemik	0,2 bar – 10,0 bar

Pneumaatikasüsteemide simulatsiooniprogrammis FluidSIM on alloleva skeemi kohaselt simuleeritud eelmainitud komponente rakendades süsteemi tööloogika (Joonis 10).



Joonis 10. Pneumaatilise süsteemi simulatsioon FluidSIM

Pärast haaratsiseadme loomiseks vajalike komponentide kindlaksmääramist on võimalik alustada selle disaini modelleerimist. Disain on näidatud joonisel 11, kasutades programmi Solid Edge.



Joonis 11. Pneumaatiliste tangide ja silindritega tõstmiseks ja langetamiseks model

4.4 Tõstmise ja langetamise andurid

Samuti tuleb kontrollida jäätisemasina tõstmist ja langetamist. Alumiste ja ülemiste silindrite andurid täidavad mitmeid olulisi funktsioone, mis on automatiseeritud süsteemide täpsuse ja töökindluse seisukohalt üliolulised. Jäätisepakendite automatiseerimise projekti raames täidavad nad järgmisi ülesandeid:

Kaks pneumaatilisel silindril asuvat magnetandurit tagavad tõste- ja langetuskõrguste täpse positsioneerimise. See tähendab, et andurid suudavad täpselt määrata, millal krimpsu on saavutanud jäätise haaramiseks või vabastamiseks vajaliku kõrguse, st kui silinder jõuab äärmuslikesse asenditesse, annab see kontrolleriile märku, et tõstmine või langetamine on edukalt lõpetatud. Täpne positsioneerimine on kriitilise tähtsusega, et tagada protsessi tõhusus ja vältida vigu, nagu toote rike või toote kahjustus.

Magnetilised andurid (MK5101) sobivad suurepäraselt pneumaatiliste silindrite tõstmiseks ja langetamiseks, et tuvastada õigesti kahe silindri asend [Joonis 11]. Täpsuse tagamiseks on mõlema silindri otstes vaja 4 andurit.



Joonis 11. Tsilindriasendi magnetiline andur MK5101

Tabel 6. Magnetanduri IFM MK5101 tehnilised andmed [10]

Parameeter	Väärtus
Toote tähistus	Magnetic IFM sensor
Tööpinge	10 - 30V DC
Elektriline tüüp	PNP
Näidik	Väljundi olek: 1 x kollane LED
Kaitseaste	IP 67

4.5 IGUS Gantry XY seadmestus

IGUS Gantry XY mängib automatiseeritud jäätisepakendamise süsteemis võtmerolli, pakkudes suurt täpsust ja paindlikku käsitsemist. See süsteem on mõeldud jäätise korjamiseks ja transportimiseks tootmisliinilt konveierile.

IGUS Gantry XY kirjeldus ja toimimine:

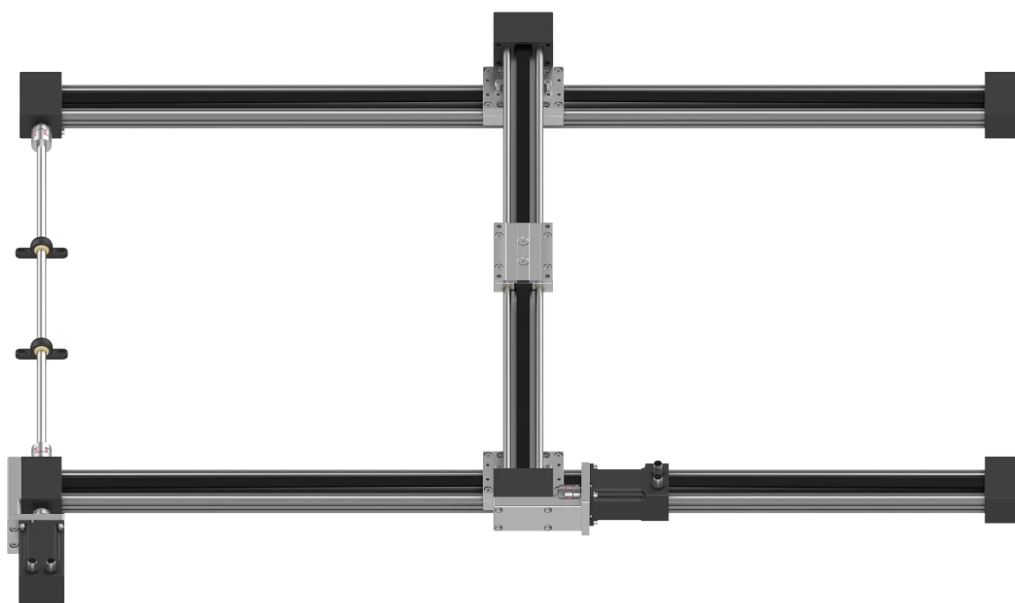
- integreeritud kahe mootoriga juhtimine: IGUS Gantry XY [Joonis 12] on varustatud kahe võimsa mootoriga, mis tagavad täpse juhtimise nii horisontaalsel (X) kui ka vertikaalsel (Y) teljel. See võimaldab süsteemil täpselt asetada pneumaatilised tangid jäätise haaramiseks;
- integreeritud draiverid: iga mootor on sünkroniseeritud oma draiveriga, tagades sujuva ja täpse juhtimise mõlemas suunas;
- ühenduvus ja juhtimine: IGUS Gantry XY ühendub Unitronics Vision v1210 süsteemi keskkontrolleriga [Joonis 12], mis koordineerib kõiki pakendamisprotsesse. Haldamine toimub spetsiaalse tarkvara abil, mis võimaldab teil süsteemi tööd konfigurioneerida ja optimeerida;
- töörežiimid: süsteemil on kaks töörežiimi – automaatne ja manuaalne. Automaatrežiimis toimuvad kõik toimingud vastavalt eelseadistatud programmile, samal ajal kui manuaalrežiim võimaldab operaatoril protsessi sekkuda ja süsteemi käsitsi juhtida eriülesannete või seadistuste jaoks;
- telje omadused: telgedel on Drylin ZLW-0660 hammasrihmad. Hammasrihma pinge 150 N ja etteanne 54 mm/pööre. Võlli otsatugi on valmistatud alumiiniumist, mida juhib IGUS samm-mootor, sellel on M12 pistikud ja see on positsioneerimiseks varustatud kodeerijatega.

Tabel 7. IGUS Gantry XY tehnilised andmed [11]

Parameeter	Väärtus
Täpsus (kordatavus) $\pm$	0,5 mm
Kandevõime, d _{ün} .	150 N
Tööpind	1000 x 500 mm
Max. kiirus	$0,5 \frac{m}{s^2}$
Max. kiirendus	$1,5 \frac{m}{s^2}$
Kontrollsüsteem	2x dryve D1 samm-mootori kontroller
Kaal	10,5 kg

Tabel 8. X- ja Y-telje tehnilised andmed

Parameeter	Väärtus
Mootorid	2 x MOT-AN-S-060-020-056-M-C-AAAC
Hammasrihma pinge	150,0 N
Lineaarne telg	ZLW-1040B



Joonis 12. IGUS Gantry XY seadmestus

4.6 Liinikiiruse andur

Kuna tootmisliin ise on juba varustatud koodriga, mis mõõdab liikumiskiirust, saab kiirusandmed edastada automatiseeritud tehase PLC (Power Line Communication) kontrolleriile. Kiirus edastatakse liinikontrolleri ja automaatse paigalduskontrolleri vahelise sünkroniseerimise kaudu, mis aitab kaasa liini sujuvale tööle.

Liinikooder on automatiseeritud jäätisepakendamise liini kriitiline komponent, mis vastutab plaadi kiiruse andmete kogumise eest, et võimaldada protsessi kiirust täpselt juhtida. See muudab masina mehaanilise liikumise elektrisignaals, mida programmeeritav loogikakontroller (PLC) kasutab pneumaatiliste silindrite ja tangide töö sünkroniseerimiseks tootmisliini tegeliku tempoga.

Tänu kodeerijalt saadud teabele suudab süsteem koordineerida jäätise korjamist ilma vigade ja viivitusteta ning juhtida sammkonveiereid, et tooted täpselt pakendamismasinasse suunata. Kodeerija pakutav täpsus parandab üldist tootmise efektiivsust, minimeerib defektide tekkimise tõenäosust ja soodustab sujuvamat ja koordineeritumat liini tööd.

4.7 Juhtimissüsteem

Nagu iga installatsioon, millel on sellised elemendid nagu pneumaatilised silindrid, samm-mootorid ja liikuv robot, peab neil olema ühendus programmeeritava kontrolleriaga, mis juhib ja töötleb liiniandmeid. Automatiseeritud tehase ja tootmisliini juhtimiseks ja ühendamiseks on Unitronics Vision v1210 kontrolleri [Joonis 12] võimas automaatikalahendus, mis ühendab endas PLC ja HMI funktsioonid. Seda saab hõlpsasti liinisüsteemi integreerida ja sellel on järgmised eelised:

- integreeritud HMI Vision v1210 on sisseehitatud puutetundlik ekraan, mis võimaldab operaatoril hõlpsasti süsteemiga suhelda, jälgida protsessi olekut ja teha reaajas muudatusi;
- programmeerimine ja konfigureerimine: Unitronicsi tarkvara VisiLogic abil saate luua nii PLC tööloogika kui ka kasutajaliidese HMI-s. See tarkvara pakub mugavaid tööriistu redeldiagrammide programmeerimiseks ja kohandatud HMI-ekraanide väljatöötamiseks. See kontrolleri sobib suurepäraselt andmete kuvamiseks ekraanil, muutes selle kasutamise lihtsaks ja operaatorite koolitamise lihtsaks;
- I/O ja laiendatavus: Vision1210-l on paindlik I/O-süsteem, mida saab laiendada valikuliste moodulitega. See võimaldab kontrolleri hõlpsasti kohaneda andurite ja täiturmehhanismide arvu suurenemisega automatiseeritud liinisüsteemis;
- side: kontrolleri toetab mitmesuguseid tööstuslikke sideprotokolle, sealhulgas Modbusi, mida kasutatakse tootmises, võimaldades sellel suhelda teiste tootmisliini seadmete ja süsteemidega;
- protsessi automatiseerimine: Vision1210 suudab automaatselt juhtida pneumaatiliste tangide kiirust ja asendit, juhtida pneumaatiliste silindrite langetamist ja tõstmist, juhtida IGUS XY portaali sõltuvalt liiniandurite signaalidest ja operaatori seatud parameetritest ning lisaks kõigele sellele reguleerida kahe mootoriga konveieri kiirus;
- seire ja diagnostika: sisseehitatud seire- ja diagnostikavõimalused aitavad operaatoritel probleeme kiiresti tuvastada ja lahendada, et tagada süsteemi tõrgeteta töö.

Vision1210 kontrolleri kasutamine loob automaatse jäätisepakendamise liini jaoks tõhusa ja töökindla juhtimissüsteemi, mida saab hõlpsasti kohandada muutuvate tootmisnõuetega.

Väga suureks eeliseks on aga see, et liini ennast juhib täpselt sama kontrolleri, mis lihtsustab oluliselt süsteemi erinevate osade vahelist integratsiooni ja andmevahetust. Liinikiiruse ja muude oluliste parameetrite kohta teabe vahetamiseks saab ühendada kaks kontrolleri. Seda saab rakendada järgmiselt:

- direct ühendus kasutab otseside loomiseks Vision1210 kontrolleri olemasolevaid sideporte, mis saab rakendada Etherneti või CANbus kaudu;
- andmete vahetamiseks peavad mõlemad kontrolleri olema konfigureeritud nii, et nad saaksid vajalikke andmeid saata ja vastu võtta. Näiteks võib põhiliini kontrolleri regulaarselt saata jooksvaid kiirusandmeid, mille seejärel võtab vastu teine kontrolleri;
- protsesside sünkroniseerimiseks kasutatakse saadud kiirusinfot teisel kontrolleriil pneumaatiliste klambrite ja IGUS XY Gantry töötamiseks. See tagab sujuva suhtluse tootmisliini erinevate osade vahel;
- hälvete käsitlemiseks peavad kontrolleri olema programmeeritud nii, et nad suudaksid kohaneda kiiruse muutustega või muude protsessi töömuudatustega. See suurendab süsteemi paindlikkust ja tõhusust.

Kahe Unitronics Vision1210 kontrolleri sünkroonimine loob koordineeritud ja tõhusa juhtimissüsteemi, parandades tootmisliini üldist tootlikkust ja töökindlust. Selle kontrolleri valik on igati õigustatud ja vastab kaasaegse tootmisprotsessi nõuetele, kus võtmerolli mängivad integratsioon, paindlikkus ja automatiseerimine. Nende kontrolleritega muutub automatiseeritud lahenduste juurutamine ligipääsetavamaks ja mugavamaks, võimaldades operaatoritel ja inseneridel keskenduda protsesside optimeerimisele, mitte programmeerimise ja tehnilise integreerimise keerukusele.



Joonis 12. Unitronics Vision1210 PLC-kontroller kõrge eraldusvõimega puutekraaniga HMI-ga

Tabel 9. Unitronics Vision v1210 juhtpaneeli tehnilised andmed [12]

Parameeter	Väärtus
Sisendpinge	12/24VDC
Ekraani eraldusvõime	800 × 600 pikslid (SVGA)
Kontroll	Puutekraan, analoog
Mälu suurus	8192 MB
HMI ekraanid	Kuni 1024
Kaitseaste	IP66

4.8 Lintkonveier I

Kaasaegsetes automatiseeritud jäätisepakendamise süsteemides mängivad võtmerolli samm-mootori ja käigukastiga varustatud konveierid. Need mitte ainult ei taga toote sujuvat ja täpset käsitlemist, vaid toimivad ka teiste süsteemielementidega, nagu pneumaatilised klambrid ja IGUS XY Gantry. Otsust kasutada kahte konveierilinti korraga selgitavad järgmised aspektid:

- jäätisepakendite tootmisliini efektiivseks tööks on optimaalne lahendus kahe konveieri kasutamine. Esimene konveier vastutab jäätise vastuvõtmise eest pneumaatilistelt tangidelt ja selle esialgse orientatsiooni eest, samas kui teine konveier vastutab toote täpse pakkimismasinasse söötmise eest. See parandab pakendamise kvaliteeti ja kiirust ning vähendab toote kahjustamise ohtu;
- IGUS XY Gantry pidurdamine, kui see kannab jäätist konveieritele, on mehaanilise kulumise ja toote kahjustamise vältimiseks ülioluline. Sujuv aeglustus tagab jäätise õrna käsitlemise, täpse positsioneerimise konveieril ja sünkroniseerimise pakkimisliini kiirusega. Seega ei tööta IGUS-i robot oma maksimaalsete võimalustega ja mitte maksimaalse kiirusega, mis välistab äkilised liigutused ja desünkroniseerimise liini ja pakendamismasinaga. See on peamine põhjus, miks on võimalik rikkeid kõrvaldada ja tagada kõigi komponentide stabiilne töö;
- kõik konveierid on varustatud samm-mootori ja käigukastiga, mis võimaldab täpselt juhtida jäätise kiirust ja asendit. Sammootoreid iseloomustab kõrge positsioneerimistäpsus ja automaatjuhtimissüsteemidesse integreerimise lihtsus. Käigukastid aitavad vähendada mootori pöörlemiskiirust, tagades vajaliku pöördemomendi.

Jäätise pakendamise süsteemi esimene konveier mängib võtmerolli toodete ülekandmisel pneumaatilistelt lõugadelt pakkimisliinile. See viib jäätise vertikaalselt lestadest eemale, tagades transpordi esialgse etapi ja toote orientatsiooni.

Ehitus ja toimimine:

Esimene konveier varustatakse servomootoriga, mis võimaldab täpselt juhtida konveieri kiirust ja asendit. Siemensi 1FK7042-2AF71-1QA0 [Joonis 13] mootori valimine jäätisepakendite konveiersüsteemis kasutamiseks on teadlik otsus, võttes arvesse Siemensi toodete spetsifikatsiooni ja kvaliteeti. Siin on, kuidas kirjeldada selle mootori kasutamist süsteemi kontekstis:

- Siemens 1FK7042-2AF71-1QA0 on servomootor, mis on loodud täppisrakendusteks. Seda tüüpi mootor sobib ideaalselt rakendusteks, kus on vaja täpset positsioneerimist ja kiiruse reguleerimist;
- arvestades selle tehnilisi omadusi, nagu väljundvõimsus ja pöördemoment, on see mootor võimeline tagama konveieri tööks vajaliku jõudluse;
- mootorit saab integreerida konveieri mehaaniliste komponentidega, nagu käigukastid ja jõuülekanded, et tagada sujuv ja täpne rihmajuhtimine;

- Siemensi servomootorit saab hõlpsasti ühendada automaatikasüsteemiga ja juhtida PLC kaudu, nimelt Ultrasonic v1210, mis võimaldab tööparameetreid täpselt reguleerida vastavalt protsessi nõuetele.



Joonis 13. Siemensi 1FK7042-2AF71-1QA0 servomootor.

Tabel 10. Servomootori Siemens 1FK7042-2AF71-1QA0 tehnilised omadused [13]

Parameeter	Väärtus
Mootori tüüp	Püsimagnetiga sünkroonmootor
Kodeerija süsteem	Kodeerija AS20DQI: absoluutkooder ühe pöördega 20 bitti
Kaitseaste	IP64
Optimaalne võimsus	0,8 kW
Maksimaalne pöördemoment	10,5 Nm
Optimaalne kiirus	3000 p/min
Inverteri nimivool	3 A
Mootori netokaal	4,6 kg

Konveier projekteeritakse jäätise vastuvõtmiseks vertikaalselt pneumaatiliste tangide abil. See tagab toote hoolika käsitlemise ja minimeerib kahjustuste riski teisaldamise ajal.

Konveieri juhtimissüsteem on konfigureeritud sünkroniseerima IGUS XY Gantry liikumisega. See tagab jäätise vastuvõtmise konveierile ilma katkestuste ja viivitusteta.

Kõik konveieri juhtseadised, sealhulgas samm-mootor ja andur, on integreeritud kesksüsteemi kontrolliga. See tagab tsentraliseeritud juhtimise ja võimaluse jälgida konveieri olekut reaajas.

Esimese konveieri tõhusa töö tagamiseks integreeritakse süsteemi spetsiaalne andur, nimelt SICK IME12-04NPSZC0S. See andur on loodud konveierilindi kontrollpunktide tuvastamiseks, mis on kriitilise tähtsusega jäätise täpselt positsioneerimiseks ja järgnevas üleviimiseks pakkimisprotsessi järgmisse etappi. Andur jälgib spetsiaalseid metallmarkereid, nn kontrollpunkte konveierilindil. See võimaldab täpselt määrata lindi asendit ja kiirust. Andurilt saadud andmeid kasutatakse konveieri samm-mootori töö sünkroniseerimiseks. See tähendab, et jäätis on õigel ajal õiges kohas. Anduri signaalid edastatakse süsteemi keskkontrollerile, mis analüüsib infot ja reguleerib vastavalt konveieri tööd. Anduri kasutamine kontrollpunktide jälgimiseks võib parandada toote positsioneerimise täpsust ja pakkimisprotsessi üldist usaldusväärsust.

Sobiva anduri valimisel on oluline arvestada järgmiste parameetritega:

- anduri tüüp: SICK IME12-04NPSZC0S on induktiivne lähedusandur, mis sobib ideaalselt metallesemete tuvastamiseks ilma füüsilise kontaktita;
- täpsus: andur paigaldatakse konkreetsete markerite või kontrollpunktide jälgimiseks konveierilindil. See võimaldab teil täpselt kontrollida jäätise asukohta lindil ja sünkroonida toodete tarnimist järgmisesse pakendamisetappi;
- kontrolleriga ühilduv: anduri signaalid saadetakse programmeeritavale loogikakontrollerile (PLC), mis analüüsib teavet ja reguleerib konveieri vastavalt.

SICK IME12-04NPSZC0S [Joonis 14] induktiivse lähedusanduri kasutamine konveierilindi asendi jälgimiseks on võtmelement jäätise pakendamise protsessis suure täpsuse ja töökindluse saavutamiseks. See võimaldab kogu pakendamislíini sünkroniseeritud ja tõhusat tööd, suurendades tootlikkust ja pakendatud toodete kvaliteeti.

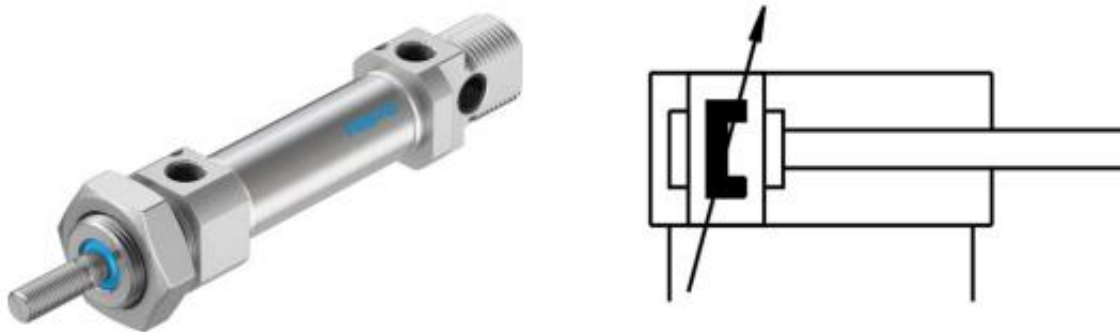


Joonis 14. Induktiivne andur SICK IME12-04NPSZC0S.

Tabel 11. Induktiivanduri SICK IME12-04NPSZC0S tehnilised omadused [14]

Parameeter	Väärtus
Anduri tüüp	Induktiivne
Väljundi konfiguratsioon	PNP/NO
Vahemik	0 – 4 mm
Kaitseaste	IP67
Max töövool	0,2 A

Samuti on jäätisepakendamise süsteemi esimese konveieri üks võtmelemente Festo DSNU-20-25-PPV-A pneumaatiline silinder. See silinder vastutab jäätise õrna lükkamise eest konveierilt, tagades selle sujuva ülemineku teisele konveierile, mis seejärel transpordib toote horisontaalasendis. Selle silindri paigaldamise eesmärk on tagada, et toode väljub konveieri rakust ja liigub teisele konveierile.



Joonis 15. Festo DSNU-20-25-PPV-A pneumaatiline silinder

Tabel 12. Festo DSNU-20-25-PPV-A pneumaatilise silindri tehnilised andmed [15]

Parameeter	Väärtus
Käik	25 mm
Kolvi läbimõõt	20 mm
Töörõhk	1,0 bar – 10,0 bar
Töörežiim	Kahetoimeline

Silindri tööpõhimõte ja kirjeldus:

- silindri mudel;
- plaadi paigaldamine;
- mehhanismi tegevus.

Kasutatakse Festo DSNU-20-25-PPV-A pneumaatilist silindrit, mida iseloomustab kõrge töökindlus ja täpsus. silindri otsa paigaldatakse spetsiaalne plaat plastist seibi kujul. See taldrik on loodud jäätisega pehme kontakti saamiseks, vältides selle kahjustamist teisaldamise ajal. Kui jäätis läheneb esimese konveieri otsale, aktiveerub silinder ja see surub toote teisele konveierile. See protsess on sujuva protsessi tagamiseks täpselt sünkroniseeritud mõlema konveieri liikumisega.

Integreerimine juhtimissüsteemiga:

- Silindri juhtimine;
- Konveieritega sünkroniseerimine.

Pneumaatilist silindrit juhib keskjuhtimissüsteem, et tagada täpne aktiveerimine õigel hetkel. Juhtsüsteem koordineerib silindri tööd konveierite liikumisega, tagades jäätise väljutamise ja edasikandumise teisele konveierile ilma viivituste ja riketeta.

Tõhusus ja ohutus:

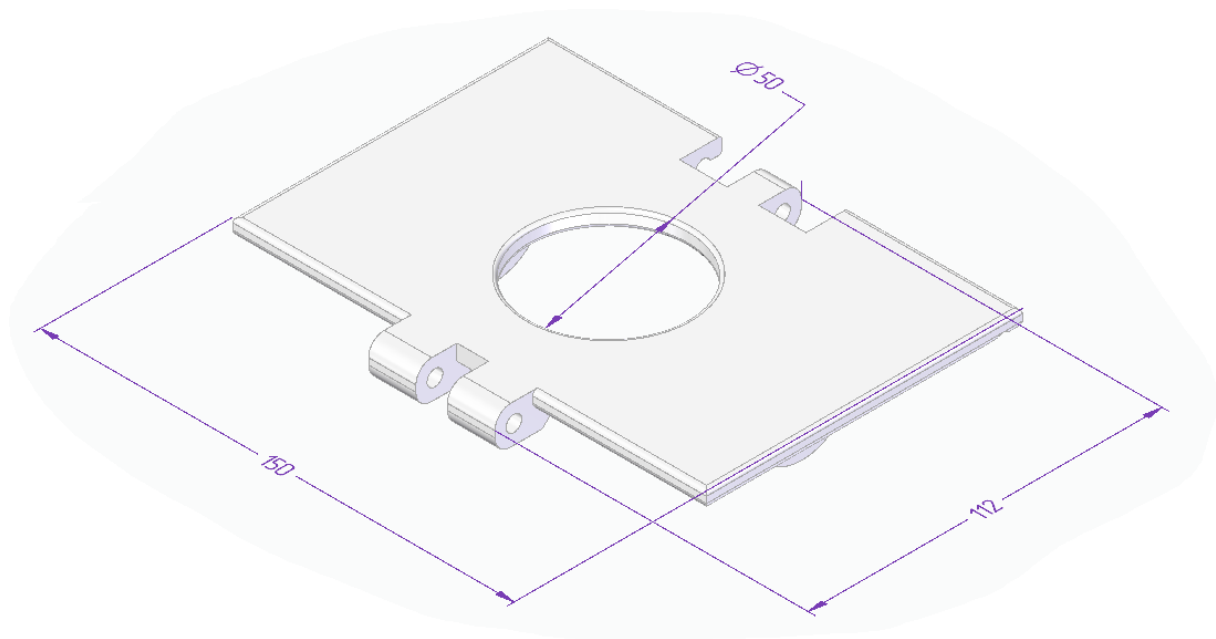
- toodete hoolikas käsitlemine;
- kõrge efektiivsus.

Plaadi õrna kokkupuute tõttu jäätisega on deformatsiooni- või kahjustuste oht välistatud. See mehhanism parandab pakkimisliini üldist tõhusust, tagades toodete sujuva liikumise pakkimisetappide vahel.

Festo pneumaatilise silindri DSNU-20-25-PPV-A kasutamine esimesel konveieril on oluline element jäätise pakkimisprotsessi optimeerimisel. See mehhanism mitte ainult ei lihtsusta toodete transportimist konveierite vahel, vaid aitab oluliselt kaasa pakkimisprotsessi kvaliteedi ja kiiruse parandamisele.

Esimene konveier on automatiseeritud jäätisepakendamise protsessi oluline element, mis tagab toote tõhusa ja täpse ülekande tootmisliinilt pakendamismasinasse. Tänu täpsele juhtimisele ja kõrgele automatiseeritusele aitab see konveier kaasa pakkimisprotsessi üldise efektiivsuse ja kvaliteedi tõstmisele. See võimaldab katkematut ja sünkroniseeritud kogu süsteemi tööd alates toodete esmasest kättesaamisest kuni lõpliku pakkimiseni.

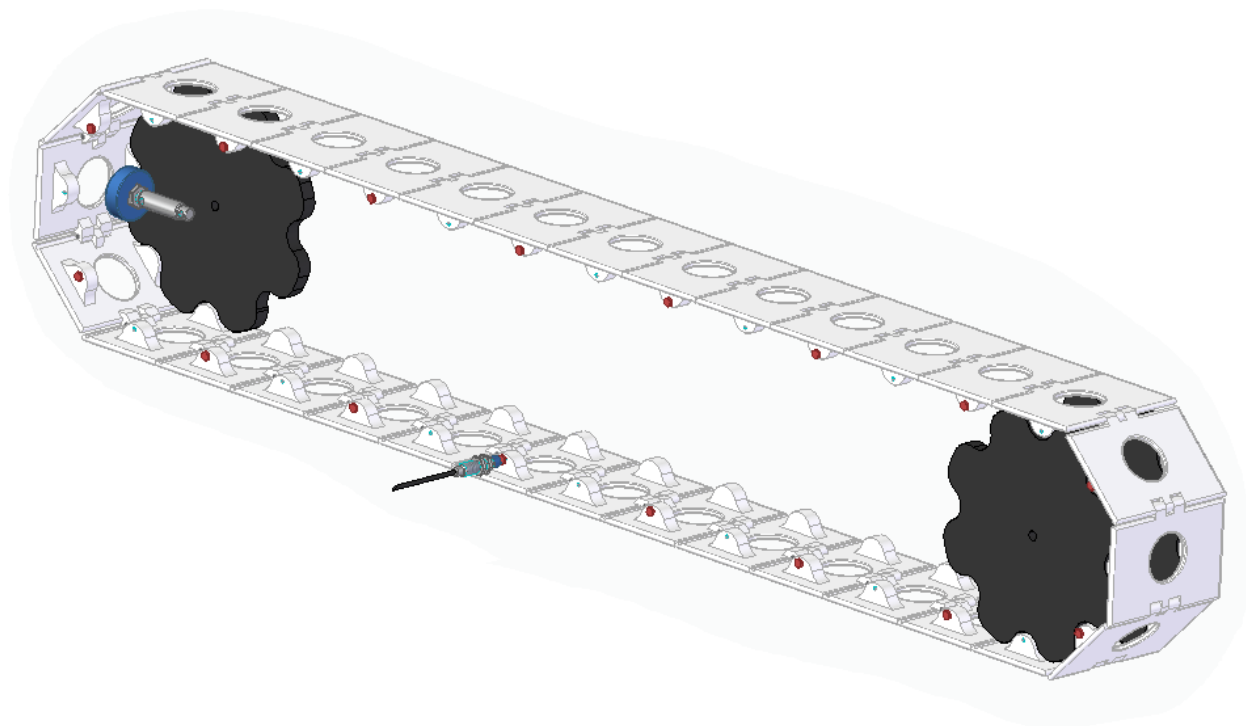
Balbiino AS jäätisepakendamislüli esimese ja teise konveierilüli jaoks on valitud lint, mis on valmistatud tööstuslikuks kasutamiseks mõeldud suure tugevusega spetsiaalsest plastist. See lint koosneb 32 üksikust segmendist, millest igaüks kaalub ligikaudu 0,89 kilogrammi. CAD-tarkvara kasutamine võimaldas segmentide täpset projekteerimist ja tootmist, tagades, et iga osa on konveieril ideaalselt sobitatud ja liidestatud. CAD-mudel on esitatud Joonisel 16. Selline segmentide loomise tehnoloogia tagab nende suure ühilduvuse ja tagab usaldusväärse toe nii vahvlikestele kui ka koonustele, mis on oluline tootmisliini mitmekülgse seisukohalt.



Joonis 16. Esimese konveierisegmendi Solid Edge tarkvara mudel.

Konveieri projekteerimisel on plastiku valik suureks väljakutseks - toiduainetööstuses kasutatakse sageli polüpropüleen, kuna see omab suurepäraseid omadusi: see ei puutu kokku toiduainetega, vältides saastumisohtu, on hästi vastupidav kemikaalide suhtes, omab häid hügieeniomadusi ja ei ima sinna lõhnu. Lisaks sellele peab polüpropüleen vastu korduvale kokkupuutele kõrgete ja madalate temperatuuridega, ilma et tema omadused halveneks, mistõttu sobib see kasutamiseks jahutussüsteemides ja kokkupuutel kuumade toiduainetega. Seega on polüpropüleen sobiv materjal toiduainetööstuses kasutatavate konveierilintide jaoks, mis vastab kõigile vajalikele ohutus- ja kvaliteedinõuetele.

Balbiino ASi jäätisepakendamislíinil on esimene konveier lisaks tööstuslikele polüpropüleenist rihmasegmentidele varustatud ka mitmete muude oluliste komponentidega, mis tagavad selle toimimise. Neist kõige olulisemad on lindi liikumapanevad hammasratased, mis on näidatud Joonisel 17.



Joonis 17. Esimese konveieri Solid Edge tarkvara mudel.

Roostevabast terasest hammasrattad on mehaaniliste süsteemide peamised liikumise ülekandeelemendid ja sellel liinil töötavad nad sünkroonis Siemens servomootoriga, et luua täpne ja stabiilne konveieri liikumine. Iga hammasratas on projekteeritud CAD-tarkvara abil, et tagada täiuslik haakumine ja minimeerida kulumist, mis tagab kogu süsteemi pikaealisuse ja töökindluse. Samuti aitab see hoida konveieri sujuvat tööd ja jäätise täpset positsioneerimist edasiseks pakendamiseks.

Tugevuse ja vastupidavuse lisamiseks kasutatakse süsteemis hammasrattaid, mis on valmistatud kulumis- ja korrosioonikindlatest materjalidest, mis on eriti oluline keskkondades, kus toimub pidev kokkupuude toiduga ja seadmete sage puhastamine. Need konveierilindi segmentidega ühendatud hammasrattad tagavad jäätise pideva ja sujuva voolu pakkimisprotsessi kõikides etappides.

Lisaks on konveieri konstruktsioonis lisaelemendid, nagu laagrid, kinnitusdetailid ja ühenduslābisid, et tagada kõigi mehaaniliste osade ohutu ja sujuv koostoime. Tänu hoolikale projekteerimisele ja kvaliteetsete materjalide kasutamisele on konveieri iga element konstrueeritud nii, et see peab vastu pikkadele töötsükklitele ja säilitab jäätisetootmise kõrged standardid ning vastab kõigile toiduohutusnõuetele.

4.9 Lintkonveier II

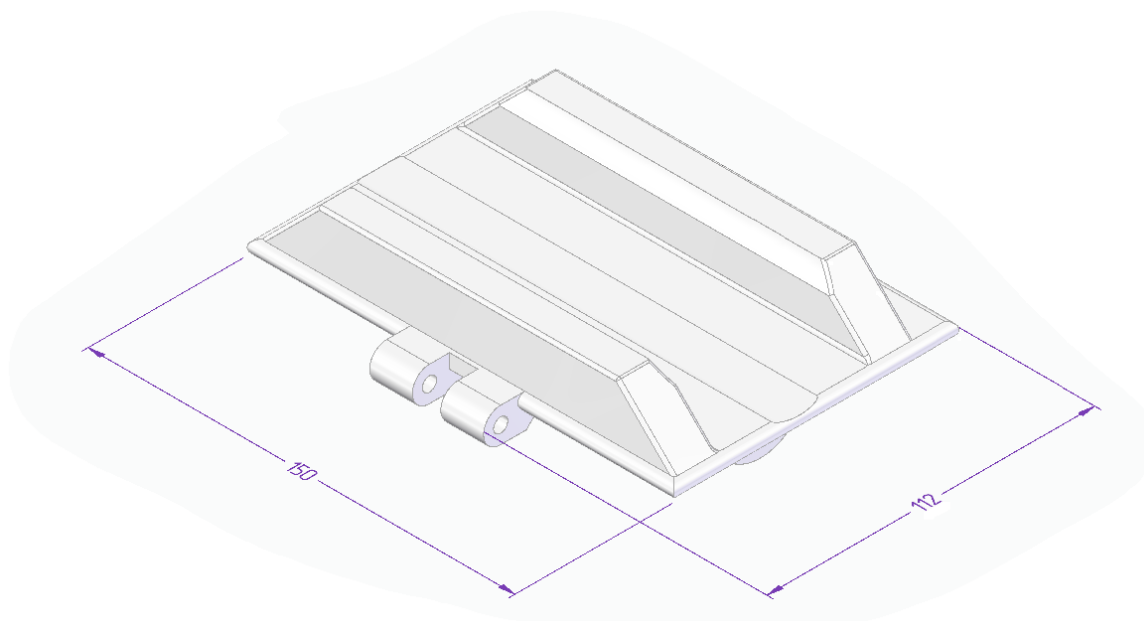
Et tagada maksimaalne tõhusus ja sünkroniseerimine pakkimismasina ja jäätise söötmise protsessi vahel, varustati Balbiino AS jäätise pakkimisliini teine konveier samade põhikomponentidega kui esimene. See tagab täiusliku koostoime kõigi liini elementide vahel, minimeerides tehniliste rikete võimalust ja lihtsustades seadmete integreerimist ja seadistamist.

Teise konveieri mootorielemendiks on Siemens 1FK7042-2AF71-1QA0 servomootor, mis on valitud selle erakordse töökindluse ja täpsuse tõttu. Servomootoril on muljetavaldav dünaamika ja kõrge positsioneerimistäpsus, mis on oluline jäätise stabiilsuse säilitamiseks selle liikumisel esimeselt konveierilt teisele konveierile ja edasisel pakendamisel.

Jäätise liikumist jälgitakse SICK IME12-04NPSZC0S suure täpsusega anduri abil. See induktiivne andur on väga tundlik ja suudab tuvastada metallilisi elemente, näiteks konveierilindi küljes olevaid kontrollpunkte. Kontrollpunktid toimivad võrdluspunktidenä, mida andur kasutab pakendamismasina tegevuse sünkroniseerimiseks jäätise asukohaga lindil.

Need kontrollpunktid on tagasisidesüsteemi lahutamatu osa, mis tagab, et jäätise asendit ja kiirust lindil reguleeritakse pidevalt, nii et iga toode on täpselt õiges kohas ja õigel ajal järgmise pakendamisetapi jaoks. See mitte ainult ei paranda protsessi tõhusust, vaid vähendab ka tõenäosust, et toode saab kahjustada, kuna jäätis viiakse järgmisele etapile vale asukoha või kiirusega.

Teise konveierilindi iga lindisegment on projekteeritud nii, et tagada maksimaalselt toote ohutus transpordi ajal. Lisaks CAD-tarkvara abil kindlaks määratud täpsetele omadustele lisati lindi konstruktsiooni ka jäätise libisemist või ümberminekut takistavad omadused. CAD-mudel on esitatud Joonisel 18 ja selle ligikaudne kaal on 0,171 kg.



Joonis 18. Teise konveierisegmendi Solid Edge tarkvara mudel.

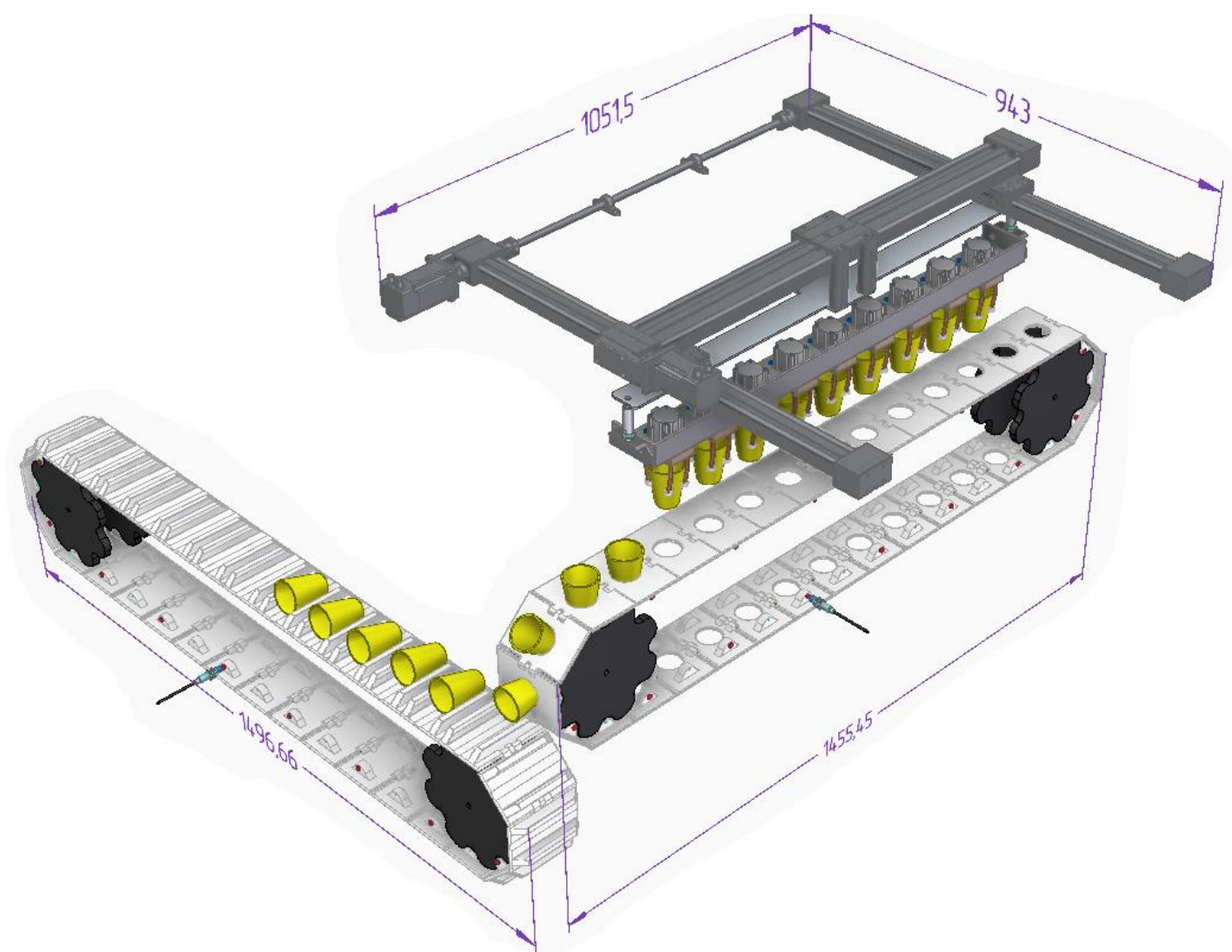
Üldiselt kujutab identsete servomootorite ja andurite kasutamine kahes konveierisüsteemis ning spetsiaalsete kontrollpunktide lisamine endast läbimurret Balbiino AS pakendamislíini protsesside automatiseerimisel, mis võimaldab ettevõttel mitte ainult suurendada tootmismahutu, vaid ka tagada iga pakendatud jäätise kõrge kvaliteet.

Joonisel 19 on kujutatud uuenduslik jäätise pakkimissüsteem, mis ühendab kaks konveierit ja pneumaatilise tangi seadme. See visualiseerimine näitab mitmete tehniliste lahenduste koos töötamise tulemusi ning kujutab endast tootmisprotsessi automatiseerimiseks mõeldud mehaaniliste, elektrooniliste ja tarkvarakomponentide täiuslikku sümbioosi.

Esimene konveier, mis on varustatud spetsiaalsete plastmassist segmentidega, on projekteeritud nii, et ta on suunatud vahvlikestade ja koonuste transportimisele sügavkülmikust pneumaatiliste tangidega haaramispunkti. Konveieri segmendid on optimeeritud jäätise ohutuks liigutamiseks, minimeerides übermineku või muude tootekahjustuste ohtu. Teine konveier on ette nähtud jäätise horisontaalseks transportimiseks pärast selle haaramist tangidega ja tagab toote sujuvaks sisestamiseks pakkimismasinasse. Selline liikumise korraldus aitab kaasa jäätise täpsele paigutamisele pakendamiseks, tagades lõpptoota kõrge kvaliteedi.

Pneumaatilised tangid, mis on kujutatud pildil, on süsteemi võtmelement, mis võimaldab jäätist haarata ja liigutada konveierite vahel suure täpsuse ja kiirusega. Iga tangide liikumine on rangelt sünkroniseeritud süsteemi juhtimistarkvarasse PLC (Programmable Logic Controller) integreeritud servomootorite ja andurite abil, mis tagab kogu líini sujuva ja koordineeritud töö.

See automatiseeritud süsteem peegeldab Balbiino AS pühendumust tootmisprotsesside pidevale täiustamisele ja kaasaegsete tehnoloogiate rakendamisele. See on oluline samm edasi protsesside optimeerimisel, et parandada tõhusust ja tootekvaliteeti ning vähendada pakendamistsükli aega, mis aitab kaasa ettevõtte konkurentsivõimele jäätiseturul.



Joonis 19. Konveieri integreerimise Solid Edge tarkvara mudel.

5. RESSURSSIDE ANALÜÜS KONVEIERISEGMENTIDE 3D-PRINTIMISEKS

Balbiino AS jäätisepakendamislíini automatiseerimise ettevalmistamisel keskenduti konveierisegmentide 3D-trükkimisele. Segmentide alus oli polüpropüleen, mis on toiduainetetööstuses laialdaselt tunnustatud materjal oma hügieenilisuse ja vastupidavuse tõttu erinevatele mõjudele [16].

Iga konveierisegmendi maht on 85746,970 mm³. Mahtude teisendamiseks mm³-st cm³-ks (7) V_{seg} mm³ ja segmendi massi määramiseks kasutati suhtarvu (8) m_{seg} g

$$V_{seg} = \frac{V_{seg}}{1000} , \quad (7)$$

kus V_{seg} – segmenti maht, mm³.

Kasutades polüpropüleeni tihedust 0,9 g/cm³, arvutati ühe segmendi mass grammides

$$m_{seg} = V_{seg} \times \rho_{pol} , \quad (8)$$

kus m_{seg} – segmendi mass, g;

V_{seg} – segmendi maht, cm³;

ρ_{pol} – polüpropüleeni tihedus, g/cm³.

Võttes arvesse vajadust toota 32 segmenti valemiga (9), oli kogu konveieri plasti kogumass ilma jäätmeteta:

$$m_{kogu} = m_{segmendi} \times 32 , \quad (9)$$

kus m_{kogu} – kogu segmentide mass, g;

$m_{segmendi}$ – ühe segmendi mass, g.

Seejärel lisati 15% suurune jäätmetegur, et võtta arvesse kandjatel kasutatud materjali ja võimalikku printimisest loobumist valemiga (10):

$$m_{tegelik} = m_{kogu} \times (1 + 0,15) , \quad (10)$$

kus $m_{tegelik}$ – kogu segmentide mass 15% jäätmega, g;

m_{kogu} – kogu segmentide mass, g.

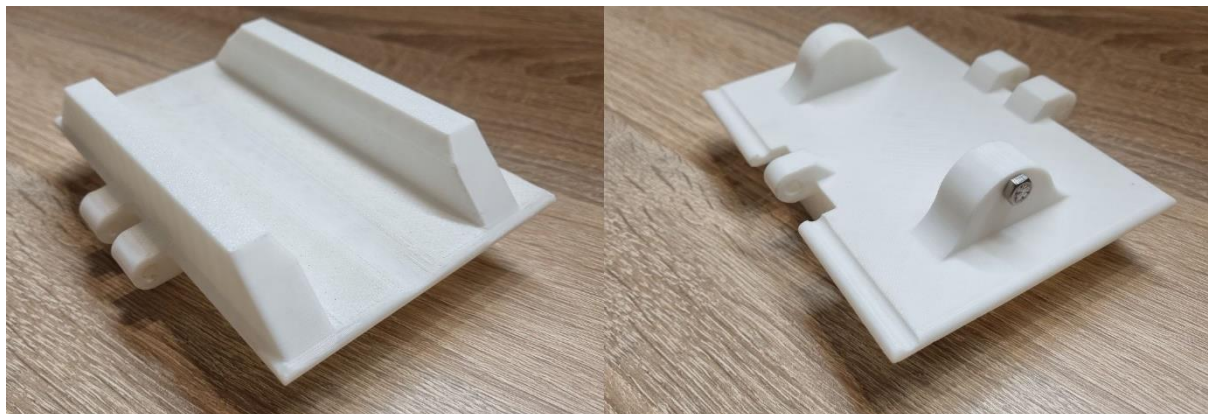
Lõplikud arvutused näitasid, et esimese konveieri ühe segmenti trükkimiseks kulub ligikaudu 0,089 kg polüpropüleenit ja kogu 32 segmenti partii jaoks ligikaudu 2,84 kg, kaasa arvatud jäätmed. Need andmed annavad väärtuslikku teavet ettevõtte automatiseeritud pakendamislíini projekti edasiseks tootmise planeerimiseks ja eelarvestamiseks.

Teise konveierisegmenti arvutamiseks on iga segmenti maht 165446,412 mm³. Võttes arvesse polüpropüleenitihedust 0,9 g/cm³ ja jäätmetegurit 15%, näitasid valemiga tehtud arvutused, et teise konveieri ühe segmenti trükkimiseks on vaja ligikaudu 0,171 kg polüpropüleenit, võttes arvesse jäätmetegurit 15%. Kogu teise konveieri, mis hõlmab 32 segmenti, materjalikogus on koos jäätmetega ligikaudu 5,47 kg polüpropüleenit.

Analüüsi ja 3D-modelleerimise tulemusena oli võimalik printida 3D-printeriga üks esimese ja teise konveieri 32-st segmentist. Osadel on väike kaal ja tugev struktuur, mis on vajalik pika kasutusaja tagamiseks.



Joonis 20. Esimese konveieri 3D-printeriga trükitud segment.



Joonis 21. Teise konveieri 3D-printeriga trükitud segment.

Balbiino ASi jäätise pakendamislíini automatiseerimise projekti raames analüüsi kahe konveieri segmentide 3D-trükkimiseks vajalikku materjalikogust. Esimese konveieri puhul, mille iga segmenti maht on $85746,970 \text{ mm}^3$, näitasid arvutused, et ühe segmenti trükkimiseks kulub umbes 0,089 kilogrammi polüpropüleenist ja kogu 32 segmenti partii puhul umbes 2,84 kg, sealhulgas 15% jäätmeid.

Teise konveieri puhul, mille segmentide maht oli $165446,412 \text{ mm}^3$, oli polüpropüleenivajadus ühe segmenti kohta umbes 0,171 kg ja kogu 32 segmentist koosneva konveieri puhul umbes 5,47 kg polüpropüleeni koos jäätmetega. Need arvutused annavad väärtuslikku teavet ressursside optimeerimiseks ja tootmise planeerimiseks. Konveieri segmentide trükkimiseks on vaja ligikaudu 8,5 kg polüpropüleeni. Polüpropüleeni hind $0,75 \text{ kg} = 21,16 \text{ eurot}$. Järelikult saate proportsiooni abil välja selgitada lõpliku materjalikulu, mis võrdub 239,81 eurot.

Analüüs kinnitas, et 3D-printimine on Balbiino AS pakendikonveierite komponentide tootmiseks tõhus ja kuluefektiivne viis. Selle tehnoloogia kasutamine tagab vajalike elementide kiire ja täpse tootmise ning annab võimaluse konstruktsioonide paindlikuks muutmiseks, et vastata muutuvatele tootmisvajadustele.

3D-printimise kasutamine aitab ka vähendada esialgseid tootmiskulusid ja kiirendada uuenduslike lahenduste kasutuselevõttu tootmisprotsessis. Siiski tuleb arvestada vajadusega testida hiljem trükitud komponentide tugevust ja vastupidavust, et tagada nende usaldusväärsus ja vastavus tööstusliku kasutamise nõuetele.

Tootmisliini tõrgeteta töö tagamiseks usaldusväärsete lahenduste otsimisel on oluline tagavaruosade kättesaadavus. Kuna on vaja mitte ainult konveierisüsteemi põhikomponente, vaid ka varuosasid võimalike hädaolukordade jaoks.

Selle eesmärgi saavutamiseks arvutati välja vajalik trükiimaht ja tulemused näitasid, et trükkimiseks on vaja 70 konveierisegmenti. See maht sisaldab nii tootmisliini kokkupanemiseks vajalikke põhiosasid kui ka varuosasid, mis on vajalikud kiireks reageerimiseks ettenägematute olukordade korral.

Vajadusi arvestades pöördus autor 3D-trükkimise spetsialistide poole. Nende pakkumise kohaselt on ühe segmenti trükkimise maksumus koos pakutavate materjalide ja maksudega 25 eurot (KM-ga). Kõikide vajalike osade trükkimise kogumaksumus on 1750 eurot (KM-ga).

See ettepanek ei ole ettevõtte jaoks mitte ainult kuluefektiivne variant, vaid annab autorile ka garantii, et ta saab tootmisliini tõhusaks toimimiseks vajalikud kvaliteetsed komponendid.

6. PROJEKTI ALUSEL INVESTEERINGUTE MAKSUMUSE ARVESTUS

Automatiseeritud pakendamislíini rakendamine on oluline samm tootmisprotsesside optimeerimiseks ja ettevõtte tõhususe suurendamiseks. Käesolevas aruandes vaatleme Balbiino AS jäätisetehases automatiseeritud pakendamislíini rakendamise projekti peamisi aspekte, sealhulgas komponentide esialgsete kulude arvutusi, eeliste ja puuduste analüüsi ning selle projekti arenguväljavaateid.

6.1 Komponentide kulude arvutused

Tabelis 13 on esitatud peamised komponendid, mis on vajalikud projekti korraldamiseks ja kokkupanekuks. Tabelis on esitatud enamik pneumaatilisi komponente, servomootorid, juhtkontrollerid, andurid, IGUSi mobiilne süsteem, samuti konveierilintide 3D-trükkimiseks vajalike materjalide ulatus.

Tabel 13. Komponentide nimekiri ning maksumus

Komponent	Kogus, tk	Hind, eurot	Lisakulud, eurot
Silinder Festo ADN-S-32-50-A-P-A	9	68,60	35,45
Silinder Festo DSNU-20-100-P-A	2	73,67	
Solenoidventiil Festo VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3	2	84,38	
Ühesuunaline voolu reguleerimise ventiil Festo VFOE-LE-T-G18-Q6	6	11,23	
Silinder Festo DSNU-20-25-PPV-A	2	73,65	
Festo plastist torud PUN-H-6X1-BL 50m	1	83,57	
Ühesuunaline voolu reguleerimisventiil GRLA-1/8-QS-6-D	26	18,87	20,99
T-slot silindri andur MK5101	4	46,52	
Kaheteljeline positsioneerimissüsteem IGUS Gantry XY	1	8 589,95	61,95
HMI kontrollerr Unitroninics Vision 1210	1	2 064,62	
Servomootor Siemens 1FK7042-2AF71-1QA0	2	869,00	46,98
Induktiivne andur SICK IME12-04NPSZC0S	2	52,28	21,57

Polüpropüleen 3D-printeri jaoks	1	239,81	
Hädastopp võtмега SCHNEIDER XB7NS9445	1	13,49	
Moeller signaallamp TWEE KLEUREN	1	30,00	
Kokku	61	14 688,88	186,94
Komponentide hind kokku + 30% kõrvalkulud		19 338,57	

Projekti kulude arvutused on näidanud, et peamiste komponentide, sealhulgas pneumaatiliste osade, elektroonika ja materjalide ostmise konveierisegmentide

3D-printimiseks nõuab 19 338,57 eurot. Lisakulusid võib tekkida täiendavate tööriistade ja tarbekaupade ostmisel, kuna hind on arvestatud individuaalselt.

Projekti eeliseid ja puudusi analüüsid saame kindlaks teha mitmeid põhiaspekte. Eeliste hulka kuuluvad tootlikkuse suurenemine tänu tootmisliini kiiruse suurenemisele, toote kvaliteedi säilitamine ja töötajate paremad töötingimused. Samas tuleb kaaluda võimalikke puudusi, nagu töökohtade kadumine, finantskulud ja sõltuvus tehnoloogiast.

6.2 Teenuste kulude arvutused

Arvestama peab ka vajalike teenuste ja paigaldusega, sest see moodustab üle poole projekti maksumusest ja tuleb teha kvaliteetselt. Selle projekti elluviimiseks on vaja järgmisi teenuseid:

- varraste, raamide ja konveierite tootmine (9 000,00 eurot);
- disainiteenused (4000,00 eurot);
- komponentide montaažiteenused (5000,00 eurot);
- HMI programmeerimine (6000,00 eurot);
- IGUS süsteemi paigaldamine ja programmeerimine (4000,00 eurot);
- turvakujundusteenused (3000,00 eurot);
- komponentide maksumus (19 338,57 eurot);
- 3D-printimise teenus (1750,00 eurot).

Varraste, raamide ja konveierite tootmine hõlmab automatiseeritud pakkimisliini põhielementide, nagu vardad, raamid ja konveierid, tootmist. Disainiteenus hõlmab projekteerimis- ja ehitustehnilisi teenuseid pakendamisliini optimaalseks tööks. Komponentide montaažiteenus hõlmab pakkimisliini erinevate komponentide

kokkupanemist üheks funktsionaalseks üksuseks. HMI programmeerimine hõlmab inimliidese (HMI) programmeerimisteenuseid pakendamislüüsi haldamiseks ja jälgimiseks. IGUS süsteemi paigaldamine ja programmeerimine sisaldavad IGUSE paigaldamist ja seadistamist, mis on automatiseeritud süsteemi toimimise põhikomponent. Turvakujundusteenus hõlmab turvasüsteemi projekteerimise teenuseid, et tagada personali ja seadmete ohutus. Komponentide maksumus on 19 338,57 eurot, see on kõigi pakkimislüüsi ehitamiseks vajalike komponentide kogumaksumus. 3D-printimise teenus sisaldab pakkimislüüsi jaoks vajalike varuosade ja komponentide 3D-printimist.

Kõik loetletud teenused kokku on 52 088,57 eurot. Arvestades täiendavaid kaudseid kulusid 30%, on teenuste kogumaksumus 67 715,14 eurot. Need teenused mängivad automatiseeritud pakendamislüüsi projekti edukas elluviimises võtmerolli.

Tabelis 14 on välja toonud kõik projekti edukaks elluviimiseks vajalikud teenused. Need hõlmavad laia valikut tegevusi, alates kokkupanekust kuni programmeerimise ja testimiseni. Oluline on märkida, et projekti eeldatav valmimisaeg on neljast kuni kuueni kuud.

Tabel 14. Teenuste nimekiri ning maksumus

Teenus	Hind, eurot
Tangide, raamide ja konveierite tootmine	9 000,00
Disainiteenus	4 000,00
Komponentide montaažiteenus	5 000,00
HMI programmeerimine	6 000,00
IGUSE paigaldamine ja programmeerimine	4 000,00
Turvadisaini teenus	3 000,00
Komponendi maksumus	19 338,57
3D printimise teenus	1 750,00
Kokku	52 088,57
Teenuste hind kokku + 30% kõrvalkulud	67 715,14

Üldiselt töötab automatiseeritud pakendamisliini kasutuselevõtt Balbiino AS jaoks märkimisväärset kasu, sealhulgas suuremat tootlikkust, vähem jäätmeid ja paremaid töötingimusi töötajatele. Vaatamata mõningatele puudustele, õigustab selle projekti kasu selle kulusid ja avab väljavaated tootmisprotsessi edasiseks arendamiseks ja moderniseerimiseks.

KOKKUVÕTE

Balbiino AS tootmisliinil automatiseeritud jäätise pakkimissüsteemi arendamise ja rakendamise projekti raames teostas autor lõputöö käigus olemasolevate tootmisprotsesside ulatusliku analüüsi ja tuvastas võimalikud nõrgad kohad. Töö eesmärk ei olnud mitte ainult tehniliste paranduste rakendamine, vaid ka püüdlus suurendada üldist tootlikkust, vähendada kulusid ning parandada valmistoote kvaliteeti ja ohutust ning selle tootmist.

Autor vaatles tootmisprotsessi erinevaid aspekte, alates olemasolevate probleemide ja inimtööjõuga seotud riskide analüüsist kuni automatiseeritud lahenduste, sealhulgas pneumaatiliste haaratsite ja elektropneumaatiliste ventiilide väljatöötamiseni, mis optimeerisid pakendamisprotsessi ning tagasid selle tõhususe ja täpsuse.

Projekti tulemusena projekteeris ja visualiseeris autor olemasolevasse tootmisliini integreeritud modulaarse haaratsisüsteemi, mis tagab toodete täpse ja usaldusväärse haaramise, positsioneerimise ja transportimise pakkimismasinasse.

Modelleerimise käigus võttis autor arvesse ka selliseid tegureid nagu komponentide ühilduvus, paigaldamise ja hoolduse lihtsus, samuti ergonoomika ja tööohutus. Selle tulemuseks oli integreeritud süsteem, mis vastab kõrgetele kvaliteedi- ja tootmisvõimsuse standarditele. Kolmemõõtmeliste mudelite loomine ei hõlmanud mitte ainult geomeetriliste vormide ja mõõtmete määratlemist, vaid ka iga komponendi funktsionaalsete omaduste arvestamist. See võimaldas süsteemi virtuaalset katsetamist, võimalike probleemide tuvastamist ja komponentide optimeerimist.

Autor viis läbi ulatusliku kuluanalüüsi, sealhulgas arvutas 3D-printimiseks kulunud komponentide ja materjalide maksumuse, ning jõudis järeldusele, et projekt on teostatav ja kulutasuv.

Kokkuvõtteks võib öelda, et projekt on edukas samm tootmisprotsesside optimeerimise, toote kvaliteedi parandamise ja Balbiino ASi konkurentsivõime suurendamise suunas rahvusvahelisel turul.

Lisaks modelleeriti protsessi käigus paljud detailid CAD-tarkvaras, mis võimaldas pakendamissüsteemi üksikasjalikumalt kavandamist. Investeeringud sellesse projekti toovad ettevõttele eeldatavasti märkimisväärset kasu, sealhulgas tootlikkuse suurenemist, kulude vähenemist ja toote kvaliteedi paranemist.

SUMMARY

As part of the project of developing and implementing an automated ice cream packaging system on the production line of Balbiino AS, the author performed an extensive analysis of the existing production processes during the thesis and identified possible weak points. The purpose of the work was not only to implement technical improvements, but also to strive to increase overall productivity, reduce costs and improve the quality and safety of the finished product and its production.

The author looked at various aspects of the manufacturing process, from analyzing existing problems and risks associated with human labor to developing automated solutions, including pneumatic grippers and electropneumatic valves, that optimized the packaging process and ensured its efficiency and accuracy.

As a result of the project, the author designed and visualized a modular gripping system integrated into the existing production line, which ensures accurate and reliable gripping, positioning and transportation of products to the packaging machine.

During the modeling, the author also took into account factors such as component compatibility, ease of installation and maintenance, as well as ergonomics and operational safety. This resulted in an integrated system that meets high standards of quality and production capacity. The creation of three-dimensional models involved not only the definition of geometric forms and dimensions, but also the consideration of the functional properties of each component. This allowed virtual testing of the system, identification of potential problems and optimization of components.

The author conducted an extensive cost analysis, including calculating the cost of components and materials used for 3D printing, and concluded that the project is feasible and cost-effective.

In conclusion, it can be said that the project is a successful step towards optimizing production processes, improving product quality and increasing the competitiveness of Balbiino AS on the international market.

In addition, during the process, many details were modeled in CAD software, which allowed for a more detailed design of the packaging system. Investments in this project are expected to bring significant benefits to the company, including increased productivity, reduced costs and improved product quality.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] "Balbiino AS ettevõttes." URL:
<https://www.balbiino.ee/ettevote/>.
[Vaadatud 1. märts, 2024]
- [2] "Compact cylinder Festo ADN-S-32-50-A-P-A – Technical Data" URL:
<https://www.festo.com/tw/en/a/8091458>.
[Vaadatud 12. märts, 2024]
- [3] "Solenoid valve Festo VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3 – Technical Data" URL:
<https://www.festo.com/tw/en/a/574438>.
[Vaadatud 12. märts, 2024]
- [4] "ISO cylinder Festo DSNU-20-100-P-A – Technical Data" URL:
<https://www.festo.com/tw/en/a/19212>.
[Vaadatud 12. märts, 2024]
- [5] "One-way flow control valve Festo VFOE-LE-T-G18-Q6 – Technical Data" URL:
<https://www.festo.com/ee/en/a/8068726>.
[Vaadatud 12. märts, 2024]
- [6] "Artikkel – Raskusjõud " URL: <https://www.taskutark.ee/raskusjoud-2/>.
[Vaadatud 14. märts, 2024]
- [7] "Vikipeedia artikkel – Vaba langemine" URL:
https://et.wikipedia.org/wiki/Vaba_langemine.
[Vaadatud 14. märts, 2024]
- [8] "Toppr artikkel – Physics Formulas" URL:
<https://www.toppr.com/guides/physics-formulas/pressure-formula/>
[Vaadatud 14. märts, 2024]
- [9] "Area of a Circle artikkel" URL:
<https://www.mathsisfun.com/geometry/circle-area.html>
[Vaadatud 14. märts, 2024]
- [10] "T-slot cylinder sensor MK5101 – Technical Details" URL:
<https://www.ifm.com/de/en/product/MK5101>.
[Vaadatud 12. märts, 2024]
- [11] "XY Gantry & Cartesian Robots by drylin" URL:
<https://www.igus.com/roboLink/xy-gantries?sort=3&inch=false>.
[Vaadatud 30. märts, 2024]
- [12] "Vision1210™- PLC Controller With High Resolution HMI Touchscreen" URL:
<https://www.unitronicsplc.com/vision-series-vision1210>.
[Vaadatud 12. märts, 2024]

- [13] "Siemens 1FK7042-2AF71-1QA0 –Data Sheet" URL:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/1FK70422AF711QA0>.
[Vaadatud 12. märts, 2024]
- [14] "INDUCTIVE PROXIMITY SENSORS SICK IME12-04NPSZC0S " URL:
https://www.sick.com/media/pdf/6/46/446/dataSheet_IME12-04NPSZC0S_1040748_en.pdf.
[Vaadatud 12. märts, 2024]
- [15] "ISO cylinder Festo DSNU-20-25-PPV-A – Technical Data" URL:
<https://www.festo.com/ee/en/a/33974>.
[Vaadatud 12. märts, 2024]
- [16] "Polypropylene (PP) 3D Printing - Article " URL:
<https://all3dp.com/1/polypropylene-3d-printing-pp-ultimate-guide>.
[Vaadatud 31. märts, 2024]
- [17] " Polypropylene (PP) - Article" URL:
https://help.prusa3d.com/article/polypropylene-pp_167126. [Vaadatud 31. märts, 2024]