

ŠLAPIO PRODUKTO PAKUOTĖS KONVEJERIO PROJEKTAVIMAS

Gražvydas Želvys, lekt. Remigijus Juknevičius
Šiaulių valstybinė kolegija, Aušros al. 40, Šiauliai

Anotacija. Šiame straipsnyje nagrinėjami konvejerinės sistemos, skirtos šlapio produkto (vakuumuotų žuvies filė pakuočių) transportavimui maisto pramonės įmonėje automatizuoti, projektavimo ir diegimo klausimai. Nors automatizavimas ir robotizavimas tampa vis svarbesniais maisto pramonės veiksniais, jų pritaikymas šlapių produktų tvarkymui kelia specifinių iššūkių. Projektas apima esamų konvejerio sistemų analizę, konstrukcinius skaičiavimus ir ekonominį pagrindimą. Projektuojama sistema paremta moduline polipropileno (PP) juosta ir AISI 304 nerūdijančiu plienu, siekiant užtikrinti aukštą higienos lygį ir atitikti maisto pramonės standartams. Ekonominė analizė parodė, kad konvejerio sistemos diegimas leis sumažinti darbo sąnaudas ir atsipirks per apytiksliai 60 darbo dienų, todėl tai yra ekonomiškai pagrįstas sprendimas automatizuojant vidutinės apimties žuvies filė apdorojimo liniją.

Pagrindiniai žodžiai. konvejeris, automatizavimas, šlapio produkto transportavimas, maisto pramonė, ekonominė analizė, procesų optimizavimas.

Ivadas. Didėjant maisto pramonės gamybos apimtims ir siekiant užtikrinti aukštą darbo efektyvumą bei kokybę, vis dažniau imamasi procesų automatizavimo sprendimų. Vienas pagrindinių būdų mažinti rankinio darbo sąnaudas ir didinti darbo našumą – tai konvejerinių sistemų diegimas tose gamybos grandyse, kuriose iki šiol produktų judėjimas buvo vykdomas rankiniu būdu. Automatiniai konvejeriai leidžia užtikrinti nuoseklų, tolygų ir greitą produktų transportavimą, tuo pačiu sumažina žmoniškųjų klaidų riziką, optimizuoja darbo laiką.

Problema: Rankinis vakuumuotos žuvies filė pakuočių transportavimas tarp gamybos etapų UAB „X“ sukelia nepakankamą procesų efektyvumą, padidina darbo sąnaudas.

Projekto tikslas: Suprojektuoti juostinį konvejerį UAB „X“ šlapio vakuumuoto produkto pakuotės transportavimui į kitą procesą.

Uždaviniai:

1. Palyginti esamų konvejerių sistemas;
2. Atlikti konstrukcinius skaičiavimus;
3. Atlikti projekto ekonominį pagrindimą;

Įrenginių konstrukcijų analizė

UAB „X“ žuvies perdirbimo ir pakavimo linijose naudojami skirtingų gamintojų konvejeriai, atitinkantys šiuolaikinės maisto pramonės reikalavimus. Dažniausiai taikomi „Marel“ įmonės konvejeriai (žr.1 pav.) ir kitų gamintojų juostiniai moduliniai konvejeriai, kurių paskirtis – užtikrinti, sklandų produkto transportavimą tarp skirtingo procesą etapų: nuo žaliavos apdorojimo iki pakavimo ar šaldymo.



1 pav. „Marel“ išpjaustymo linijos

„Marel“ konvejeriai pasižymi itin aukštu automatizavimo lygiu – jie integruoti su svėrimo, rūšiavimo, porcijavimo sistemomis, sujungti su bendru PLV valdymo tinklu. Tokie konvejeriai yra skirti ne tik produktų transportavimui, bet ir atlieka technologines funkcijas: duomenų rinkimą,

atskyrimą, tempimo reguliavimą pagal gamybos tempą. Šie konvejeriai pagaminti iš aukštos kokybės nerūdijančio plieno, turi uždarus arba pusiau atvirus rėmus, kurie yra lengvai valomi ir prieinami, atitinka higienos standartus (HACCP¹).

Kiti naudojami konvejeriai – moduliniai juostiniai konvejeriai, kurių konstrukcijos sudarytos iš nerūdijančio plieno, lengvos eksploatacijos, tiek valymo darbams tiek techniniam aptarnavimui, tačiau ne tokios išmanios ir naudojamos tik produktų transportavimui iš vieno taško į kitą.

Privalumai ir trūkumai. 1 lentelėje pateikti esamų konvejerių privalumai ir trūkumai

1 lentelė Įmonėje naudojamų konvejerių privalumai ir trūkumai

Konvejerio tipas	Privalumai	Trūkumai
„Marel“ konvejeriai	Integruoti su pažangiomis sistemomis (svėrimas, rūšiavimas) Tikslus valdymas per PLC Aukštas higienos lygis Patikimas ir ilgaamžis	Aukšta įrengimo kaina Daug elektronikos – didesni priežiūros ir kvalifikuoto personalo reikalavimai
Moduliniai juostiniai konvejeriai	Lengvai keičiamos modulio dalys Tinka šlapioms zonoms Geras drenažas Higieniškas dizainas	Didesnis triukšmo lygis nei PVC juostų Didesnis svoris, todėl gali reikėti galingesnio variklio

Konvejerio projektavimas ir konstrukciniai skaičiavimai

Projektuojamas horizontalus konvejeris, skirtas vakuumuotų žuvies produktų transportavimui į kitą gamybinį etapą. Konvejerio konstrukcija paremta nerūdijančio plieno (AISI304) rėmu su integruota moduline plastikine juosta. Konstrukcija pritaikyta veikti šlapioje ir higienai jautrioje aplinkoje. Kairėje pusėje tvirtinamas fiksuotas bortelis, kuris veikia kaip šoninis kreiptuvas ir jutiklių laikiklis. Prie bortelio integruoti du ultragarsiniai jutikliai: vienas – konvejerio pradžioje, fiksuoja įeinantį produktą ir įjungia konvejerį, o kitas – juostos gale sustabdo konvejerį 1,5 sekundės. Taip užtikrinamas tolygus pristatymas kitam procesui, išvengiama produktų susikaupimo.

Vakuumuota pakuotė išeina iš „Multivac“ vakuavimo įrenginio, išėjimo juostos plotis yra 48 cm, įrenginio aukštis 85–89 cm nuo žemės. Kadangi šioje darbo vietoje grindys yra su ganėtinai dideliu nuolydžiu, projektuojamo konvejerio atramos privalo būti reguliuojamo aukščio, kiekviena atrama reguliuojama atskirai.

Kitame procese, kuris yra už projektuojamo konvejerio, naudojamas svorio kontrolės įrenginys, kuris tikrina produkto pakuotės svorį ir, esant neatitikimui, pakuotę pašalina. Išanalizavus šio įrenginio duomenis gauta, kad aukštis yra 94 cm nuo žemės. Bendras konvejerio plotas – 40 cm, o naudojamos juostos plotas – 24,5cm.

Šiuo metu vakuumuota produkcija konvejeriu keliauja ant surinkimo stalo, o darbuotojas ją perkelia ant svorio kontrolės įrenginio.

Techninės charakteristikos

Atlikus darbo vietos analizę parenkama techninė konvejerio charakteristika:

- Konvejerio ilgis – 1140 mm;
- Darbinis plotis – 300 mm;
- Rėmo aukštis – reguliuojamas 800-950 mm;
- Juostos tipas – maistui skirta modulinė juosta iš PP ² [1];
- Konstrukcijos medžiaga – AISI 304 nerūdijantis plienas;

Apkrovų skaičiavimas

Atliekant projektuojamo konvejerio konstrukcijos apkrovų skaičiavimą, įvertintos dvi pagrindinės apkrovos: pačios juostos svoris ir transportuojamo produkto svoris.

Projektuojamo konvejerio darbinis plotis – 300 mm, bendras juostos ilgis – 2591 mm. Juostos tankis 5,8 kg/m². Vienu metu ant konvejerio transportuojamos 6 vakuumuotos žuvies pakuotės, kurių vienos svoris yra 0,4 kg.

Atlikus skaičiavimus nustatyta:

¹ HACCP – Hazard Analysis Critical Control Points (liet. Pavojų analizė ir kritiniai kontrolės taškai)

² PP – Polipropilenas

$$\text{Juostos plotas: } S_{juosta} = 2,291m \cdot 0,3m = 0,68 m^2;$$

$$\text{Juostos masė: } m_{juosta} = 0,68 m^2 \cdot 5,8 kg/m^2 = 3,9 kg;$$

$$\text{Juostos svoris: } P_{juosta} = 3,9 kg \cdot 9,81 = 38,259 N;$$

$$\text{Produkto bendras svoris: } P_{juosta} = 2,4 \cdot 9,81 = 23,54 N;$$

$$\text{Bendra konstrukciją veikianti apkrova: } P_{bendra} = 38,26 + 23,54 = 61,8 N;$$

Juostos pločio ir ilgio parinkimas

Projektuojamas konvejeris apskaičiuojamas:

$$L = 2 \cdot b + 2\pi R;$$

b – atstumas tarp veleno centrų, mm

R – veleno žvaigždučių spinduliai. D – 99,2mm

$$L = 2 \cdot 990 + 2 \cdot 3,14 \cdot 49,6 = 2291,5 mm.;$$

Imamas bendras juostos ilgis 2291 mm.

Juostos plotis – 300 mm.

Apskaičiuojamas naudojamos segmentinės juostos svoris:

$$q_a = 5,8 kg/m^2 \cdot 0,68 m^2 = 3,9 kg;$$

Juostos tempimo jėgos skaičiavimas

Atsižvelgiant į projektuojamo konvejerio paskirtį, atliekamas juostos tempimo jėgos skaičiavimas, įvertinant darbo režimą su start / stop ciklais.

$$\text{Produkto svoris: } m_x = 0,4 kg;$$

$$\text{Produkto ilgis: } l_x = 0,225 m;$$

$$\text{Tarpas tarp produktų: } l_a = 0,007 m;$$

$$\text{Juostos tankis: } q_a = 5,8 kg/m^2;$$

$$\text{Juostos plotis: } b_a = 0,3 m;$$

$$\text{Trinties koeficientas: } \mu_a = 0,25;$$

$$\text{Laisvasis kritimo pagreitis: } g = 9,81 m/s^2;$$

$$\text{Apkrauta atkarpa: } L = 0,402 m;$$

Specifinio produkto svorio apskaičiavimas: [4]

$$q_x = \frac{m_x}{l_x + l_a} = \frac{0,4}{0,225 + 0,007} = 1,74 kg/m;$$

Trinties jėgos skaičiavimas: [4]

$$F_{RS} = \mu_a \cdot g \cdot L \cdot (q_a + q_x);$$

$$F_{RS} = 0,25 \cdot 9,81 \cdot 0,402 \cdot (3,9 + 1,74) = 5,16 N;$$

Tempimo jėga:

$$F_n = F_{RS} + F_n - 1 = 5,16 + 0 = 5,16 N;$$

Sureguliuota tempimo jėga (start/stop režimui):

$$F_{adj} = F_n \cdot C_{op} = 5,16 \cdot 1,2 = 6,2 N;$$

čia: $C_{op} = 1,2$;

Tempimo jėga vienam mm juostos pločio: [4]

$$W_b = 300 mm;$$

$$F'_{adj} = \frac{F_{adj}}{W_b} = \frac{6,2}{300} = 0,021 \frac{N}{mm};$$

Leistina jėga: [4]

$$F'_{adj} < F'_{adm} = 0,021 \frac{N}{mm} < 1,1 \cdot \frac{10^{-7} N}{mm};$$

Variklio parinkimas

Remiantis „Dertec“ katalogu [2], parinktas nerūdijančio plieno korpuso, klasės asinchroninis variklis „Dertec IEC63 FP3SS 631-4“ (galia 0,12 kW, apsaugos klase IP69K, sukimosi greitis 1350 aps./min). Šis variklis atitinka higienos reikalavimus ir turi pakankamą galios rezervą. Variklis komplektuojamas su „Dertec FVS 050 IEC56“ reduktoriumi.

Sijų ilgio skaičiavimas

$$\text{Sijos ilgis tarp atramų } a = 0,642m$$

$$\text{Apkrova } F = 67,69 N;$$

Tamprumo modulis (nerūdijantis plienas AISI 304): $E = 193 \cdot 10^9 Pa$;

Profilis: kvadratinis vamzdis 40x40x2 mm

Inercijos momento skaičiavimas:

$$I = \frac{b^4 - b_i^4}{12} = \frac{0,04^4 - (0,04 - 0,002)^4}{12} = 7,34 \cdot 10^{-9} m^4;$$

čia: b – išorinis kraštas, b_i – vidinis kraštas.

Linijinės paskirstytos apkrovos skaičiavimas:

$$q = \frac{F}{a} = \frac{61,8}{0,642} = 96,26 N/m;$$

Didžiausio įlinkio skaičiavimas:

$$f_{max} = \frac{5q \cdot a^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 96,26 \cdot 0,642^4}{384 \cdot 193 \cdot 10^9 \cdot 7,34 \cdot 10^{-9}} = 1,5 mm;$$

Gautas įlinkis rėmui įtakos neturės.

Guolių ilgaamžiškumo skaičiavimai. Guoliai parenkami iš Dertec katalogo [2] pagal maisto pramonei keliamus reikalavimus.

Apskaičiuojama ekvivalentinė apkrova [3]:

$$P = (XVF_r + YF_a)k_s k_t;$$

čia: F_r – radialinė guolio apkrova; F_a – ašinė guolio apkrova; V – sukimosi koeficientas (kai sukasi guolio vidinis žiedas $V = 1$); k_s – saugumo koeficientas 1,6; k_t – temperatūrinis koeficientas, kai guolio temperatūra iki $100^\circ C = 1$; X ir Y radialinės apkrovos koeficientai.

Nustatomas ribinis koeficientas e , F_a parenkamas pagal leistiną guolio ašinę apkrovą 4,09 [4].

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{4,09}{6,98} = 0,58 > e;$$

Parenkamas $e = 0,5$; $Y = 1$; $X = 0,56$ [3]:

Apskaičiuojama ekvivalentinė apkrova, kai $F_r = 5,84 N$, o $F_a = 0$;

$$P = (0,56 \cdot 1 \cdot 5,84 + 1 \cdot 0)1,6 \cdot 1 = 5,23 N;$$

Apskaičiuojamas guolio ilgaamžiškumas [4]:

$$L_{ml.aps} = \left(\frac{C}{P}\right)^p;$$

$$L_{ml.aps} = \left(\frac{9800}{5,23}\right)^3 = 6,58 \cdot 10^9 aps.;$$

čia: p – laipsnio rodiklis = 3;

Velenų skaičiavimai

Juostos tempimo jėga: $F_{adj} = 5,84 N$

Parinktos žvaigždutės skersmuo: $D = 99,2 mm$

Medžiaga: AISI 304 plienas

Leistinas tempimo įtempis: $\sigma_{all} = 520 N/mm^2$

Leistinas sukimo įtempis: $\tau_{all} = \sigma_{all} / 12 = 43,3 N/mm^2$

Sukimo momentas:

$$T = \frac{(F_{adj} \times D)}{2} = \frac{(5,84 \times 99,2)}{2} = 289,7 Nmm;$$

Minimalus veleno skersmuo:

$$d = \sqrt{16 \times \frac{T}{(\pi \times \tau_{all})}} = \sqrt{16 \times \frac{289,7}{(\pi \times 43,3)}} = 5,83 mm;$$

Parenkamas keturkampis velenas 30x30 mm, pagamintas iš nerūdijančio plieno AISI 304, su tekintais galais, kurių skersmuo yra 25 mm. Šis velenas yra didesnis nei minimalus apskaičiuotas ir atitinka reduktoriaus išėjimo veleno bei parinktų guolių skersmenis.

Veleno susisukimo skaičiavimas

Veleno apkrova $F_{adj} = 5,84 N$

Veleno ilgis tarp atramų: $l_s = 330 mm$

$G = 75000 MPa = 75000 N/mm^2$ (šlyties modulis)

Plieno tamprumo modulis: $E = 180000 MPa = 180000 N/mm^2$

Veleno susisukimas skaičiuojamas [21].

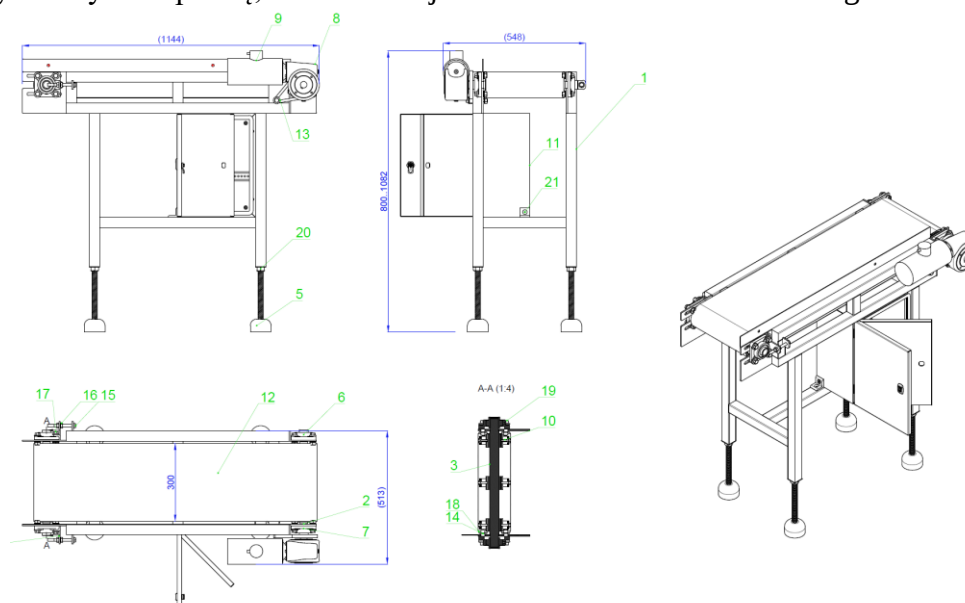
$$\varphi = \frac{(90 \cdot F_{adj} \cdot D_0 \cdot l_s)}{(\pi \cdot G \cdot l_T)} = \frac{(90 \cdot 5,84 \cdot 99,2 \cdot 330)}{(3,14 \cdot 75000 \cdot 2200)} = 0,032 \text{ rad} \approx 1,8^\circ;$$

čia: F_{adj} – juostos tempimo jėga, N; D_0 – žvaigždutės skersmuo, mm; l_s – veleno ilgis, mm; G – šlities stipris, N/mm²; l_T – sukimo inervinė jėga, mm⁴;

Inercijos momentas: $l_T = 0,141 \cdot (30)^4 = 2200 \text{ mm}^4$

Konvejerio surinkimas ir valdymas

Konvejerio bendrame vaizde (žr. **Klaida! Nerastas nuorodos šaltinis.** pav.) pateikiamos konvejerio projekcijos, kurios parodo rėmo aukštį, atramų išdėstymą, darbinės juostos plotį, variklio ir valdymo skydelio padėtį, o konstrukcijos erdvinis vaizdas suteikia daugiau vaizdumo.



2 pav. Konvejeris

Valdymo sistema. Projektuojant gamybinę liniją ir įdiegiant automatizuotą transportavimo sistemą, siekiama sumažinti rankinio darbo apimtį, padidinti efektyvumą ir sumažinti klaidų tikimybę. Transportavimo konvejeris valdomas „Schneider PLV“, kuris koordinuoja variklį, sensorius ir avarinį mygtuką, užtikrindamas greitą ir saugų pakuočių pervežimą iš vieno proceso etapo į kitą.

Suprojektuota valdymo programa naudoja įėjimo ir išėjimo sensorinius signalus, TP tipo laikmatį (1,5 sek., automatinė stabdymo pertrauka) ir skaitiklį (stabdo variklį po 6-ių pakuočių). Programa įjungia variklio ritę aptikus pakuotę įėjimo sensoriuje, sustabdo ją praeinant išėjimo sensoriui, paleidžia laikmatį, ir po to automatiškai įjungia variklį tolesniam ciklui.

Ekonominis pagrindimas. Konvejerio diegimo išlaidos apima kelias pagrindines sudedamąsias dalis. Šiuo atveju konvejeris susideda iš metalo konstrukcijos, variklio, valdiklio, transportavimo juostos ir įdiegimo darbų. Bendra konvejerio įdiegimo kaina pateikiama 2 lentelėje:

2 lentelė. Bendra konvejerio įdiegimo kaina

Pavadinimas	Bendra suma, Eur
Konstrukcija	432,83
Variklio komponentai	1427,8
Valdymo sistema	624,99
Juostos komponentai	640,08
Atliekami darbai	604
Viso:	3729,7

Investicijų atsiperkamumo skaičiavimas. Pagal Lietuvoje galiojančius įstatymus, prie darbo užmokesčio turi būti pridedami socialinio draudimo mokesčiai. Tai apima socialinio draudimo

įmokas, kurios šiuo metu sudaro 1,77% nuo atlyginimo, apskaičiuojama bendra darbuotojo kaina per valandą (žr. 3 lentelę).

3 lentelė. Bendra darbuotojo kaina per valandą

Valandinis atlyginimas, Eur	Sodros mokestis (1,77 %), Eur	Bendra suma, Eur
7,73	0,14	7,87

Skaiciuojant investicijos atsiperkamumą, galima atlikti šiuos skaičiavimus:

- Sutaupyta darbo valandos per dieną: 8 val.
- Sutaupyta darbo sąnaudos per dieną = 8 val. × 7,87 EUR = 62,96 EUR.
- Transporterio įdiegimo kaina: 3729,7 EUR.
- Sutaupyta darbo sąnaudos per dieną: 62,96 EUR.

Atsiperkamumo laikotarpis : $3729,7 \text{ EUR} \div 62,96 \text{ EUR per dieną} \approx 59,5$ dienos. Tai rodo, kad investicija atsipirks per maždaug 60 darbo dienų, o vėliau generuos grynąją naudą įmonei.

Išvados

1. Išanalizavus įmonėje eksploatuojamų konvejerių privalumus ir trūkumus, parinkta modulinė polipropileno (PP) juosta, užtikrinanti patogią eksploataciją ir aukštą higienos lygį.
2. Atlikus pagrindinius konstrukcinius skaičiavimuose gauta: juostos ilgis 2291 mm, ir masė 3,99 kg, bendros apkrovos ir tempimo jėgos skaičiavimuose gauta apkrova – 62,6 N, ir 6,2 N tempimo jėga. Parinktas „Dertec“ 0,12 kW variklis, apskaičiuotas sijos įlinkis – 1,5 nm, guolio ilgaamžiškumas $6,58 \cdot 10^9$ aps. užtikrina konstrukcijos standumą ir patikimumą.
3. Atlikus ekonominį projekto pagrindimą, nustatyta, kad bendros konvejerio įrengimo išlaidos sudaro 3729,7 Eur, o dėl darbo sąnaudų taupymo – 62,96 Eur per dieną – investicija atsipirks per apytiksliai 60 darbo dienų.

Informacijos šaltiniai

1. Modulinės juostos parinkimas „Habasit“ įmonės katalogas. Prieiga per internetą 2025-05-26. [interaktyvus]:< <https://www.habasit.com/en/Products/HabasitLINK-Modular-Belts/Modular-Belts-for-wet-food>>;
2. Elektros variklio ir reduktorių parinkimas „Dertec“ įmonės katalogas. Prieiga per internetą 2025-04-24. [interaktyvus]:< <https://www.dertec.com>>.
3. Dulevičius, J. Eidukynas, V. Žėbienė, A. Naginavičienė, L. Palionis, A. Pilkauskas, K. Žiedelis, S. Žiliukas, P. Grigas, V. (2010) Mašinų elementai: skaičiavimas ir konstravimas, Kaunas: KTU leidykla „Technologija“
4. Forbo Sieglink (2012) Recommendations for constructing and calculating conveyors. Prieiga per internetą 2025-04-04 [interaktyvus]:< <https://www.forbo.com/media/document/8d828b24-c03a-498c-ab3b-713371a7a5d5>>.