



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Duonos gaminių pakavimo sistemos efektyvumo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Klaudijus Geidonas

Projekto autorius

Doc. Dr. Virginijus Baranauskas

Vadovas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Duonos gaminių pakavimo sistemos efektyvumo tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Valdymo technologijos (6211EX014)

Klaudijus Geidonas

Projekto autorius

Doc. Dr. Virginijus Baranauskas

Vadovas

Doc. Dr. Kastytis Ratkevičius

Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Klaudijus Geidonas

Duonos gaminių pakavimo sistemos efektyvumo tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Klaudijaus Geidono, baigiamasis projektas tema „Duonos gaminių pakavimo sistemos efektyvumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Klaudijus Geidonas. Duonos gaminių pakavimo sistemos efektyvumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Virginijus Baranauskas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): elektronikos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: duonos padėties nustatymas, programos standartizavimas, derinimo lankstumas.

Kaunas, 2019. 65 p.

Santrauka

Šiame darbe yra analizuojami duonos pakavimo sistemos efektyvumo didinimo būdai, pasitelkiant produkto orientacijos keitimą ir pakavimo linijos veikimo optimizavimą.

Projekte apžvelgiami duonos judėjimo padėties nustatymo būdai naudojant skirtingus metodus. Nesimetriško produkto orientavimas patenkant į pakavimo įrenginį yra labai svarbus tiek pakavimo procesui, tiek pakavimo estetikai. Apžvalginėje dalyje supažindinama su skirtingais atpažinimo metodais, pakavimo sistemos technologiniu procesu bei naudojama įranga. Darbo metodinėje dalyje yra aprašoma kaip buvo atliekami eksperimentai, nustatant produkto orientaciją, bei gauti rezultatai atlikus eksperimentus. Taip pat, pateikiami patobulinti pakavimo linijos programos fragmentai su keitimo motyvacijos aprašais.

Klaudijus Geidonas. Investigation of Bread Packaging System Efficiency. Master's Final Degree Project / supervisor Doc. dr. Virginijus Baranauskas; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): electronics engineering, engineering sciences.

Keywords: bread orientation recognition, program standardization, adjustment versatility.

Kaunas, 2019. 65 pages.

Summary

This paper explores ways to increase the efficiency of a bread packaging system through product orientation change and system performance optimization.

The project reviews ways of identifying bread orientation using different methods. Orientation of the asymmetric product before entering the packaging unit is very important for the packaging process as well as for the packaging aesthetics. The review section of the thesis introduces different identification methods, packaging process technology and the equipment used during experiments. The methodological part presents how experiments were carried out to determine the product orientation and the results obtained after the experiments. This thesis also includes improved packaging system program snippets with descriptions why these changes were needed.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Apžvalginė dalis.....	13
1.1. Produkto pakavimo estetinio vaizdo svarba.....	13
1.2. Panašios įrangos apžvalga	13
1.3. Vaizdų apdorojimo žingsniai.....	16
1.4. Objekto kontūrų aptikimo metodai.....	17
1.5. Šablonu paremtas objektų atpažinimas	19
1.6. Vaizdų atpažinimas naudojant CNN (konvoliucinius neuroninius tinklus).....	21
1.7. Binarizacija.....	23
1.8. Objektų atpažinimas naudojant 2D lazerinį jutiklį.....	26
2. Metodinė ir tyrimų dalis	28
2.1. Pakavimo sistemos technologinis procesas	28
2.2. Linijos valdymo komponentai	30
2.3. Naudojamos komunikacijos	30
2.4. CANopen proceso duomenų objektas	30
2.5. Pakavimo linijos valdymo kintamieji.....	31
2.5.1. Nuskaitomieji parametrai	31
2.5.2. Įrašomieji kintamieji.....	31
2.6. Produkto orientacijos atpažinimas.....	32
2.7. Objektų atpažinimas naudojant CNN (konvoliucinius neuroninius tinklus).....	33
2.8. Formos atpažinimas naudojant ultragarsinius jutiklius SICK UM18-51111	38
2.8.1. Ekperimentinė Sistema.....	39
2.8.2. Atpažinimo programa.....	39
2.9. Eksperimento rezultatai	39
2.10. Profilio atpažinimas naudojant lazerinį 2D jutiklį “SmartRunner”.....	45
2.10.1. Ekperimentinė Sistema.....	45
2.10.2. Atpažinimo programa.....	45
2.10.3. Atpažinimas esant skirtingam apšvietimui.....	53
2.11. Pakavimo linijos programos fragmentai.....	55
2.11.1. Padavimo transporterio padėties sekimas.....	56
2.11.2. Servo pavarų valdymas.....	56
2.11.3. Pavaros judėjimo parametrai	57
2.11.4. Pavaros judėjimo koordinatės uždavimas	58
2.11.5. Pavarų namų pozicijos paieška.....	58
2.11.6. Proceso mazgų aktyvavimas.....	59
Išvados	63
Literatūros sąrašas	64
Priedai.....	66
1 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 2. Matuojama žemesnioji briauna.	66

2	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 3. Matuojama žemesnioji briauna.	66
3	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 4. Matuojama žemesnioji briauna.	67
4	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 2. Matuojama aukštesnioji briauna.	67
5	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 3. Matuojama aukštesnioji briauna.	68
6	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 4. Matuojama aukštesnioji briauna.	68
7	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 2. Matuojama žemesnioji briauna.	69
8	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 3. Matuojama žemesnioji briauna.	69
9	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 4. Matuojama žemesnioji briauna.	70
10	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 2. Matuojama aukštesnioji briauna.	70
11	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 3. Matuojama aukštesnioji briauna.	71
12	priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 4. Matuojama aukštesnioji briauna.	71

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Pakavimo linijos „GBK 420“ darbiniai parametrai	14
2 lentelė. Pakavimo linijos „UBE 75-1 Bagger“ darbiniai parametrai	15
3 lentelė. Pakavimo linijos „HOBA Bagloader“ darbiniai parametrai	16

Paveikslų sąrašas

1 pav. Pakavimo linija “GBK 420” [2]	14
2 pav. „UBE 75-1 Bagger” [3].....	15
3 pav. “HOBA Bagloader HBS“ [4].....	15
4 pav. Kontūrų išskyrimas naudojant skirtingus operatorius: A – prewitt, B – sobel, C – roberts, D – canny, E – log, F – zerocross. G – nuotrauka nenaudojant operatoriaus.....	18
5 pav. Kontūrų išskyrimas naudojant skirtingus operatorius, apdorojus nuotrauką papildomais filtrais (naudojant gauso filtrą, keičiant RGB dedamųjų intensyvumus, atliekant vaizdo binarizaciją): A – prewitt, B – sobel, C – roberts, D – canny, E – log, F – zerocross. G – nuotrauka nenaudojant operatoriaus.	19
6 pav. Paieškos vaizdas A ir atpažinimui skirtas šablonas B.....	19
A	
B	20
7 pav. objekto skirstymas į dalis, norint išvengti okliuzijos problemos (A – šablono skaidymas, B – šablonas).....	20
8 pav. Neuroninio tinklo struktūrą [11]	21
10 pav. Talpinimo operacija, kai talpinimo filtro dydis 2x2, o žingsnis 2 [11].....	22
11 pav. Konvoliucinių neuroninių tinklų architektūra [11]	23
12 pav. Nuotraukos pikselių spalvų dedamųjų reikšmės[14].	23
13 pav. Paveikslėlio pikselių spalvų dedamųjų reikšmės [14].....	24
14 pav. Vaizdo pikselių intensyvumo histograma	25
15 pav. Paveiksle A pavaizduotas binarizuotas vaizdas naudojant Otsu metodą. B paveiksle originalus vaizdas [14].....	26
16 pav. Lazerinio 2D skanavimo jutiklio matavimo principas [16].....	27
17 pav. Pakuojamas produktas	28
18 pav. Principinė pakavimo sistemos schema (A – produkto padėties atpažinimo vieta, B – produkto apsikimo vieta, C – produktų rikiuotuvai, D – pjaustyklė, E – pakavimo įrenginys, f – maišelių plėstuvai, g – maišelių užrišimo mazgas, j – produktų griebtuvai, k – produkto puselių apsikimo mazgas).....	29
19 pav. CANopen tinklo topologija (A) ir proceso duomenų (PDO) priskyrimas (B).....	31
20 pav. Produktų griebtuvo ir liniuotės pritaikymas produkto formai.....	32
21 pav. Neuroninio tinklo apmokymui naudotų nuotraukų pavyzdžiai.....	33
22 pav. Apdorotos nuotraukos skirtos apmokymui (A – HVS spalvų modelis, B – panaudotas 3D vaizdo filtras ir pakeistos spalvų intensyvumo reikšmės, C - binarizuotas vaizdas).....	34
23 pav. Apdorotos nuotraukos skirtos apmokymui (A – HVS spalvų modelis, su pastebimais triukšmais, B – binarizuotas vaizdas su panaikintais triukšmais)	34
24 pav. pavyzdžių rinkinio apmokymo tikslumas, kai rinkinio dydis (angl. - <i>batch size</i>) – 25, o epochų skaičius – 20.....	35
25 pav. pavyzdžių rinkinio apmokymo praradimo funkcijos duomenys, kai pavyzdžių rinkinio dydis (angl. - <i>batch size</i>) – 10, o epochų skaičius - 20.....	36
26 pav. pavyzdžių rinkinio apmokymo tikslumas, kai mokymo rinkinio dydis – 10, 20, 25. Epochų skaičius – 20.	37
27 pav. pavyzdžių rinkinio apmokymo praradimo funkcijos duomenys, kai pavyzdžių rinkinio dydis– 10, 20, 25. Epochų skaičius - 20.....	37
28 pav. Ultragarinis jutiklis SICK UM18-51111[26].....	38

29 pav. Atstumo nuo produkto matavimo pozicijos	39
30 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant vieną nuskaitymą (žemesnioji briauna)	40
31 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant vieną nuskaitymą (aukštesnioji briauna).....	40
32 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant penkis nuskaitymus (žemesnioji briauna).....	41
33 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant penkis nuskaitymą (aukštesnioji briauna).....	41
34 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant vieną nuskaitymą (žemesnioji briauna)	42
35 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant vieną nuskaitymą (aukštesnioji briauna).....	42
36 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant penkis nuskaitymus (žemesnioji briauna).....	43
37 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant penkis nuskaitymus (aukštesnioji briauna).....	43
38 pav. Matavimo paklaidos keičiant transporterio judėjimo greitį (žemesnioji briauna)	44
39 pav. Matavimo paklaidos keičiant transporterio judėjimo greitį (žemesnioji briauna)	44
40 pav. <i>SmartRunner</i> lazerinio 2D jutiklio signalų jungtis A ir jutiklio korpusas B [27]	46
41 pav. Lazerinio 2D profilio atpažinimo jutiklio apmokymo duomenys	46
42 pav. Lazerinio 2D profilio atpažinimo jutiklio kameros daryta nuotrauka apmokymo metu.....	47
43 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto vertinimo tolerancijos (jutiklio atstumas 260 mm).....	48
44 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto pasukimo kampo (daviklio atstumas 260 mm).....	48
45 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto poslinkio (jutiklio atstumas 260 mm)....	49
46 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto vertinimo tolerancijos (jutiklio atstumas 300 mm).....	50
47 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto pasukimo kampo (jutiklio atstumas 300 mm).....	50
48 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto poslinkio (jutiklio atstumas 365 mm)....	51
49 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto vertinimo tolerancijos (jutiklio atstumas 365 mm).....	51
50 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto pasukimo kampo (jutiklio atstumas 365 mm).....	52
52 pav. Jutiklio matavimo rezultatai be apšvietimo(linijinis vaizdas).....	53
53 pav. Jutiklio matavimo rezultatai be apšvietimo (integruotos kameros nuotrauka).....	54
54 pav. Jutiklio matavimo rezultatai su dieninių lempų apšvietimu (linijinis vaizdas).....	54
55 pav. Jutiklio matavimo rezultatai su dieninių lempų apšvietimu (integruotos kameros nuotrauka)	54
56 pav. Jutiklio matavimo rezultatai esant tiesioginiams saulės spinduliams (linijinis vaizdas)	55
57 pav. Jutiklio matavimo rezultatai esant tiesioginiams saulės spinduliams (integruotos kameros nuotrauka).....	55
58 pav. Servo pavaros koordinatės uždavimas naudojant impulsinį valdymą.....	57
59 pav. Servo pavaros valdymo parametrai	57
60 pav. Pavaros greičio kitimas naudojant S kreivės parametą B ir greičio kitimas nenaudojant A [29].	58
61 pav. Servo pavaros koordinatės uždavimas, naudojant komunikacinį valdymą.....	58
62 pav. Įrenginio mazgo nunulinimo operacija, naudojant impulsinį valdymą.....	59
63 pav. buvusios valdymo programos proceso mazgų aktyvavimas, naudojant žingsnius	60
64 pav. Įrenginio mazgų suveikimo pertraukčių aktyvavimo sąlygos.....	61

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

Doc. – docentas;

Lekt. – lektorius;

Prof. – profesorius;

GPU – grafikos apdorojimo įrenginys (angl. - *graphics processing unit*);

CNN – konvoliucinis neuroninis tinklas (angl. - *convolutional neural network*);

HVS – atspalvis, sodrumas, vertė (angl. - *hue, saturation, value*). Spalvų modelis;

PLV – programuojamas loginis valdiklis;

LED – šviesos diodas (angl. – *light emitting diode*);

2D – dvimatis (angl. – *two dimensional*);

RGB – raudona, žalia, mėlyna (angl. – *red, green, blue*). Spalvų modelis;

OSI – atvirų sistemų sujungimo modelis (angl. - *open systems interconnection*);

IL – instrukcijų sąrašas (angl. - *instruction list*);

LD – tinklų logika (angl. - *ladder logic*);

STL – struktūrizuoto teksto sąrašas (angl. – *statement list*);

SFC – sekos diagrama (angl. – *sequence flow chart*);

SAD - absoliučių skirtumų suma (angl. – *sum of absolute differences*);

ADAS - pažangios vairuotojo pagalbos sistemos (angl. - *advanced driver-assistance systems*);

CAN - valdiklio srities tinklas (angl. - *controller area network*);

PDO - proceso duomenų objektas (angl. - *process data object*);

TPDO – perduotas proceso duomenų objektas (angl. – *transferred process data object*);

RPDO - gautas proceso duomenų objektas (angl. – *recieved process data object*).

Įvadas

Norint, kad įvairios automatinės sistemos ar įrenginiai veiktų efektyviau, būtina juos tobulinti arba ieškoti alternatyvų. Dažniausiai didžiausias dėmesys skiriamas įrenginių veikimo našumui, suderinamumui gerinti ir siekti, kad būtų pagaminta mažiau broko. Tai gali priklausyti nuo įrangos kokybės, nuo veikimo logikos, nuo techninių sprendimų ir dar nuo daug kitų įvairių veiksnių. Dažniausiai sukurto įrenginio našumas yra labai didelis privalumas, nes klientai į tai stipriai atsižvelgia. Kuo didesnis pagamintos produkcijos kiekis, tuo didesnis pelnas, todėl labai svarbu neatsilikti nuo konkurentų, kurie gali pasiūlyti efektyvesnę įrangą. Produktų tokių kaip duona, batonai pakavimo greitis jau gali siekti iki 75 vienetų per minutę. Tai reiškia, kad produktas gali būti supakuotas per 0,8 sekundės. Kalbant apie efektyvumą visada susiduriama su dideliais vykstančių procesų greičiais, tačiau dideli greičiai reiškia atsirandančias paklaidas. Norint sukurti klientui patrauklų įrenginį, reikia užtikrinti ne tik didelį našumą, bet ir veikimo stabilumą, lengvą derinimą. Reikia pabrėžti, kad atsirandant dideliems proceso greičiams gali nukentėti produktų supakavimo kokybė. Šiomis dienomis labai svarbus supakuotų produktų estetiškas grožis: ar produktai supakuoti vienodai (jei produktas nėra simetriškas), ar nėra deformuotas pakavimo metu, ar nėra išbarstomos riekelės (jei pakuojamas pjaustytas produktas). Kartais tam didelę įtaką turi produkto judėjimo padėtis, ypač kai produktas nėra simetriškas. Tokiais atvejais tenka naudoti papildomus jutiklius, vaizdo apdorojimo sistemas. Yra pačių įvairiausių sprendimų, tačiau reikia pabrėžti, jog vaizdo apdorojimo sistemos dažnai kainuoja sąlyginai daug, todėl daugelis gamintojų nori išvengti papildomų išlaidų ir ieško alternatyvų. Norint naudoti vaizdo apdorojimo įrenginius reikia turėti aiškiai apibrėžtas sąlygas, gali būti reikalinga speciali aplinka: apšvietimas, specifinės konvejerių juostos, atsparumas drėgmei ar dulkėms. Labai svarbu pasverti kokį sprendimo būdą pasirinkti, kuris leistų išsaugoti visus veikimo reikalavimus, tokius kaip: didelis našumas, stabilus darbas, tinkama kokybė, lengvas derinimas, paprastumas.

Darbo tikslas - atlikti pakavimo sistemos efektyvumo tyrimą.

Darbo uždaviniai:

1. apžvelgti panašios pakavimo įrangos veikimą;
2. apžvelgti forminės duonos orientacijos atpažinimo metodus;
3. praktiškai išmėginti pasirinktus orientacijos atpažinimo metodus ir įvertinti jų efektyvumą;
4. atlikti esamos pakavimo linijos valdymo programos patobulinimus ir eksperimentiškai išbandyti jos efektyvumą;
5. eksperimentiškai įvertinti bendrą sistemos darbą ir pateikti eksperimentiškai gautus sistemos tyrimo rezultatus.

Tyrimo metodai: analizuojama esama literatūra, remiantis iškeltais tikslais. Naudojami programiniai paketai: „Matlab 2016b“ (*image processing* ir *deep learning* įrankiai) – vaizdų apdorojimui ir neuroninio tinklo apmokymui, „Delta ISP-soft“ – programinio loginio valdiklio programavimui, „Delta ASDA-soft“ – servo pavarų parametrų konfigūravimui, „Delta DOP-soft“ – įrenginio valdymo vizualizacijos kūrimui, „Pepper+Fusch vision configurator“ – 2D lazerinio jutiklio apmokymui. Sistemos valdymo algoritmas sudaromas remiantis eksperimentiniais duomenimis.

1. Apžvalginė dalis

1.1. Produkto pakavimo estetinio vaizdo svarba

Šių dienų visuomenei labai didelę įtaką turi perkamų produktų išvaizda, produktų įpakavimo kokybė. Dažnai produkto perkamumą nulemia būtent šie kriterijai. Kalbant apie produkto patrauklumą vartotojui, būtų galima įvardinti tokius požymius kaip: produkto spalva, forma, simetriškumas, įpakavimo kryptis, išdėstymas pakuotėje. Dėl visų šių priežasčių svarbu atkreipti dėmesį į pakavimo procesą.

Gamyboje produktai dažniausiai pakuojami automatinėmis linijomis, bet pasitaiko ir pusiau automatinių pakavimo sistemų. Automatinėse sistemose reikia įvertinti, koku būdu produktai atkeliauja iki šių pakavimo linijų. Dažniausiai tokie produktai, kaip duona, bandelės, batonai iš pečiaus transporteriais patenka į aušintuvus, kur yra ataušinami prieš supakavimą. Toks produktų transportavimas gali pakeisti produktų trajektoriją, t. y. jei produktas stačiakampis, jis gali nuvirsti ant šono arba jei produkto padas plokščias, o viršus pusapvalis, tikėtina kad produktas gali apvirsti. Visa tai priklauso nuo produkto formos. Jei visa sistema yra automatinė, reikia, kad produktai į pjaustymo ir pakavimo įrenginius patektų ta pačia kryptimi. Dažnai produkto įpakavimo pakuotės forma pritaikyta produktui, todėl galimas pakavimo proceso sutrikdymas, jei nebus užtikrinama stabili produkto trajektorija. Taip pat, gamintojas numato etiketės, galiojimo datos vietas ant įpakavimo. Šios vietos yra apibrėžtos pagal įpakavimo dizainą, be to įranga, kuri užklijuoja etiketes ar atspausdina datą, yra pritaikoma tam tikrai produkto pozicijai.

Visos šios problemos yra itin svarbios, norint turėti pilnai veikiančią produktų pakavimo sistemą. Jos gali būti sprendžiamos įvairiais būdais, tai priklauso nuo produkto ir susidariusios situacijos.

1.2. Panašios įrangos apžvalga

Įmonių gaminančių kepinių pakavimo linijas kasmet vis daugėja. Tačiau didžiausio dėmesio susilaukia tie gamintojai, kurie nuo seno jau yra šioje gamybos srityje arba tie, kurie pasiūlo kažką naujo. Tai gali būti paprastesnis sprendimo būdas, paprastesnė eksploatacija, didesnė veikimo sparta, mažesnė įrenginio kaina, matmenys, universalumas. Būtų galima išskirti keletą stiprių gamintojų, kurie siūlo laiko patikrintą įrangą ir palyginti kiekvieno įrenginio parametrus. Pagrindiniai kriterijai pagal kuriuos lyginami įrenginiai: pakuojamo produkto gabaritai, darbo našumas, galimybė sklandžiai keisti pakavimo greitį.

Trumpai apžvelgtos trijų gamintojų analogiškos pakavimo linijos, kurios skirtos duonos, batono, bandelių pakavimui. Šių pakavimo linijų našumas yra didžiausias iš gamintojų siūlomų pakavimo įrenginių ir pakuojamo produkto specifika atitinka tobulinamos linijos pakuojamų produktų specifika (tipas, matmenys). Pirma apžvelgta „GHD Hartmann“ pakavimo linija „GBK 420“. Jos pagrindiniai parametrai pateikti **1 lentelėje**.

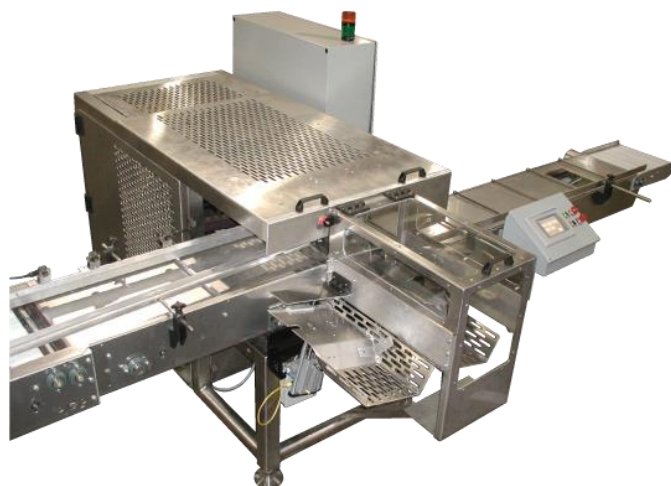


1 pav. Pakavimo linija „GBK 420” [2]

1 lentelė. Pakavimo linijos „GBK 420“ darbiniai parametrai

Produkto gabaritai	Ilgis – nuo 100 iki 400 mm; Plotis – nuo 50 iki 260 mm; Aukštis – nuo 30 iki 170 mm;
Našumas	1800 – 4200 vnt. per valandą (70 vnt. per minutę)
Greitis	Gali būti keičiamas darbo metu

Įrenginyje naudojamas pakankamai nedidelis kiekis pneumatinių komponentų. Pneumatiniai cilindrai procesuose, kuriuose reikalingas tikslumas įveda neapibrėžtumus, įvairius uždelsimus. Kuo mažiau tokių komponentų, tuo didesnę tikslumą ir stabilumą galima išgauti. Pneumatinius sprendimus galima pakeisti naudojant servo pavaras, žingsninius variklius, linijines pavaras, tačiau dažniausiai naudojamos servo pavaros, kadangi jos turi didesnę sukimo momentą ir yra efektyvios esant dideliame veikimo greičiui. Kita vertus, naudoti vien servo pavaras yra gana brangu ir kartais sunku jas pritaikyti proceso metu vykstantiems judesiams. Šiame įrenginyje, taip pat, naudojamos kumštelinės sistemos. Kumštėlis tai mechanizmas, keičiantis judesio trajektoriją [1]. Šiuo atveju, toks sprendimas naudojamas abiejų produkto stūmikų į maišelius valdymui, maišelių paruošimo valdymui. Toks veikimo būdas gali būti labai naudingas, kai norima suderinti visą sistemą dirbti skirtingais greičiais. Nereikia nustatinėti daugelio skirtingų parametrų, kurių dėka kiekvienas mazgas derinamas atskirai, nes sistema yra apjungta kumštelinėmis, bei svirtinėmis sistemomis, todėl žymiai supaprastėja įrenginio programavimas, bet tokia konstrukcija reikalauja labai gerų konstravimo žinių [2].



2 pav. „UBE 75-1 Bagger” [3]

2 lentelė. Pakavimo linijos „UBE 75-1 Bagger” darbiniai parametrai

Produkto gabaritai	Ilgis – nuo 152 iki 406 mm; Plotis – nuo 76 iki 152 mm; Aukštis – nuo 76 iki 152 mm;
Našumas	2100 – 4500 vnt. per valandą (75 vnt. per minutę)
Greitis	Gali būti keičiamas darbo metu

Kita apžvelgta pakavimo linija „UBE 75-1 Bagger“. Jos parametrus galima pamatyti 2 lentelėje. Šioje pakavimo linijoje, taip pat, naudojamas nedidelis pneumatinių komponentų kiekis. Visas pakavimo procesas valdomas keletu servo pavarų, kurių veikimas sujungtas alkūniniais velenais, bei svirtinėmis sistemomis. Toks veikimo principas užtikrina paprastą darbinio greičio keitimą ir nesudėtingą derinimą, kadangi sistema yra sujungta mechaniškai, todėl nereikia derinti atskirų mazgų programiniais sprendimais. Ši pakavimo linija išsiskiria tuo, kad ne produktas yra įstumiamas į maišelį, o maišelis yra užmaunamas ant produkto. Reikėtų pabrėžti, kad įrenginys yra pakankamai kompaktiškas. Iš visų trijų apžvelgtų įrenginių šios pakavimo linijos deklaruojamas greitis yra didžiausias [3].



3 pav. „HOLLY Bagloader HBS“ [4]

3 lentelė. Pakavimo linijos „HOBA Bagloader“ darbiniai parametrai

Produkto gabaritai	Ilgis – nuo 160 iki 340 mm; Plotis – nuo 80 iki 200 mm; Aukštis – nuo 70 iki 140 mm;
Našumas	Iki 3600 vnt. per valandą (60 vnt. per minutę)
Greitis	Gali būti keičiamas darbo metu

Paskutinė apžvelgta pakavimo linija yra „HOBA Bagloader HBS“. Jos parametrus galima pamatyti **3 lentelėje**. Šioje pakavimo linijoje produkto įstūmimas į maišelį yra dar supaprastintas. Stūmikiai sumontuoti ant grandinės, todėl nereikalingi pneumatiniai cilindrai. Grandinės, ant kurios sumontuoti stūmikiai, greitis suderintas su produktų padavimo transporteriu, todėl išlieka paprastas įrenginio darbo greičio keitimas. Svarbiausias momentas yra suderinti grandinės ir padavimo transporterio greičius su maišelių plėstuvo darbu. Dirbant su grandine reikia įvertinti grandinės atsipalaidavimą, tai gali lemti produktų stūmikų laisvumą, tačiau tai įtakos valdymui neturi. Iš visų apžvelgtų įrenginių, šis turi mažiausią darbinį našumą [4].

1.3. Vaizdų apdorojimo žingsniai

Šiais laikais informacijos apdorojimo ir algoritmų kūrimo srityse yra labai daug pasiekta. Tai atveria naujas galimybes sukurti dar geresnę aplinkos suvokimą ir leidžia nustatyti joje įvairius objektus. Vis labiau akcentuojamas mašininis aplinkos suvokimas, kuris neatsiejamas nuo vaizdo apdorojimo sistemų. Iš esmės, vaizdų apdorojimo procesas susideda iš tokių operacijų: skaitmeninimas, išankstinis apdorojimas, vaizdo segmentavimas, savybių išskyrimas, klasifikacija [5].

Viskas prasideda nuo apdorojimui skirtų vaizdų gavimo. Tai atliekama naudojant kamerą ar jau turimą sukauptą vaizdų informacijos duomenų bazę. Vaizdai yra konvertuojami į skaitmeninę formą. Skaitmeninio vaizdo gavimą galima vadinti išankstiniu vaizdo apdorojimu [5].

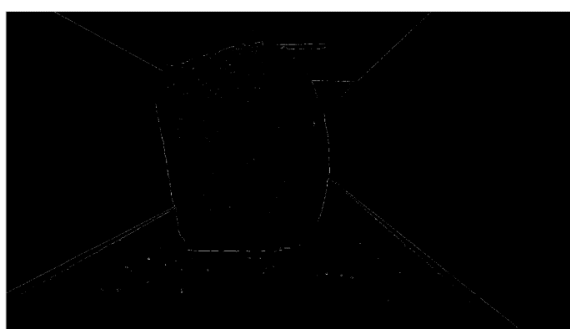
Vaizdo apdorojimo etapas yra pats pirmasis žingsnis aptinkant objektus. Apdorojimas susideda iš daugybės operacijų, kurios skirtos vaizde esantiems triukšmams pašalinti (užpildant skylės, pašalinant nepageidaujamus objektus, išryškinant atspalvius), objektams išskirti (atskiriami objektai, formos). Triukšmų pašalinimas naudojamas pašalinti nepageidaujamiems pikseliams, kurie neturi didelės reikšmės. Taip pat, naudojamas ir pikselių pridėjimas ten, kur jų trūksta. Tokie veiksmai gali padidinti tolesnių žingsnių sėkmės galimybes [5].

Taip pat, labai svarbus etapas yra vaizdo segmentavimas. Vaizde esantys objektai suskirstomi į sudedamąsias dalis ir atskirus objektus. Segmentavimas atskiria tam tikras vaizdo savybes (objektus), o kitas vaizdo sritis leidžia išskirti kaip foną. Jei vaizdą sudaro daug objektų, ir vienu metu nepavyksta išskirti konkrečių savybių, jos gal būti išskirtos viena po kitos [5].

Iš vaizdo išskyrus savybes, galima pradėti klasifikavimo etapą. Šiame žingsnyje yra atskiriamos savybės, kurios gali būti priskiriamos skirtingoms klasėms. Tai priklauso nuo segmentavimo etapo - kiek skirtingų objektų yra išskirta. Objekto nustatymas yra objekto atpažinimas iš vaizdo naudojant skaitmeninius vaizdo apdorojimo būdus. Savybių išskyrimas gali būti naudojamas objektų formai, pozicijai, dydžiui atpažinti. Skirstant objektus galima remtis forma, spalva, tekstūra, padėtimi esamame vaizde ar kitomis savybėmis [5].

1.4. Objekto kontūrų aptikimo metodai

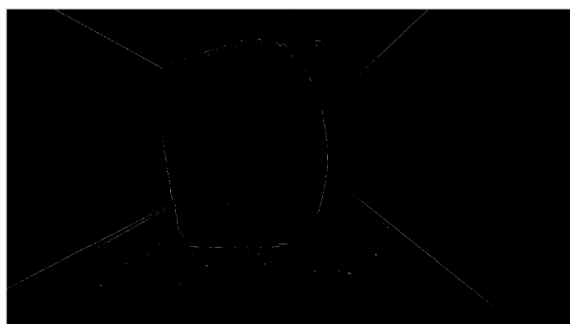
Labai dažnai objektus pakankamai paprastai galima atskirti pagal jų formą, ypač kai ji yra specifinė ar aiškiai suprantama. Tarkime, jei objektas yra kokios nors figūros formos: apskritimas, kvadratas, stačiakampis, šešiakampis ir t. t. Tokiais atvejais norint aptikti objektą svarbu išskirti jo formą, o tai galima padaryti nustačius objekto kontūrą, tačiau dažnai vaizde pasitaiko aplinkos triukšmų, kurie gali iškreipti kontūro atpažinimo procesą, bet susikūrus tinkamas aplinkos sąlygas, objektą galima rasti pakankamai lengvai, net ir nenaudojant papildomų nuotraukos apdirbimo operacijų. Kontūro aptikimui gali būti naudojami tokie operatoriai kaip: „sobel“, „canny“, „roberts“, „log“, „zerocross“, „prewitt“. Žemiau esančiuose vaizduose pateikta, kokią informaciją galima išgauti naudojant kiekvieną iš skirtingai veikiančių operatorių. Norint nustatyti, kuris yra tinkamiausias, reikalingi eksperimentai, nes nėra apibrėžto paties geriausio sprendimo, tai priklauso nuo nagrinėjamos situacijos [6, 7, 8].



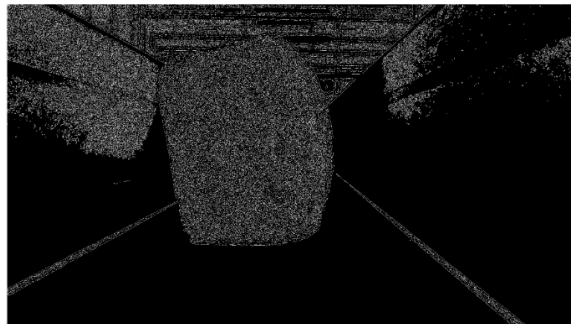
A



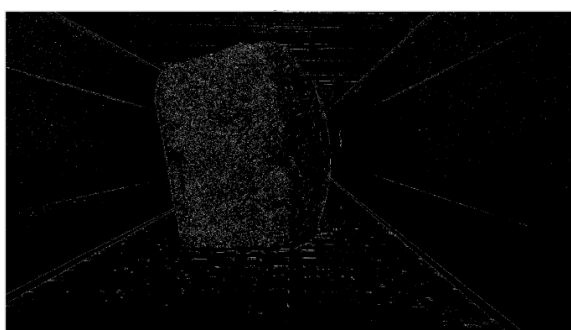
B



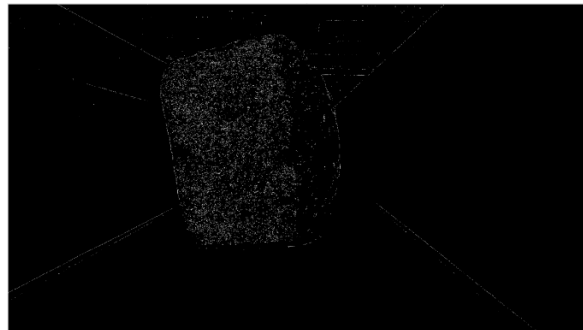
C



D



E



F



G

4 pav. Kontūrų išskyrimas naudojant skirtingus operatorius: A – prewitt, B – sobel, C – roberts, D – canny, E – log, F – zerocross. G – nuotrauka nenaudojant operatoriaus.

Kaip matyti iš atliktų kontūrų išskyrimo bandymų 4 paveiksle, visais atvejais vaizdai pilni triukšmų, nėra pilnai atkuriami objektų kontūrai. Kiekvienas operatorius skirtingai atkuria kontūrus: vieni geriau atkuria horizontalias linijas, kiti vertikalias. Duotoje situacijoje norint išskirti kontūrą, pirma reikia nuotrauką apdoroti papildomais filtrais.



A



B



C



D



E



F



G

5 pav. Kontūrų išskyrimas naudojant skirtingus operatorius, apdorojus nuotrauką papildomais filtrais (naudojant gauso filtrą, keičiant RGB dedamųjų intensyvumus, atliekant vaizdo binarizaciją): A – *prewitt*, B – *sobel*, C – *roberts*, D – *canny*, E – *log*, F – *zerocross*. G – nuotrauka nenaudojant operatoriaus.

Apdorojus vaizdą papildomais filtravimo būdais ir pritaikius kontūrų išskyrimo operatorius buvo gauti ženkliai geresni rezultatai, kuriuos galima matyti 5 paveiksle. Visi operatoriai geba aiškiai išskirti kontūrus, taip yra dėl to, jog vaizdas yra binarizuotas, todėl yra aiškus skirtumas tarp objektų kontūrų ir fono. Šiuo atveju objektas yra aiškiai išskirtas.

1.5. Šablonu paremtas objektų atpažinimas

Šablonų suderinimo metodas yra skaitmeninio vaizdo apdorojimo metodas, kuris skirtas vaizde aptikti objektus atitinkančius nustatytą šabloną (specifinės formos ar spalvos objektas). Šis metodas gali būti naudojamas gamyboje, kaip kokybės kontrolės priemonė, norint aptikti broką, arba nustatyti objektus ant konvejerio juostos ir pan. Pagrindiniai trūkumai, su kuriais susiduriama naudojant šį metodą: objekto transformacijų įvertinimas, apšvietimo įtaka, foniniai pokyčiai ir kiti įvairūs aplinkos trikdžiai [9].

Objektų atpažinimas priklauso nuo vaizdo ypatybių: formos, tekstūros, spalvos. Šis metodas gali būti įgyvendinamas naudojant neuroninius tinklus, gilus mokymosi klasifikatorius tokius kaip: *VGG*, *AlexNet*, *ResNet*. Gilus mokymo neuroniniai tinklai apdoroja vaizdą, perduodami jį per paslėptus skirtingus sluoksnius. Šiuose sluoksniuose yra sukuriami vektoriai su klasifikavimo informacija apie vaizdą. Vėliau šie vektoriai yra išskiriami iš tinklo ir yra naudojami kaip objektą apibūdinančios savybės. Savybių išskyrimas naudojant giliuosius neuroninius tinklus yra labai efektyvus, todėl tai yra vienas iš dažniausiai naudojamų būdų siekiant išskirti vaizdų savybes, atpažinti naudojant šablonų derinimą [9].



A

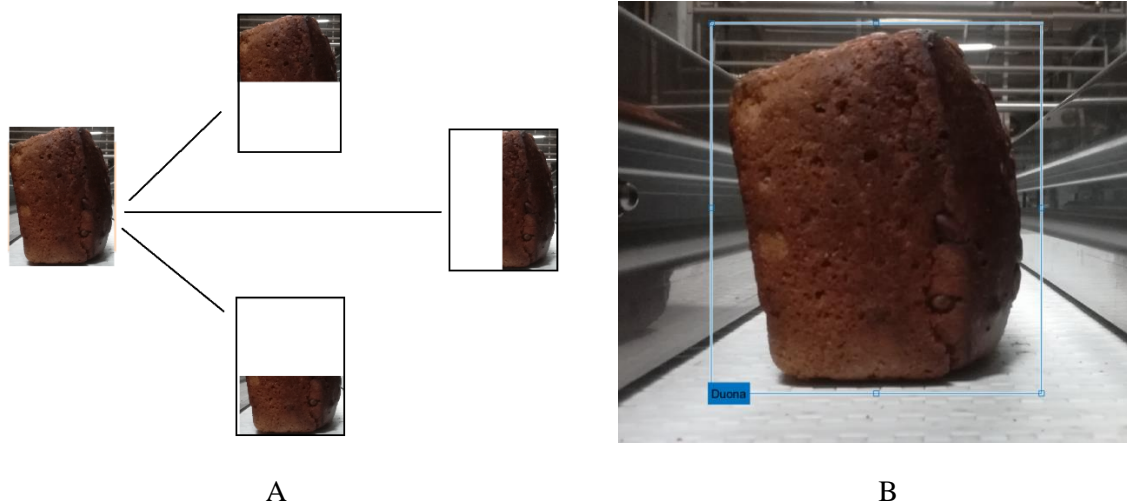


B

6 pav. Paieškos vaizdas A ir atpažinimui skirtas šablonas B

Atvejams, kai šablonai turi aiškiai išskiriamas savybes arba kai didžioji šablono dalis sudaro apdorojamo vaizdo dalį – šablonų suderinamumo metodas gali būti labai efektyvus. Paieškos vaizdo ir šablono pavyzdį galima pamatyti 6 paveiksle. Kadangi šiam metodui gali prireikėti gana nemažai atpažinimui reikalingų taškų yra galimybė jų kiekį sumažinti, sumažinant atpažįstamo vaizdo rezoliuciją ir tuo pačiu santykiu sumažinant šablono rezoliuciją. Taip užtikrinama universalesnė paieška, nėra būtina rasti kiekvieną pikselį ar jų derinį [9].

Tais atvejais, kai šablonas neturi pakankamo tiesioginio atitikimo dėl objekto pasikeitusios padėties, yra naudinga naudoti skirtingus erdvinius šablonus. Todėl galima pasitelkti šablonus, kurie išsamiai apibūdina suderinamą objektą, esant įvairioms sąlygoms: skirtingai perspektyvai, apšvietimui, spalvų kontrastui ir t. t. Tarkim, jei mūsų objektas yra trapecijos formos, skirtingus šablonus galima sukurti keičiant figūros pavertimo kryptis, pasukimo kryptį, apšvietimą ir pan. Pasitaiko tokių atvejų, kai atpažįstamo objekto dalis yra uždengta, tokiais atvejais neverta kurti begalės šablonų visiems įmanomiems uždengimo atvejams. Pavyzdžiui, jei norima atpažinti trapecijos formos figūrą ant stalo, o prieš ją yra pastatytas rutulys. Tokiais atvejais, kai susiduriama su okliuzijos problema, šabloną skirtą objekto atitikmens suradimui reikėtų suskirstyti į kelias dalis ir tada atlikti paiešką kiekvienai šablono daliai. Suskirstytą šablono pavyzdį galima pamatyti 7 paveiksle [9].



7 pav. objekto skirstymas į dalis, norint išvengti okliuzijos problemos (A – šablono skaidymas, B – šablonas)

Kaip ir minėta, metodas naudoja vaizdo šabloną, pritaikytą konkrečiai paieškos vaizdo savybei, kurią norime nustatyti. Šis metodas gali būti lengvai atliekamas naudojant nespalvotus vaizdus ar turinčius aiškias objektų kraštines. Kryžminės koreliacijos išeiga bus didžiausia tose vietose, kur vaizdo struktūra atitinka šablono struktūrą, kur gaunamos didelės vaizdo reikšmės, padaugintos iš didelių šablono reikšmių. Šis metodas paprastai įgyvendinamas pirmiausia apibrėžiant atvaizdą, kuris bus naudojamas kaip šablonas. Tarkime turime paieškos vaizdą $S(x, y)$, kur (x, y) atitinka kiekvieną vaizdo taško koordinatę paieškos vaizde. Taip pat, priimkime, jog šablonas yra $T(x_t, y_t)$, kur (x_t, y_t) atspindi kiekvieno šablono taško koordinatę. Tada paprasčiausiai perkeliame šablono $T(x_t, y_t)$ centrą per kiekvieną (x, y) tašką paieškos vaizde ir apskaičiuojame reikšmių sumą tarp koeficientų, esančių $S(x, y)$ ir $T(x_t, y_t)$ per visą šabloną apimančią plotą. Kadangi atsižvelgiamos visos galimos šablono pozicijos paieškos vaizdui, padėtis kurioje yra mažiausias rezultatas, yra geriausia pozicija. Šis metodas kartais vadinamas „Linijiniu erdviu filtravimu“, o šablonas vadinamas filtro kauke. Matematinę išraišką šiai operacijai galima išreikšti pasitelkiant SAD (absoliučių skirtumų sumą) [10]:

$$\sum_{x=0}^{S_{eil}} \sum_{y=0}^{S_{stulp}} SAD(x, y); \quad (1)$$

čia S_{eil} ir S_{stulp} žymi eilutes ir stulpelius paieškos vaizde.

Kitas būdas rasti objektus vaizduose, naudojant šablonų atitikimą, yra palyginti pikselių intensyvumą, naudojant SAD matą. Tarkime, jog paieškos vaizdo koordinatės $I_s(x_s, y_s)$, o intensyvumas toje koordinatėje (x_s, y_s) ir koordinatės (x_t, y_t) , o intensyvumas $I_t(x_t, y_t)$, tada absoliutus pikselių intensyvumo skirtumas apibrėžiamas kaip:

$$Diff(X_s, Y_s, X_t, Y_t) = |I_s(X_s, Y_s) - I_t(X_t, Y_t)|; \quad (2)$$

$$SAD(x, y) = \sum_{x=0}^{T_{eil}} \sum_{y=0}^{T_{stulp}} Diff(x + i, y + j, i, j); \quad (3)$$

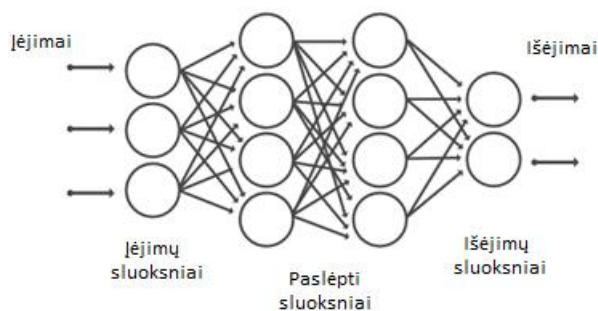
čia T_{eil} ir T_{stulp} žymi šablono vaizdo eilutes ir stulpelius.

Šiame metode mažiausia SAD koeficiento reikšmė suteikia geriausios šablono atitikties paieškos vaizde informaciją. Metodas yra paprastas įgyvendinti ir suprasti, tačiau tai yra vienas iš lėtesnių metodų [10].

1.6. Vaizdų atpažinimas naudojant CNN (konvoliucinius neuroninius tinklus)

Konvoliucinis neuroninis tinklas yra gilių neuronų tinklų klasė, dažniausiai naudojama vizualinių vaizdų analizei. Konvoliuciniai tinklai buvo įkvėpti biologinių procesų, nes ryšys tarp neuronų yra panašus į gyvūnų regėjimo žievės organizavimą. Atskiri žievės neuronai reaguoja į dirgiklius tik ribotame regėjimo lauko regione, vadinamame imliu lauku. Įvairių neuronų imtiniai laukai iš dalies sutampa taip, kad jie apima visą regėjimo lauką. CNN naudoja palyginti nedaug išankstinio apdorojimo, lyginant su kitais vaizdų klasifikavimo algoritmais. Tai reiškia, kad tinklas išmoksta filtrus, kurie tradiciniuose algoritmuose buvo sukurti [11].

Kaip ir kituose neuroniniuose tinkluose, CNN turi įvesties sluoksnį, išvesties sluoksnį ir daugybę paslėptų sluoksnių. Tradicinio neuroninio tinklo struktūrą galima pamatyti 8 paveiksle.

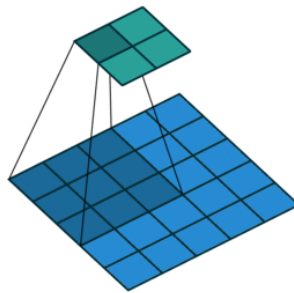


8 pav. Neuroninio tinklo struktūrą [11]

Šie sluoksniai atlieka operacijas pakeičiančias duomenis su duomenimis būdingomis mokymosi funkcijomis. Trys labiausiai paplitusių sluoksnių yra: konvoliucija, aktyvinimas (šiuose sluoksniuose visų apdorojamų duomenų reikšmės pakeičiamos teigiamomis) ir sujungimas.

Konvoliucija įveda įėjimų vaizdus per konvoliucinių filtrų rinkinį, kurių kiekvienas suaktyvina tam tikras funkcijas. Konvoliucinis sluoksnis susideda iš regionų, kurie sujungti su įvesties vaizdo

subregionais arba ankstesnio sluoksnio išėjimais. Šis sluoksnis įsimeina kiekvieno subregiono savybes. Konvoliucijos operaciją galima pamatyti 9 paveiksle [11].



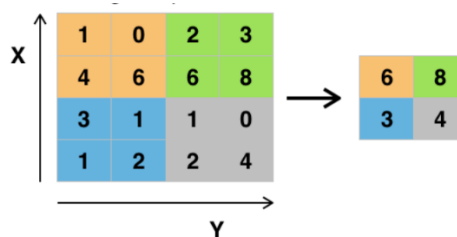
9 pav. Konvoliucijos operacija [11]

Kiekvienam regionui yra apskaičiuojama svorio reikšmė ir priskiriama papildoma proporcinė reikšmė (angl. - *bias*). Šis svorinių reikšmių rinkinys naudojamas regiono apdorojimui ir vadinamas filtru. Šis filtras skenuoja visą įvesties vaizdą vertikaliai ir horizontaliai, kartojant ta patį kiekvienam regionui. Taip optimizuojama vaizdo informacija, sumažinamas duomenų kiekis išskiriant vaizdo savybes, bei sudaromas savybių žemėlapis [11, 12].

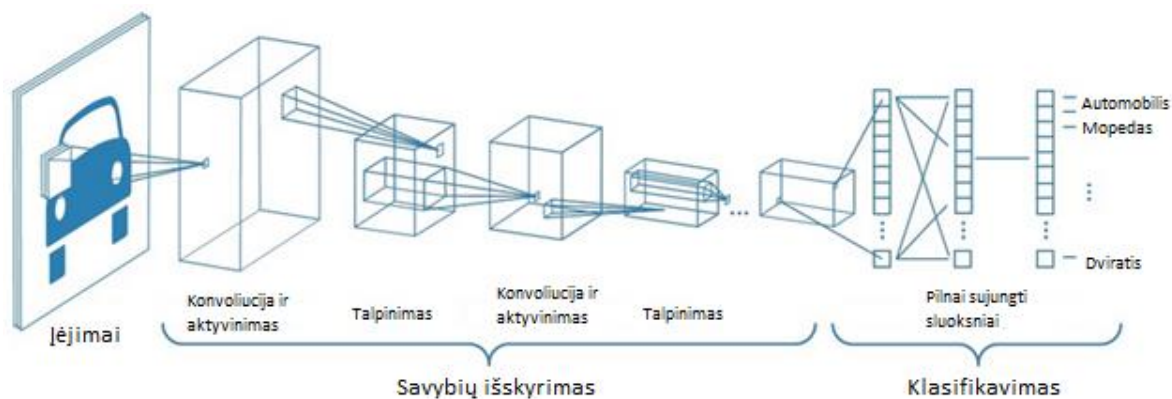
Patikslinimo operacija (aktyvinimas) leidžia greičiau ir efektyviau mokyti tinklą, nustačius neigiamas reikšmes iki nulio ir išlaikant teigiamas vertes. Kartais tai vadinama aktyvinimu, nes tik suaktyvintos funkcijos perkeliamos į kitą sluoksnį [11, 12].

$$f(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}; \quad (4)$$

„Talpinimas“ supaprastina išvestį, atliekant netiesinį sumažinimą, sumažindamas parametru, kuriuos tinklas turi išmokti, skaičių. Šios operacijos kartojasi kas dešimtis ar šimtus sluoksnių, kiekvienas sluoksnis mokosi nustatyti skirtingas savybes. Labiausiai paplitęs maksimalaus talpinimo metodas (angl. - *Max pooling*). Talpinimo operacija padalija įvesties vaizdą į nepersidengiančius regionus ir kiekvienam regionui randa maksimumą. Norint atlikti talpinimo operaciją, reikia nurodyti talpinamų regionų dydį ir žingsnį, kurių pagalba įvesties vaizdas suskaidomas į regionus. Talpinimo operacijos pavyzdys pateiktas 10 paveiksle [12].



10 pav. Talpinimo operacija, kai talpinimo filtro dydis 2x2, o žingsnis 2 [11]

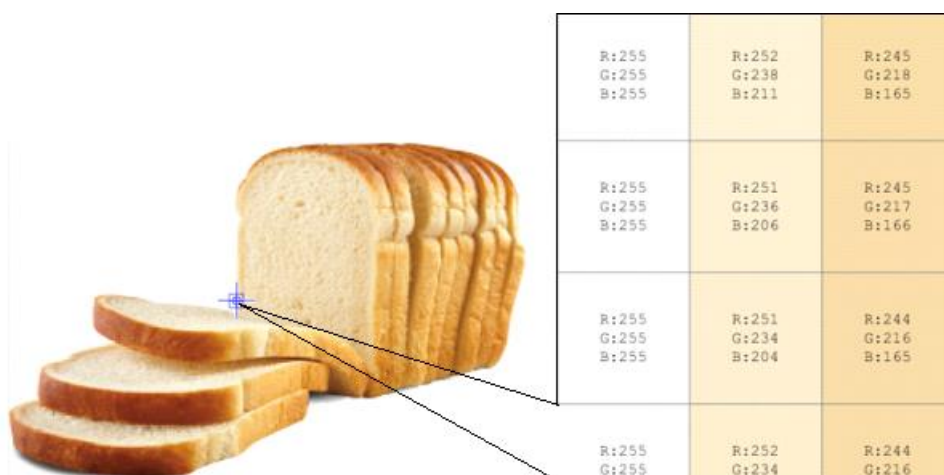


11 pav. Konvoliucinių neuroninių tinklų architektūra [11]

Konvoliucinis neuroninis tinklas gali būti apmokomas šimtais, tūkstančiais ar net milijonais vaizdų. Konvoliucinio neuroninio tinklo struktūra galima pamatyti 11 paveiksle. Dirbdami su dideliais duomenų kiekiais ir sudėtingomis tinklo architektūromis, kompiuteris turintis didelius resursus turinčią GPU gali žymiai pagreitinti apdorojimo laiką modeliui mokytis. Kai CNN yra apmokytas, jis gali būti naudojamas realaus laiko programose: pėsčiųjų aptikimui pažangiose vairavimo pagalbos sistemose (ADAS), objektų aptikimui nuotraukose ar vaizdo įrašuose, ženklų atpažinimui, gamybos broko aptikimui ir dar daugelyje kitų sričių [12, 13].

1.7. Binarizacija

Kompiuterinėje regoje ir apdorojant vaizdus, binarizacijos operacija yra naudojama automatiškai įvykdyti klasterizacija paremtą vaizdų spalvų slenksčio nustatymą ir vaizdų sudarytą iš pikselių, pakeitimą į dvejetainį vaizdą. Jei nuotrauka yra spalvota, kiekvienas nuotraukos pikselis turi spalvų informaciją, t. y. tris reikšmes, kurios nurodo raudonos, žalios ir mėlynos spalvų dedamąsias. Dvyliktame paveiksle matyti išdidinta nuotraukos dalis, kurioje matomos kiekviename pikselyje esančios spalvų dedamosios.

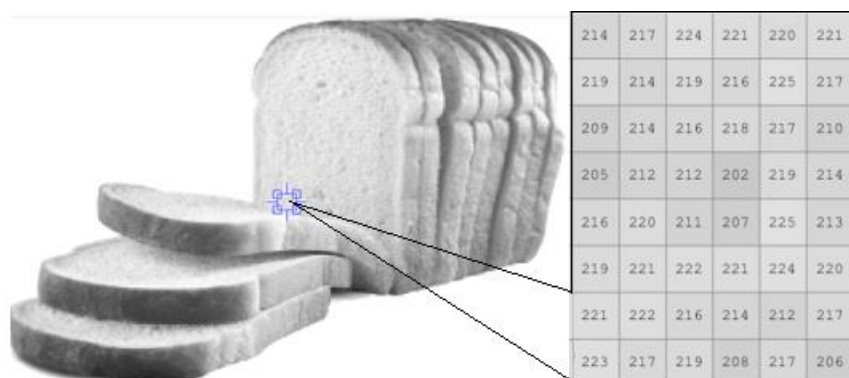


12 pav. Nuotraukos pikselių spalvų dedamųjų reikšmės [14]

Norint nuotraukose nustatyti konkrečius objektus, dažnai tenka koreguoti šias reikšmes, kad būtų paprasčiau išryškinti objektus, panaikinti trikdžius esančius nuotraukose ir t. t. Tai labai svarbu, kai apdorojant nuotraukas reikia atskirti objektą nuo fono esančio už jo. Kartais užtenka žinoti

nuotraukoje esančio objekto spalvos vyraujančias dedamųjų reikšmes ir vien pagal tai išskirti objektą iš apdorojamos nuotraukos. Tačiau labai dažnai apdorojant vaizdus naudojama nuotraukų binarizacija [15].

Binarizacija yra nuotraukos pavertimas iš dvimatės arba trimatės matricos(iš dvimatės matricos, turima omenyje, kai nuotrauka yra nespalvota, o iš trimatės matricos, kai nuotrauka yra spalvota) į loginę matricą, kurioje pikselių reikšmės pakeičia vienetai arba nuliai. Kurioje matricos vietoje atsiras nulis ar vienetas, priklauso nuo reikšmių esančių tame pikselyje.



13 pav. Paveikslėlio pikselių spalvų dedamųjų reikšmės [14]

Binariniai vaizdai yra labai naudingi vaizdų apdorojimo srityje, dėl savo paprastumo ir efektyvumo. Pastaruosius 20 metų binarizacija buvo aktyvi tyrimų sritis, norint palengvinti vaizdų apdorojimą. Binarizacija gali būti panaudota tekstui, simboliams atpažinti, objektams atpažinimui, kurie išsiskiria savo forma, objekto padėties nustatymui. Binarizaciją paprastai sudaro du pagrindiniai etapai: pilkos spalvos slenksčio nustatymas pagal pasirinktą kriterijų ir pikselių priskirimas vienai iš klasių, t. y. kas laikomu fonu ir priekiniu planu. Jei pikselių intensyvumo reikšmė yra didesnė negu nurodytas intensyvumo slenkstis, jie bus priskiriami priekinio plano klasei, o jei intensyvumas mažesnis – fono klasei [15].

Pagrindinė binarizacijos problema yra pikselių intensyvumo slenksčio įvertinimas, nes nuo slenksčio įvertinimo priklauso apdoroto vaizdo informatyvumas. Yra įvairių slenksčio nustatymo būdų: histogramos metodas, klasterizacijos, entropijos. Daugelis slenksčio nustatymo būdų remiasi minimalios dispersijos reikšme [15, 16].

Yra apibrėžiamas slenkstis(angl. – *threshold*), ties kuriuo vietoje pikselių įrašomas arba vienetas arba nulis. Vaizdų binarizavimui dažnai naudojamas *Otsu* metodas. *Otsu* nustato ribą taip, kad būtų kuo labiau sumažintas klasės pasiskirstymas. Atsižvelgiant į tai, *Otsu* metodas segmentuoja vaizdą į du regionus: šviesų T_0 ir tamsų T_1 . Kur T_0 yra intensyvumo lygio rinkinys $T_0 = \{0, 1, \dots, t\}$ ir regionas $T_1 = \{t, t + 1, \dots, l - 1, l\}$, kur t yra slenkstinė vertė, o l yra didžiausias pilkos spalvos reikšmė (pvz., 256). T_0 ir T_1 galima priskirti objektui ir fonui arba atvirkščiai (objektas nebūtinai visada užima šviesesnę regioną). *Otsu* metodas nustato visas galimas slenkstines reikšmes ir apskaičiuoja minimalią pikselių intensyvumo reikšmę, ties slenkščiu kiekvienoje pusėje. Optimali ribinė reikšmė apskaičiuojama mažinant svertinių grupių dispersijų sumą, kurių svoriai yra atitinkamų grupių tikimybė [16].

Priimant, kad $P(i)$ pilko atspalvio įvertinimo tikimybių histograma ($i = 1, \dots, l$).

$$P(i) = \frac{\text{number}\{(r,c)|\text{image}(r,c)=i\}}{(R,C)}; \quad (5)$$

čia r yra eilutės indeksas, o c yra stulpelio indeksas. R ir C atitinkamai yra nuotraukos eilučių ir stulpelių skaičiai, tada:

$W_b(t)$, $\mu_b(t)$ ir σ_b^2 yra svoris, vidurkis ir dispersija T0 klasės, kurios pilko atspalvio intensyvumas yra nuo 0 iki t . $W_f(t)$, $\mu_f(t)$ ir σ_f^2 yra svoris, vidurkis ir dispersija T1 klasės, kurios pilko atspalvio intensyvumas yra nuo $t+1$ iki l . Geriausia slenkstinė vertė t^* yra reikšmė su minimalia dispersija tarp klasių, ši dispersija išreiškiama (6) formule [15]:

$$\sigma_w^2 = W_b(t) * \sigma_b^2(t) + W_f(t) * \sigma_f^2(t); \quad (6)$$

$$\text{čia } W_b(t) = \sum_{i=1}^t P(i); \quad (7)$$

$$W_f(t) = \sum_{i=t+1}^l P(i); \quad (8)$$

$$\mu_b(t) = \frac{\sum_{i=1}^t i * P(i)}{W_b(t)}; \quad (9)$$

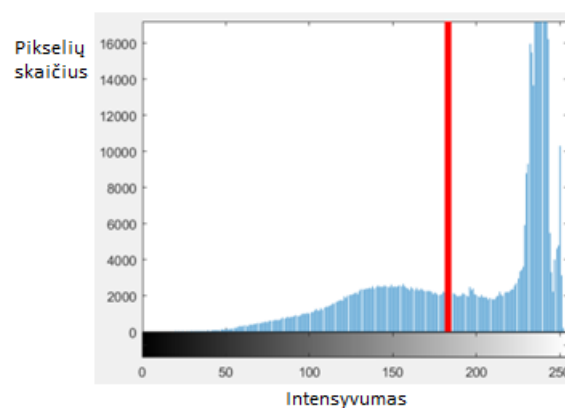
$$\mu_f(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^l i * P(i)}{W_f(t)}; \quad (10)$$

$$\sigma_b^2(t) = \frac{\sum_{i=1}^t (i - \mu_b(t))^2 * P(i)}{W_b(t)}; \quad (11)$$

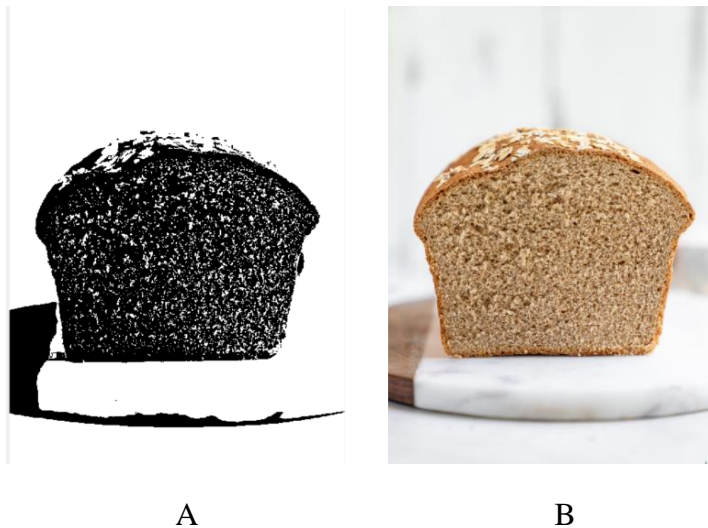
$$\sigma_f^2(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^l (i - \mu_f(t))^2 * P(i)}{W_f(t)}; \quad (12)$$

Čia (7) - T0 klasės svoris; (8) - T1 klasės svoris; (9) - T0 klasės vidurkis; (10) - T1 klasės vidurkis; (11) - T0 klasės dispersija; (12) - T1 klasės dispersija.

Keturioliktame paveiksle galima matyti nespaltvoto vaizdo pikselių intensyvumo histogramą, kurioje raudona vertikali linija žymi vidutinę slenkstinę reikšmę gautą naudojant *Otsu* metodą. Ši slenkstinė reikšmė toliau naudojama binarizacijos procesui kaip atraminė reikšmė, pagal kurią pikseliams priskiriama 1 arba 0 reikšmė. Binarizuoto vaizdo pavyzdį galima pamatyti 15 paveiksle.



14 pav. Vaizdo pikselių intensyvumo histograma

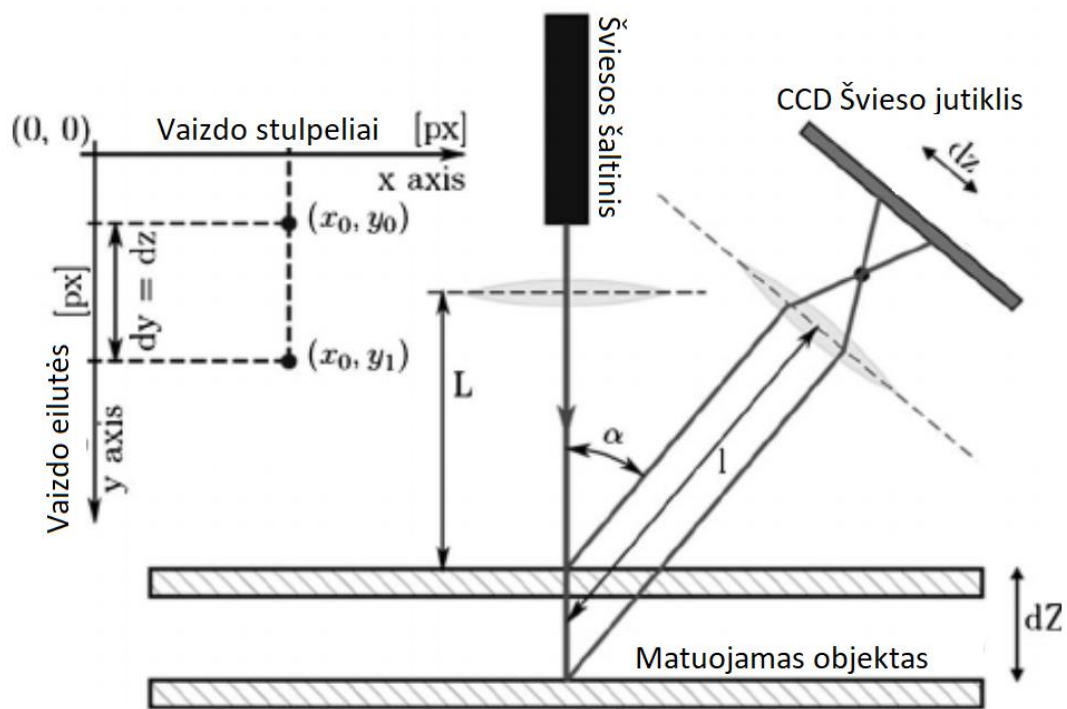


15 pav. Paveiksle A pavaizduotas binarizuotas vaizdas naudojant *Otsu* metodą. B paveiksle originalus vaizdas [14]

1.8. Objektų atpažinimas naudojant 2D lazerinį jutiklį

Sparčiai tobulėjant vaizdų apdorojimo technologijoms, jos tampa vis labiau pritaikomos ir naudingos problemoms, iškilusioms gamyboje, spręsti. Pavyzdžiui: produktų lokacijos keitimas, robotų valdymo asistavimas, broko atpažinimas, sandėliavimo sistemų automatizavimas, pakavimo sprendimai ir daug kitų panaudojimo būdų. Tačiau tokių sistemų įdiegimas reikalauja nemažų investicijų, dažnai konstrukcinių pakeitimų, laiko ir specialistų, kurie galėtų suvaldyti tokias sistemas. Todėl labai dažnai nėra racionalu diegti tokias sistemas paprastoms operacijoms atlikti. Nagrinėjamu atveju, kai reikia atpažinti konvejerio juosta judančios duonos trajektoriją, sprendimas naudoti vaizdų apdorojimą atrodytų gana tinkamas, tačiau yra labai svarbus argumentas, kad sistema neturi būti universali, nes dirbama tik su vienos formos produktu. Taigi, sistema bus suderinta tik kartą ir jos derinti neberekės, nebent to reikalautų klientas. O duotuoju atveju duona, kurios trajektoriją reikia nustatyti yra specifinės, aiškiai apibrėžtos formos, todėl tai galima atlikti ir kitais būdais, išvengiant brangių ir sudėtingų vaizdo apdorojimo sistemų. Taip būtų sumažinami finansiniai ir laiko kaštai [18, 19].

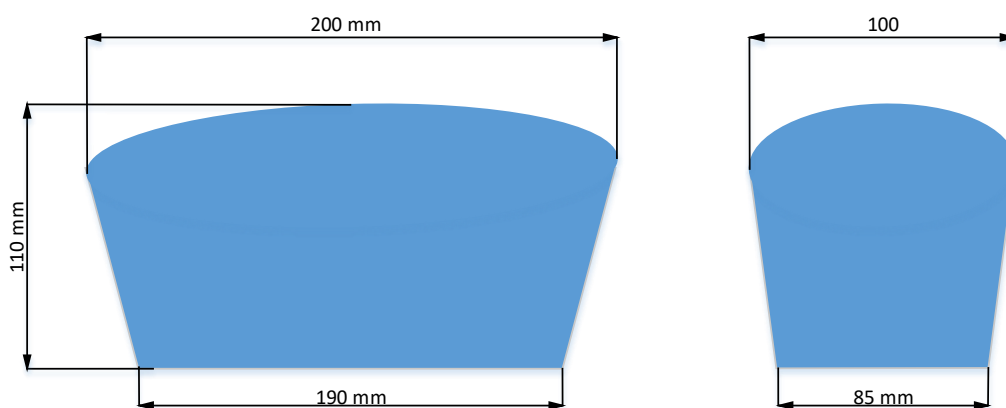
Kaip alternatyvą galima būtų laikyti lazerinius 2D ir 3D profilio nuskaitymo jutiklius. Šie jutikliai naudojami: broko detektavimui, surinkimo sistemoms, tarpų matavimui, medinių plokščių reljefo detektavimui, kraštų kokybės įvertinimui, elektronikos komponentų išdėstymui tikrinti ir dar daugelyje kitų operacijų. Šie jutikliai pasižymi didele greitaveika, tikslumu, paprastu naudojimu ir lengvu įdiegimu į jau esamą sistemą. Matavimai atliekami naudojant trianguliacijos metodą. Trigonometrijoje ir geometrijoje trianguliacija yra taško vietos nustatymo procesas, sudarant trikampius iš žinomų taškų. Reikia paminėti, kad konfigūraciją sudaro du jutikliai, stebintys elementą [19]. Vienas iš jutiklių paprastai yra skaitmeninio fotoaparato įrenginys, o kitas - šviesos projektorius (paprastai lazerinis). Jutiklių projekciniai centrai ir detektuojamo objekto paviršiaus taškas apibrėžia (erdvinį) trikampį. Matavimo technologijoje jutiklis projektuoja lazerio tašką ant matavimo objekto, atspindėta šviesa nukrenta ant priimančiojo elemento tam tikru kampu, priklausomai nuo atstumo. Remiantis šviesos tašku, esančiu imtuvo elemente, bei atstumu nuo siuntėjo iki imtuvo elemento, jutiklis apskaičiuoja atstumą iki matavimo objekto. Visa tai leidžia sukurti objekto profilio projekciją. Koku būdu yra atliekami matavimai galima pamatyti 16 paveiksle esančioje principinėje schemeje.



16 pav. Lazerinio 2D skanavimo jutiklio matavimo principas [16]

2. Metodinė ir tyrimų dalis

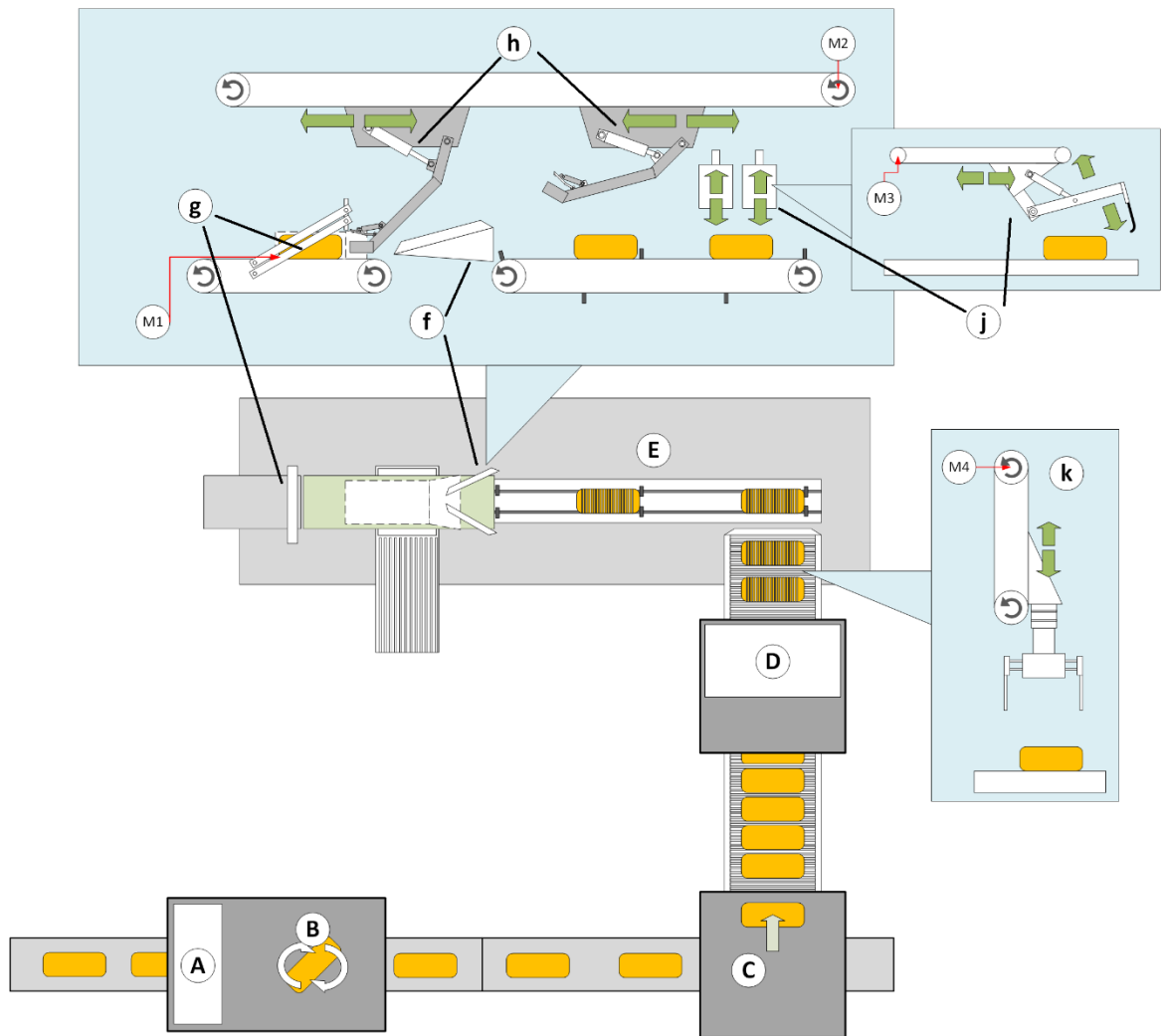
Eksperimentiniai tyrimai atliekami su produktu, kurio poziciją reikia atpažinti ir tai yra juoda forminė duona, kurios matmenys pateikti 17 paveiksle. Duona kepama specialiose formose, todėl kiekvienas kepalas praktiškai identiškas. Prieš pripildant kepimo formas tešla, jos kiekis sveriamas ir leidžiama 30g paklaida. Produktas išimtas iš kepimo skardų transporteriais keliauja dviem pagrindinėmis pozicijomis: arba ant kairiojo išilginio šono, arba ant dešiniojo. Šias produkto trajektorijas ant transporterio juostos užtikrina klientas.



17 pav. Pakuojamas produktas

2.1. Pakavimo sistemos technologinis procesas

Visą pakavimo sistemą sudaro: atpažinimo mazgas (A), apsukimo mazgas (B), nukreipimo įrenginys (C), produkto pjaustyklė (D) ir pakavimo įrenginys (E). Pagrindiniai pakavimo linijos mazgai: maišelių plėstuvai (f), maišelių užrišimo mazgas (g), produktų įstūmėjai į maišelius (h), produktų griebtuvai iš pjaustyklės (j), pusės produkto apsukimo mazgas (k). Produktų srautas atkeliauja iš aušintuvo ir patenka į atpažinimo mazgą (A). Čia nustatomo produkto trajektorija ir nusprendžiama ar reikalingas produkto apsukimas. Atlikus atpažinimo operaciją, produktas patenka į apsukimo zoną (B), kurioje, jei nustatyta bloga produkto kryptis, atliekamas apsukimas. Toliau produktas keliauja iki rikiuotuvo (C). Čia produktas patenka nuo vieno transporterio ant kito, o jo važavimo kryptis pasikeičia 90 laipsnių. Tada produktas keliauja į pjaustyklę (D). Iš pjaustyklės vyksta duonos padavimas į pakavimo mašiną. Kai pakavimo įrenginys pasiruošęs, produktą į paėmimo sritį ant padavimo transporterio patraukia griebtuvai (j). Duona patenka ant padavimo transporterio (E) ir transporteris nuneša produktus į nustūmimo zoną, čia produktą pradeda stumti nustūmėjai (h). Nustūmėjai yra kariatėlės sumontuotos ant bėgelio, o jų padėtį keičia servo pavara. Abu įstūmėjai sumontuoti ant to pačio varomojo diržo, t. y. kai vienas įstūmėjas atsitraukia, kitas juda pirmyn. Jei kairiojo įstūmėjo galinė padėtis yra užrišimo zona, tai dešiniojo įstūmėjo padėtis bus produkto paėmimo nuo padavimo transporterio zona. Įstūmėjai negali prasilenkti jei abu yra nuleisti ar pakelti, todėl prasilenkimo metu vienas iš jų turi būti nuleistas, o kitas pakeltas.



18 pav. Principinė pakavimo sistemos schema (A – produkto padėties atpažinimo vieta, B – produkto apskukimo vieta, C – produktų rikiuotuvais, D – pjaustyklė, E – pakavimo įrenginys, f – maišelių plėstuvais, g – maišelių užrišimo mazgas, j – produktų griebtuvais, k – produkto puselių apskukimo mazgas)

Įrenginyje labai svarbus visų mazgų suveikimo laikas, veikimo trukmė. Todėl būtina užtikrinti stabilią suveikimo seką. Visa veiksmų seka siejama su linijos padavimo transporterio darbu (18 pav. E) ir įstūmėjų padėtimi (18 pav. h). Padavimo transporteris turi specialias atramas tarp kurių griebtuvais (18 pav. j) įstumia produktą. Viso ciklo metu reikia žinoti, kurioje vietoje yra atrama su produktu. Patraukus produktą ant padavimo transporterio (18 pav. E), po užduoto laiko, kuris perskaičiuojamas pagal transporterio greitį, nustatoma kada produktas atsiduria įstūmėjo zonoje. Kai tik produktas užfiksuojamas šioje vietoje, įstūmėjas nusileidžia ir nustumia produktą į pakavimo zoną (18 pav. g). Nuo šio momento tolimesni veiksmai atliekami naudojant laiko skaitiklius ir pavaros pozicijos impulsų skaičių. Visa tai prie pastovaus greičio gali būti labai stabilu, tačiau įrenginio greitis gali kisti, todėl reikalingi laikų perskaičiavimai. Neretai operatorius turi pats koreguoti parametrus norint suderinti įrenginį kitam darbiniam greičiui, tam naudojami receptai. Išsaugoti parametrai rinkiniai skirti dirbti su skirtingais produktais ir skirtingais greičiais.

2.2. Linijos valdymo komponentai

Linijos veikimo logikos įgyvendinimui naudojami šie pagrindiniai komponentai:

- Naudojamos keturios servo pavaros: įstūmėjų valdymui, užrišimo mazgo valdymui, duonos puselių apsuksimui, produkto paėmimo iš pjaustyklės valdymui. Naudojamos „DELTA ASDA A2“ serijos 1 kW (3 vnt.) ir 0,75 kW (1 vnt.) galingumo servo pavaros [20].
- Pakavimo linijos valdymui naudojamas „DELTA DVP28SV2“ programuojamas loginis valdiklis, turintis 16 diskretinių įėjimų ir 12 diskretinių išėjimų. Taip pat, turi 6 greituosius įėjimus, kuriuos galima naudoti didelės spartos skaitikliams. Programuojamas LD, IL, SFC programavimo kalbomis. Naudojami 5 programuojamo valdiklio išėjimų/įėjimų praplėtimo moduliai, kurie turi po 8 diskretinius įėjimus ir 8 diskretinius išėjimus [21].
- Pjaustyklės valdymui naudojamas „DELTA DVP-14SS2“ programuojamas valdiklis, turintis 8 diskretinius įėjimus ir 6 diskretinius išėjimus. Taip pat, turi 2 greituosius įėjimus, kuriuos galima naudoti didelės spartos skaitikliams. Programuojamas LD, IL, SFC programavimo kalbomis. Naudojamas 1 programuojamo valdiklio išėjimų/įėjimų praplėtimo modulis, kuris turi 8 diskretinius įėjimus ir 8 diskretinius išėjimus [21].
- Transporterių valdymui naudojami „DELTA VFD E“ serijos dažnio keitikliai, kurių galia yra 0,4 kW, 0,7 kW. Dažnis užduodamas iš valdymo panelės, o paleidimas vykdomas naudojant diskretinius įėjimus [22].
- Naudojama valdymo panelė „DELTA DOP-B10E515“.

2.3. Naudojamos komunikacijos

Pakavimo linijoje naudojama RS-485 komunikacija, kuri skirta PLV komunikavimui su dažnio keitikliais, valdymo panele, temperatūros reguliatoriumi. Servo pavarų valdymui pasirinkta komunikacija yra „CANopen“ [23].

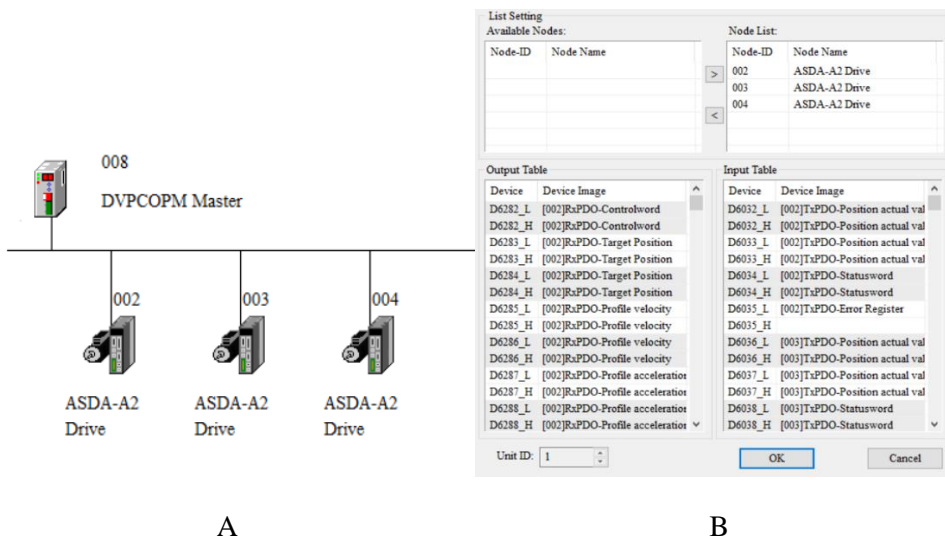
„CANopen“ yra aukšto lygio ryšio protokolas ir įrenginio profilio specifikacija pagrįsta CAN (angl. - *Controller Area Network*) protokolu. Protokolas buvo sukurtas įterptųjų tinklų taikomosioms programoms, pvz., transporto priemonėse naudojamiems tinklams. „CANopen“ apima tinklo programavimo sistemą, įrenginių aprašymus, sąsajų apibrėžimus ir taikymo profilius. „CANopen“ pateikia protokolą, kuris standartizuoja ryšį tarp įrenginių ir skirtingų gamintojų programų. Jis buvo naudojamas įvairiose pramonės šakose [23].

Kalbant apie OSI ryšių sistemų modelį, CAN apima du pirmuosius lygius: fizinį sluoksnį ir duomenų ryšio sluoksnį. Fizinis sluoksnis apibrėžia naudojamas linijas, įtampas, didelės spartos pobūdį ir kt. Duomenų perdavimo sluoksnis apima faktą, kad CAN yra duomenų rėmelio (pranešimų) protokolas. „CANopen“ apima penkis sluoksnius: tinklą (adresavimą, maršrutizavimą), transportavimą (patikimumą), sesiją (sinchronizavimą), pateikimą (standartiniu būdu užkoduoti duomenys, duomenų pateikimas) ir taikymą. Programos sluoksnyje aprašoma kaip konfigūruoti, perduoti ir sinchronizuoti „CANopen“ įrenginius [23].

2.4. CANopen proceso duomenų objektas

Proceso duomenų objektų protokolas naudojamas apdoroti realaus laiko duomenis tarp skirtingų mazgų. Galima perkelti iki 8 baitų (64 bitai) duomenų, naudojant vieną PDO iš arba į įrenginį. Viename PDO gali būti kelių objektų žodynų įrašai, o objektai viename PDO gali būti konfigūruojami

naudojant nukreipimą (angl. - *mapping*) į norimą parametą objektų žodynų įrašuose (19 pav.). Yra dviejų rūšių PDO: perduoti ir gauti (TPDO ir RPDO). Pirmasis skirtas duomenims, gaunamiems iš įrenginio (prietaisas yra duomenų gamintojas), o antrasis skirtas duomenims, kurie eina į įrenginį (įrenginys yra duomenų vartotojas), t. y. su RPDO galite siųsti duomenis į prietaisą, o naudodami TPDO galite skaityti duomenis iš įrenginio. Iš anksto nustatytuose ryšių rinkiniuose yra keturių TPDO ir keturių RPDO identifikatoriai [24].



19 pav. CANopen tinklo topologija (A) ir proceso duomenų (PDO) priskyrimas (B)

2.5. Pakavimo linijos valdymo kintamieji

2.5.1. Nuskaitomieji parametrai

Servo pavaros valdymui yra pasirenkami reikalingi parametrai, kuriuos reikia nuskaityti iš pavaros, norint užtikrinti sklandų valdymą. Žemiau yra išvardinti trys pagrindiniai parametrai reikalingi pavaros valdymui [25]:

- statuso žodis (servo pavaros būsenos informacija);
- esamos pozicijos reikšmė (servo pavaros impulsinio skaitiklio reikšmė);
- klaidų registras (informacija apie pavaroje nutikusias klaidas).

2.5.2. Įrašomieji kintamieji

Servo pavaros valdymui yra pasirenkami reikalingi parametrai, kuriuos reikia įrašyti į pavaros valdiklį. Žemiau yra išvardinti 7 pagrindiniai parametrai reikalingi pavaros valdymui [25]:

- tikslo koordinatė (pozicija servo pavarai);
- greičio vertė (servo pavaros greitis);
- įsibėgėjimo rampos vertė (pavaros akseleracija startuojant);
- stabdymo rampos vertė (pavaros deakseleracija stojant);
- s kreivės parametras (švelnesniam pavarų valdymui);
- darbo režimų registras (nurodoma koku režimu dirbs pavarą: namų padėties paieškos režimas, koordinatės režimas ir t. t.);

- valdymo žodis (jame yra užduodama bitų konfigūracija, pagal kurią yra iškviečiamos pavaros valdymo funkcijos).

2.6. Produkto orientacijos atpažinimas

Yra nemažai priežasčių kodėl yra reikalinga pastovi produkto pozicija, patenkant į pakavimo įrenginį:

- Visų pirma produkto įpakavimui skirti maišeliai yra pritaikomi produkto formai. Jei produktas į maišelį patenka ne ta kryptimi, kuria turėtų – maišeliai suplyš, produktas klius už maišelio kraštų.
- Kai produktai patenka į pjaustyklę skirtinga puse, gaunamos nevienodo storio riekelės. Klientai dažnai reikalauja, jog riekelių storis būtų su minimaliu nuokrypiu, kuris atsiranda net ir tada, kai produktas į pjaustyklę patenka ta pačia kryptimi.
- Pakavimo linijos griebtuvai ir liniuotės yra pritaikomos produkto formai. Kai produktas yra simetriškas tai nekelia problemų, tačiau jei produktas nėra simetriškas, jį traukiant ant linijos padavimo transporterio yra išbarstomos riekelės. Dvidešimtame paveiksle, raudonais apskritimais pažymėtos sritys išryškina vietas, kurios yra pritaikomos produkto formai. Šiuo atveju produktas yra simetriškas, todėl apskukimas sunkumų nesukelia. Jei pakavimas vykdomas su puse produkto, naudojamos papildomos liniuotės išgaubtos pagal produktą.
- Kiekviena pakuotė turi savo dizainą, kuriame yra numatomos vietos datai ar bar kodui, todėl reikia išlaikyti produktą pakuotėje taip, kad spausdinimo įranga galėtų kokybiškai atspausdinti numatytą informaciją. Dažnai spausdinimo ar etikečių klijavimo prietaisai pritaikomi konkrečiai produkto pozicijai.
- Tai pat, svarbus yra estetiškas vaizdas, kai produktas yra pateikiamas pirkėjams.



20 pav. Produktų griebtuvo ir liniuotės pritaikymas produkto formai

Duonos orientacija ant transporterio juostos buvo nustatoma naudojant tris metodus: konvoliucinius neuroninius tinklus, ultragarsinius jutiklius, lazerinį 2D skanavimo jutiklį. Kiekvienam metodui buvo taikomos tos pačios sąlygos ir buvo iškelti tie patys tikslai:

- sumontuoti eksperimentinę sistemą metodo efektyvumo įvertinimui;
- sudaryti atpažinimo programą;
- išbandyti atpažinimo programą esant skirtingam matavimo atstumui, matavimų skaičiui, apšvietimui, duonos pozicijai;
- išbandyti atpažinimo programą esant skirtingam duonos judėjimo greičiui.

2.7. Objektų atpažinimas naudojant CNN (konvoliucinius neuroninius tinklus)

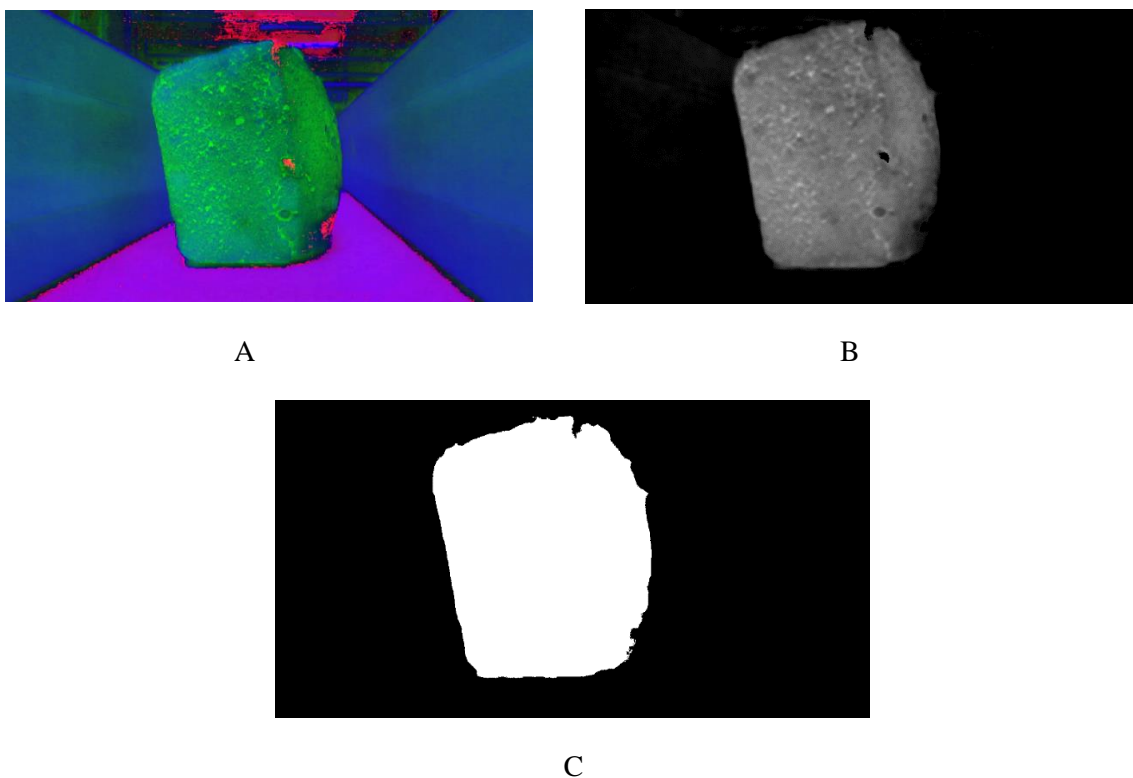
Produkto trajektorijos nustatymui buvo pasitelktas konvoliucinis neuroninis tinklas. Šie tinklai yra plačiai naudojami objektų aptikimui vaizdinėje medžiagoje, kadangi jų veikimas panašus į gyvūnų regos objektų suvokimo mechanizmą. Tai paplitęs objektų klasifikavimo metodas, kuris pasižymi itin dideliu tikslumu ir lankstumu, klasifikuojant įvairius objektus. Tinklo apmokymui skirtų duomenų kiekis nėra ribojamas, todėl apmokymui gali būti naudojamos didelės duomenų bazės. Tyrimo įgyvendinimui naudojant kamerą buvo surinkta apmokymui skirtų vaizdų duomenų bazė. Ją sudarė dvi klasės: duona ant kairiojo šono ir duona ant dešiniojo šono. Taip pat, bandymams buvo naudojama nepjaustyta ir pjaustyta duona. Kiekvienoje klasėje yra po 1700 nuotraukų pavyzdžių, iš kurių 850 yra su nepjaustyta duona ir 850 su pjaustyta. Iš viso duomenų bazėje 3400 nuotraukų. Keletas nuotraukų pavyzdžių pateikta 21 paveiksle.



21 pav. Neuroninio tinklo apmokymui naudotų nuotraukų pavyzdžiai

Dėl kompiuterio resursų stokos ir tinklo apmokymo trukmės sutrumpinimo buvo sumažinta nuotraukų raiška. Apmokymui naudota raiška 266*150 pikselių. Siekiant tikslesnio rezultato buvo stengtasi išskirti duonos formą nuotraukoje ir tik tada apdorotas nuotraukas pateikti tinklo apmokymui. Nuotraukos koregavimui buvo naudojami papildomi filtrai: gauso filtras (vaizdo suliejimui), keitimas į HSV spalvų modelį, pakeistos spalvų intensyvumo reikšmės, atliktas vaizdo binarizavimas. Apmokymui buvo paruošti du nuotraukų rinkiniai: binarizuoti vaizdai ir vaizdai gauti verčiant juos į HSV spalvų modelį su papildomai pakeistomis spalvų intensyvumo reikšmėmis. Abiem atvejais rezultatai buvo skirtingi, nes binarizacijos metu yra prarandama dalis naudingos informacijos arba paliekama dalis triukšmų, o HSV modeliu koreguotose nuotraukose nėra aiškus

produkto kontūras, tačiau mažesnis triukšmų kiekis. Apmokymui skirtų nuotraukų pavyzdžius galima matyti 22 ir 23 paveiksluose. Juose pateikti rezultatai, kaip iš nuotraukos yra išskiriamas objektas. Taip pat, 23 paveiksle B dalyje galima pamatyti pavyzdį, kaip naudojant binarizavimo operaciją panaikinti vaizde išlikę triukšmai. Nors binarizavimas nepanaikina triukšmų visose nuotraukose, tačiau taip kokybiškiau išskiriamas duonos kontūras nuotraukoje. Dėl geresnio trikdžių pašalinimo ir objekto išskyrimo savybių, tinklo mokymui naudota duomenų bazė, kurią sudarė binarizuoti vaizdai.



22 pav. Apdorotos nuotraukos skirtos apmokymui (A – HVS spalvų modelis, B – panaudotas 3D vaizdo filtras ir pakeistos spalvų intensyvumo reikšmės, C - binarizuotas vaizdas)

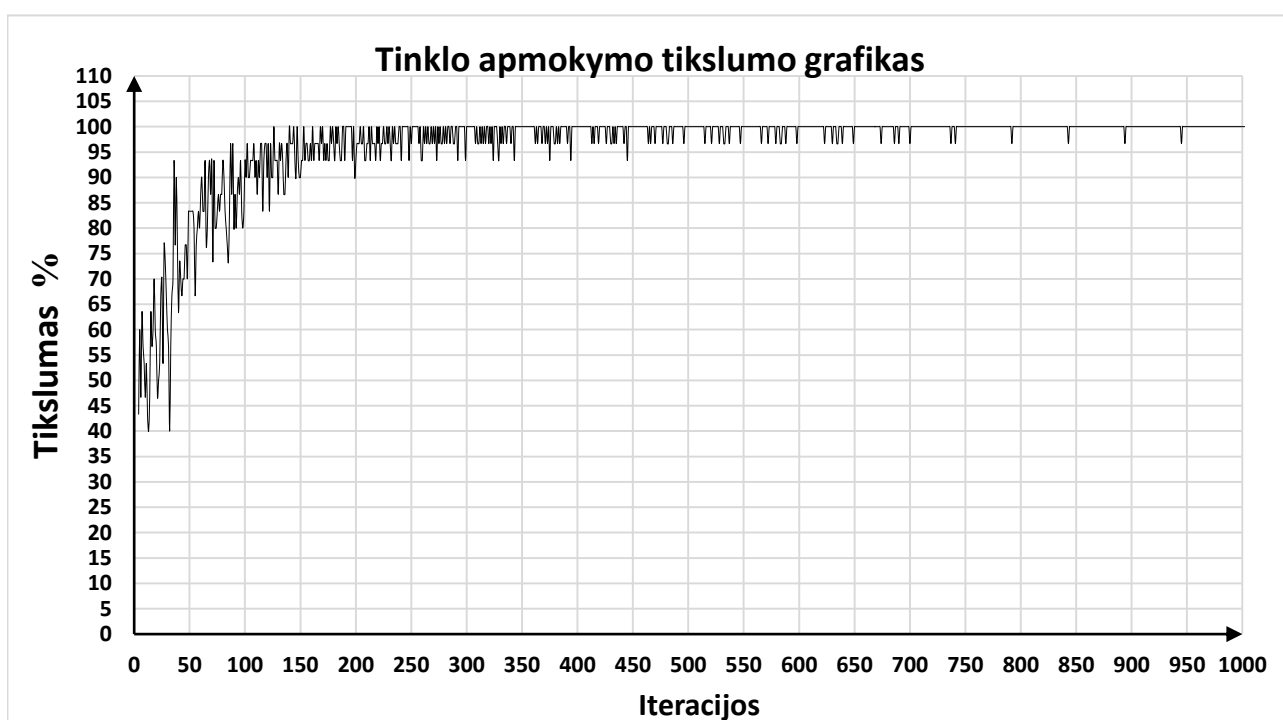


23 pav. Apdorotos nuotraukos skirtos apmokymui (A – HVS spalvų modelis, su pastebimais triukšmais, B – binarizuotas vaizdas su panaikintais triukšmais)

Kadangi nėra aiškiai apibrėžto būdo kaip sudaryti CNN tinklo sluoksnius, buvo naudojamas jau sukurtas tinklas. Norint pasiekti geriausią tinklo mokymo kokybę, buvo keičiamas tinklo mokymo epochų skaičius, mokymo pavyzdžių skaičius (angl. – *batch size*), tinklo sluoksnių skaičius, filtrų dydis, filtrų skaičius. Eksperimentų būdu buvo rasta tinkamiausia tinklo struktūra, su kuria gauta

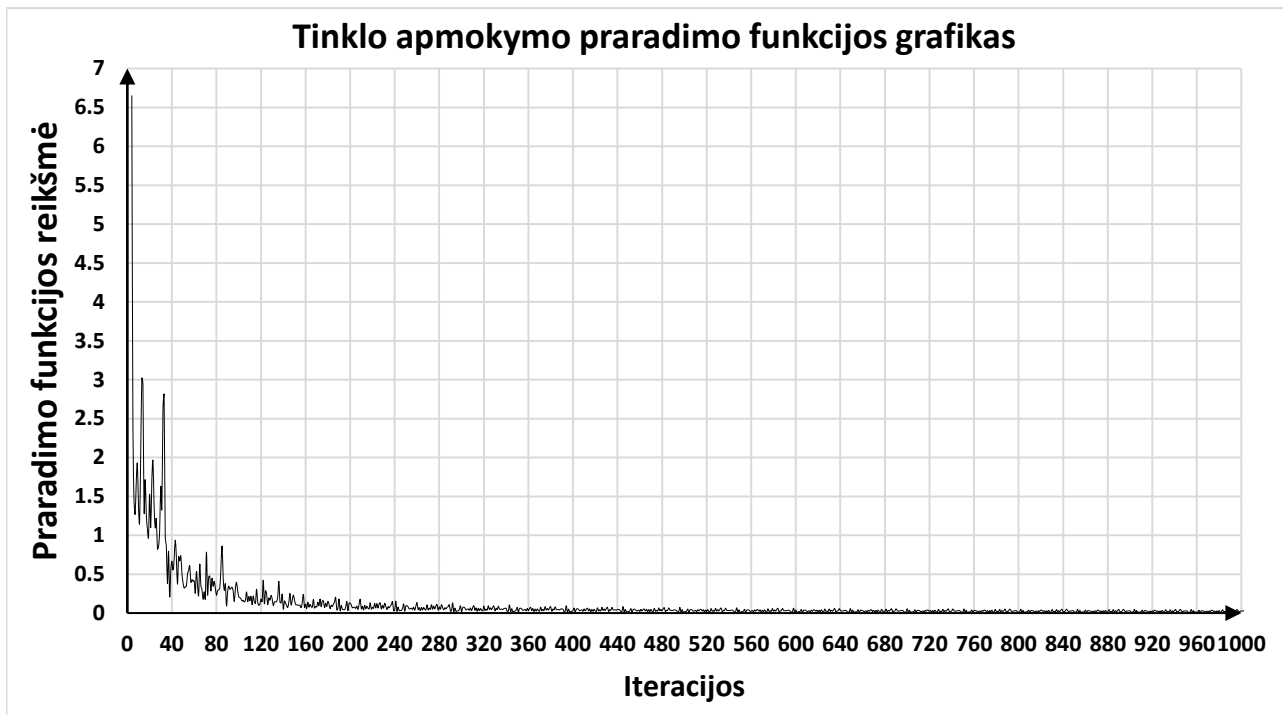
geriausia tinklo apmokymo kokybė. Tai nereiškia, kad pasirinkta struktūra yra pati tinkamiausia, tačiau eksperimentuojant buvo gauti geriausi rezultatai, naudojant šią struktūrą. Sluoksnių aprašymas nuo nulio yra sudėtingas procesas, kuris reikalauja daug laiko ir eksperimentų. Neuroninio tinklo mokymui naudotas sigmoidinis operatorius su momentu. Geriausias rezultatas gautas, kai buvo naudojamas vienas konvoliucinio tinklo sluoksnis su filtru, kurio dydis 30, o filtrų skaičius 6. Maksimalaus talpinimo operacijai naudojamas filtras, kurio dydis 5, o žingsnis (angl. – *stride*) 7. Taip pat, naudojamas papildomas nulinių pikselių pridėjimas (angl. – *padding*), kurio reikšmė 1.

Tinklą apmokyti truko 32 minutes ir 64 sekundes. Tinklo tikslumas 98,41 %. Mokymuisi buvo skirta 88 % duomenų, t. y. 3000 nuotraukų, iš kurių 1500 yra duonos ant kairiojo šono ir 1500 ant dešiniojo šono pavyzdžiai, o likę 12 %, t. y. 400 nuotraukų, iš kurių 200 yra duonos ant kairiojo šono ir 200 ant dešiniojo šono pavyzdžiai – panaudoti tinklo klasifikavimo kokybei įvertinti. Geriausius tinklo apmokymo rezultatus galima pamatyti 24 ir 25 paveiksluose.



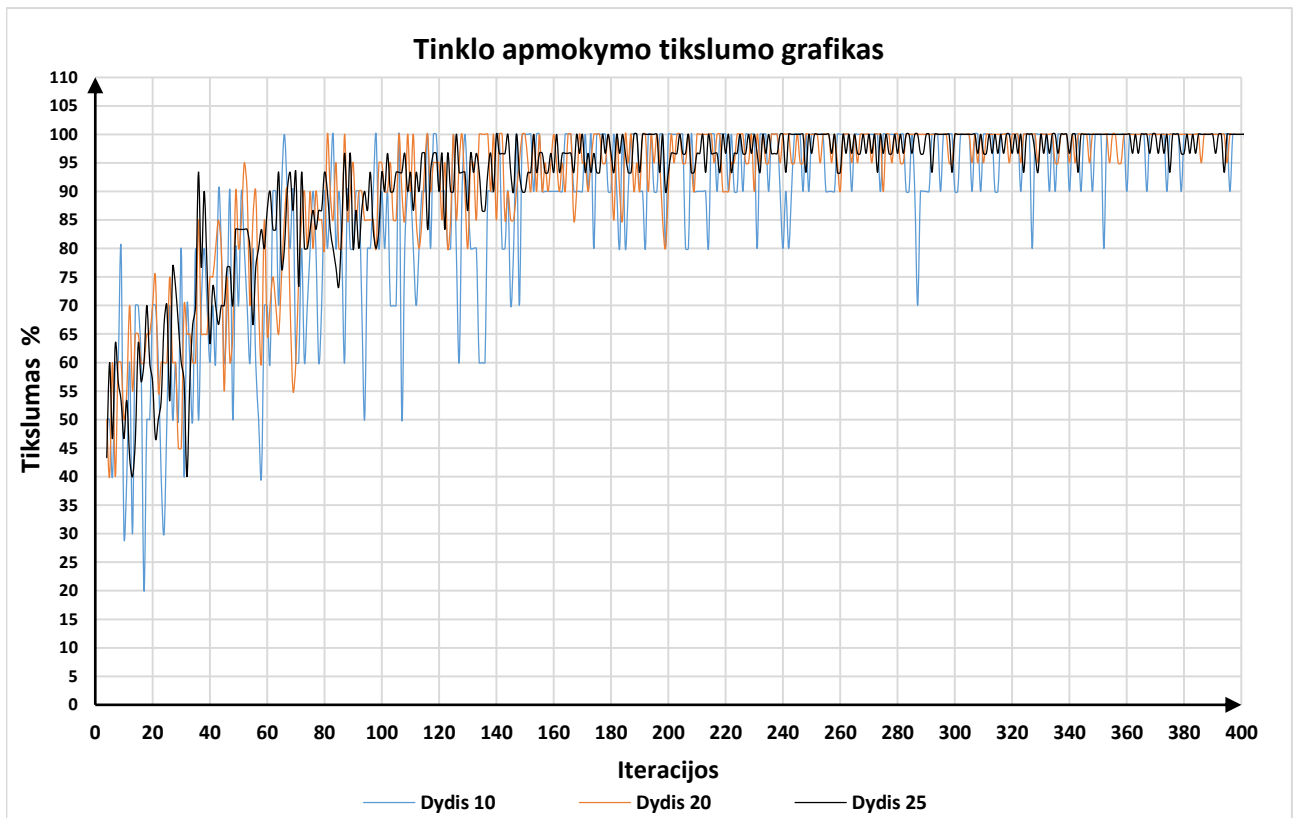
24 pav. pavyzdžių rinkinio apmokymo tikslumas, kai rinkinio dydis (angl. - *batch size*) – 25, o epochų skaičius – 20

Iš 24 paveiksle pateikto grafiko galima matyti pavyzdžių rinkinių apmokymo tikslumo šuolius, tačiau jie greit sumažėja ir jau nuo 445 iteracijos neviršija 5 %. Pasiekus 948 iteraciją apmokymo kokybė nusistovi ties 100 % riba. Atliekant eksperimentus su tinklo apmokymu, buvo gauti įvairūs rezultatai, tačiau nepavyko išvengti rinkinių apmokymo tikslumo šuolių. Pastebėta, jog didinant rinkinio dydį yra gaunami mažesni šuoliai.

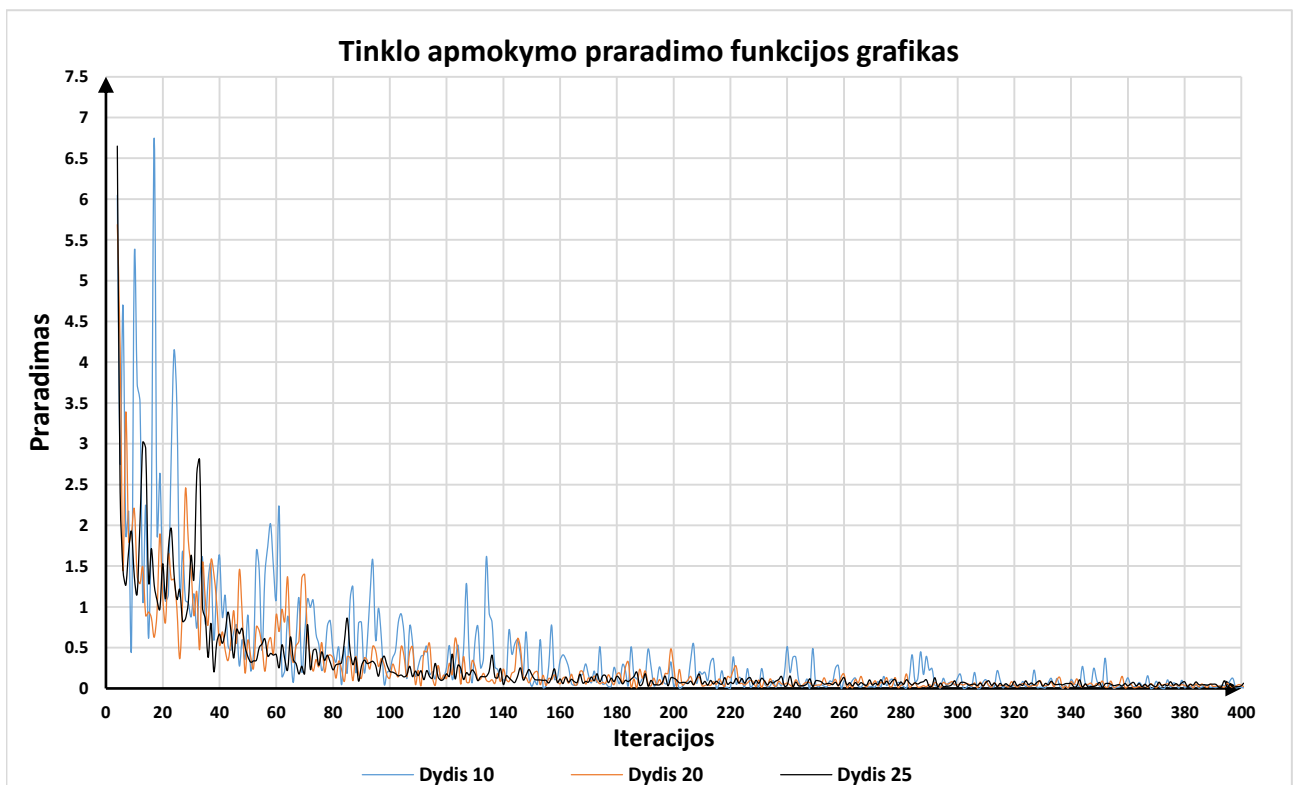


25 pav. pavyzdžių rinkinio apmokymo praradimo funkcijos duomenys, kai pavyzdžių rinkinio dydis (angl. - *batch size*) – 10, o epochų skaičius - 20

Kaip ir rinkinio apmokymo tikslumo grafike, taip ir mokymo praradimo funkcijos reikšmių grafike neišvengta šuolių, tačiau jau ties 600 iteracija, svyravimai tampa minimalūs, tai galima matyti 25 paveiksle. Pastebėta, kad didinant mokymo rinkinio dydį sumažėja ne tik tikslumo, bei praradimo funkcijų grafikų šuoliai, bet ir tinklo apsimokymo kokybė. Paveiksluose 26 ir 27 galima matyti rezultatus, kai rinkinių dydžiai yra 10, 20 ir 25. Kai rinkinių dydžiai yra 10 ir 20, švytavimai pastebimai didesni, tačiau tinklo tikslumas, kai rinkinio dydis 10 – 98.41 %, kai 20 – 98,41 %, kai 25 - 98,41 %. Tinklo apmokymo kokybė nekito, didinant rinkinio didį nuo 10 iki 25, tačiau toliau didinant rinkinio dydį iki 30 ir daugiau, gaunama vis prastesnė tinklo apmokymo kokybė.



26 pav. pavyzdžių rinkinio apmokymo tikslumas, kai mokymo rinkinio dydis – 10, 20, 25. Epochų skaičius – 20



27 pav. pavyzdžių rinkinio apmokymo praradimo funkcijos duomenys, kai pavyzdžių rinkinio dydis– 10, 20, 25. Epochų skaičius - 20

2.8. Formos atpažinimas naudojant ultragarsinius jutiklius SICK UM18-51111

Ultragarsiniams jutikliams sparčiai tobulėjant, jų panaudojimo galimybės, taip pat, išaugo. Ultragarsu paremto veikimo jutikliai gali būti pritaikyti produkcijos broko aptikimui, deformacijoms aptikti, surinkimo procesams. Pats paprasčiausias panaudojimo būdas yra atstumo matavimas.

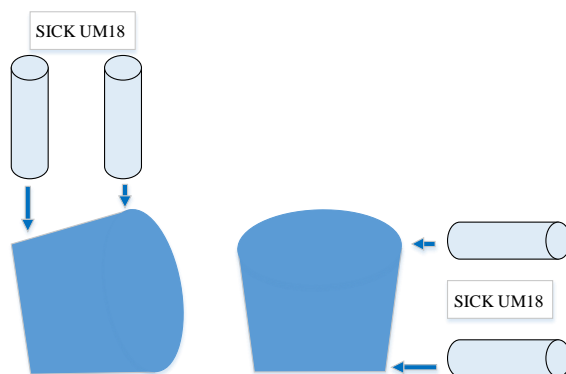


28 pav. Ultragarsinis jutiklis SICK UM18-51111 [26]

Yra daug įvairių rūšių atstumo matavimo jutiklių, kurių tikslumas ir naudojimo paskirtis gali labai skirtis. Vieni labiau tinka dirbti su spalvotais objektais, kiti su triukšmingą paviršių turinčiais objektais, kiti su permatomais objektais. Todėl yra labai svarbu įvertinti, tarp kokių objektų bus matuojamas atstumas. Pavyzdžiui, naudojant optinį atstumo jutiklį matavimo kokybei didelę įtaką turi spalva (juoda, mėlyna). Be to, optiniai jutikliai yra jautrūs objekto paviršiaus nelygumams. Priešingai, nei optiniai jutikliai, ultragarsiniai jutikliai nėra jautrūs nei spalvai, nei objekto paviršiaus tekstūrai. Kadangi produktas, kurio orientaciją reikia atpažinti yra juoda duona, ultragarsinis jutiklis yra lengviau pritaikomas. Būtent dėl šių priežasčių matavimui buvo parinktas ultragarsinis atstumo matavimo jutiklis „SICK UM18-5111“. Jo matuojamas atstumas yra 30-350 mm, tikslumas – 2 procentų paklaida. Jutiklis išduoda analoginį 0-10 V signalą, todėl norint jį naudoti kartu su programiniu loginiu valdikliu „DELTA DVP28SV2“, reikalingas papildomas analoginio signalo įėjimo modulis [26].

Kaip minėta, nustatomas produktas yra forminė duona, turinti aiškią ir simetrišką formą. Produktas keliauja konvejeriu dvejomis padėtimis: arba ant kairiojo šono, arba ant dešiniojo. Produkto įstrižumas ant transporterio juostos valdomas kreipiančiosiomis, todėl produktas atkeliauja su minimaliu pakrypimu, t. y. ne daugiau negu 10 laipsnių. Todėl galima teigti, kad yra aiškios ir stabilios sąlygos, kaip produktas keliauja atpažinimo zonoje.

Atstumų matavimo principas pateiktas 29 paveiksle. Kadangi produktas yra trapecijos formos, jį paguldžius ant šono, aukštis tarp kraštinių briaunų skiriasi 15-18 mm. Todėl turint aiškiai apibrėžtas produkto keliavimo sąlygas galima išmatuoti atstumus nuo produkto briaunų ir pagal gautą informaciją nustatyti, kuriuo šonu produktas juda transporterio juosta.



29 pav. Atstumo nuo produkto matavimo pozicijos

2.8.1. Ekperimentinė Sistema

Sistemą sudaro 1800 mm ilgio transporteris su baltos spalvos juosta. Transporterio šonuose sumontuotos kreipiančiosios, skirtos produkto pozicijos koregavimui važiuojant transporteriu. Transporterio greičiui valdyti naudojamas dažnio keitiklis „DELTA VFD004E21T“. Produkto atpažinimo aktyvavimui naudojamas optinis jutiklis (veikiantis siūstuvo – imtuvo veikimo principu).

2.8.2. Atpažinimo programa

Produkto atpažinimui buvo sudaryta programuojamo loginio valdiklio programa. Produktui suaktyvinus matavimo pradžios fiksavimo jutiklį, pradedamas duomenų įrašymas. Įrašymas vyksta nurodytą laiką ir nurodytą skaičių, t. y. įrašomos kelios reikšmės duonai judant. Iš gautų reikšmių išvedamas vidurkis ir palyginamas su kontrolinėmis reikšmėmis. Kadangi visi produktai nėra idealūs, įvedamas paklaidos parametras.

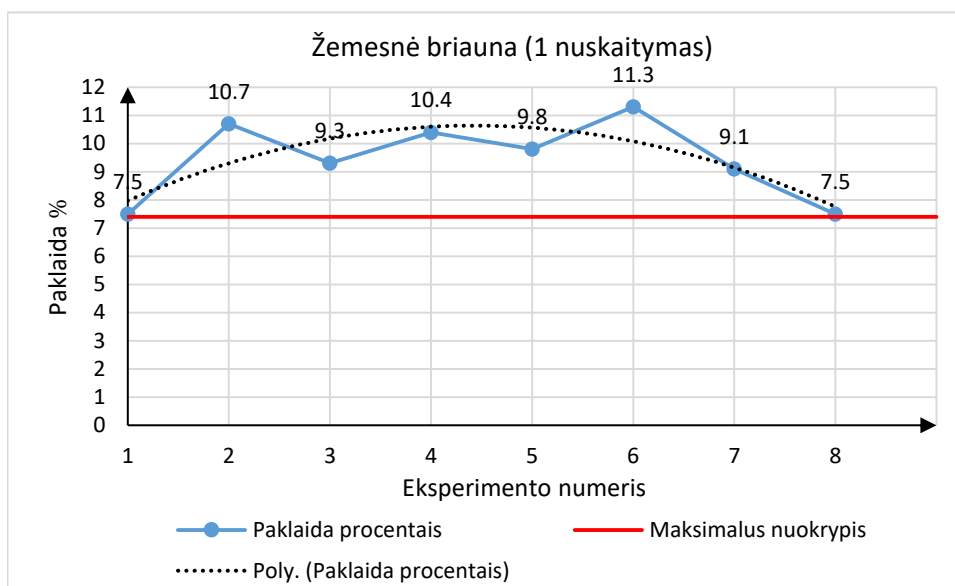
2.9. Eksperimento rezultatai

Apačioje esančiuose grafikuose galima matyti kaip kinta nuskaitymo paklaida išreikšta procentais. Bandymams buvo naudojamas pastovus transporterio greitis, atstumas nuo transporterio juostos iki jutiklių 300 mm. Kontrolinės jutiklių reikšmės: žemesnioji duonos briauna 2457 (analoginio įėjimo reikšmė) ir aukštesnioji briauna 2282 (analoginio įėjimo reikšmė). Kadangi analoginio programuojamo loginio valdiklio įėjimo raiška yra 4096, tai galima nesunkiai suskaičiuoti minimalią ir maksimalią matavimo reikšmes. Jei maksimalus matavimo atstumas yra 350 mm, jį atitiks 4096 analoginio įėjimo vienetų reikšmė, jei minimali matavimo reikšmė 30 mm, jį atitiks 0 analoginio įėjimo vienetų reikšmė. Tai reiškia, jog 1 mm bus apytiksliai lygus 13 analoginio įėjimo vienetų.

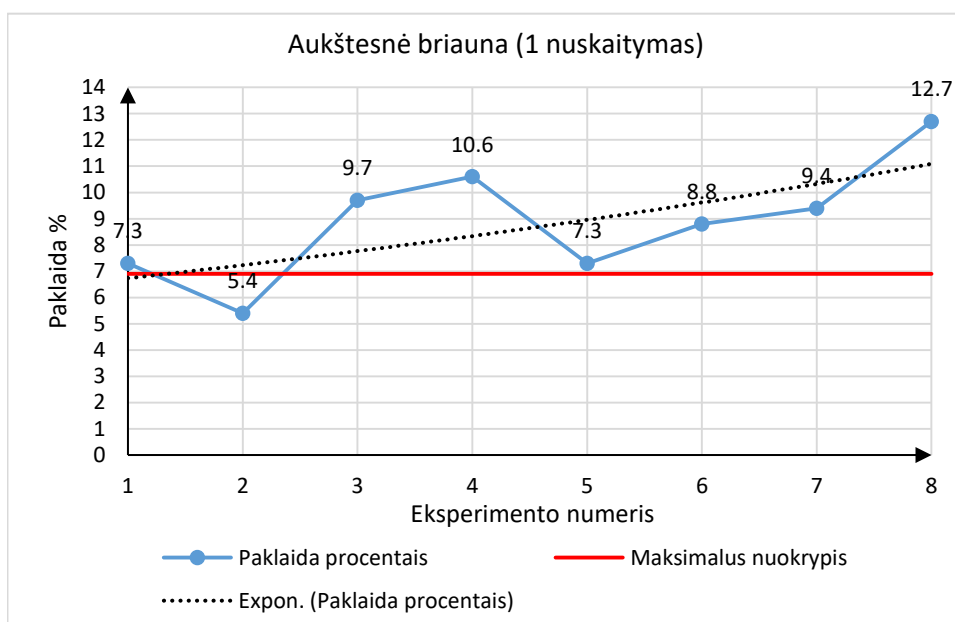
Bandymo tikslumui naudojamas vienas produktas. Bandymai su skirtingais nuskaitymo skaičiais atliekami aštuonis kartus. Paveiksluose 30, 31, 32, 33, matyti gauti matavimo rezultatai nuskaitymo paklaidą išreiškiant procentais, kai matavimo atstumas nuo jutiklių iki transporterio juostos yra 300 mm. Eksperimento atlikimo metu, matavimai produktui pravažiuojant pro jutiklius bus atliekami vieną, du, tris, keturis ir penkis kartus. Rezultatai gauti naudojant du, tris ir keturis nuskaitymus, pateikti prieduose (1 - 12 priedai).

Iš 30, 31 paveiksluose pateiktų grafikų galima matyti, jog atliekant tik vieną matavimą paklaidos kinta labai nepastoviai ir viršija maksimalų leistiną nuokrypį. Maksimalus leistinas nuokrypis yra skirtumas tarp duonos briaunų aukščių. Išreikškus skirtumą procentais, jis būtų lygus 7.5 %. Matavimai

atlikti jutikliams esant 300 mm atstumu nuo transporterio juostos, vykdant vieną nuskaitymą, nesuteikia jokios informacijos apie pravažiuojančios duonos orientaciją.

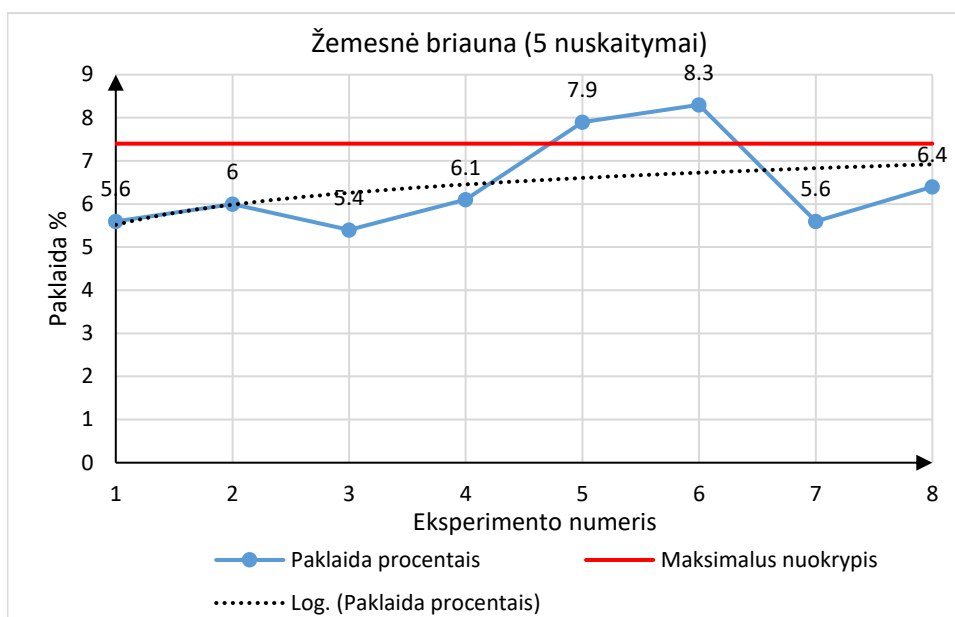


30 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant vieną nuskaitymą (žemesnioji briauna)

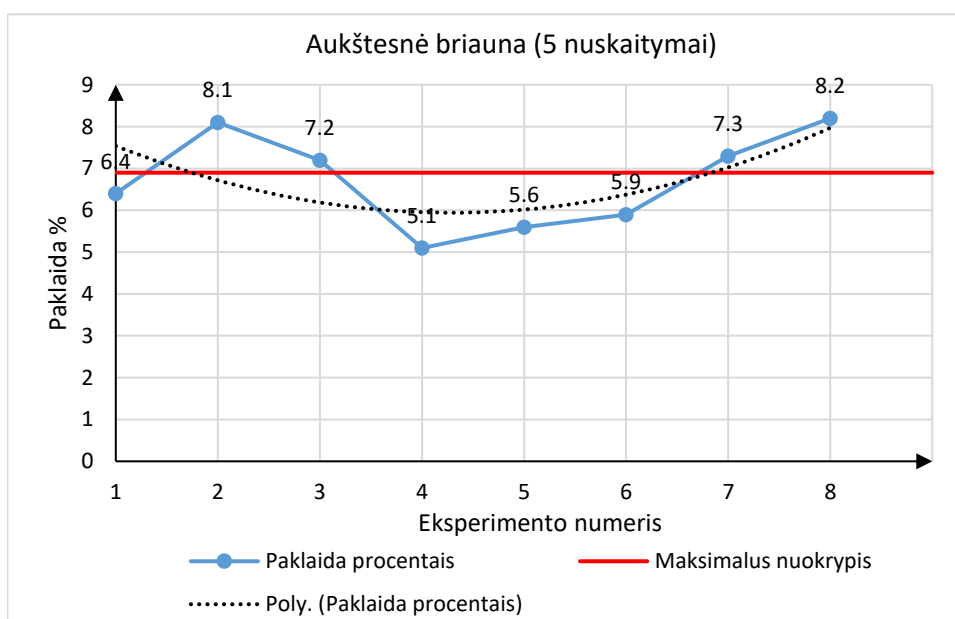


31 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant vieną nuskaitymą (aukštesnioji briauna)

Atliekant penkis matavimus gaunamos mažesnės paklaidos, tai galima matyti 32 ir 33 paveiksluose, tačiau abejais atvejais rezultatai netenkina matavimo kokybės reikalavimų. Atlikus 5 matavimus vidutinė paklaida žemesniajai briaunai sumažėjo 3.04 %, o aukštesniajai briaunai 2.18 %. Matavimai atlikti jutikliams esant 300 mm atstumu nuo transporterio juostos vykdant penkis nuskaitymus, nesuteikia pakankamai informacijos apie pravažiuojančios duonos orientaciją.



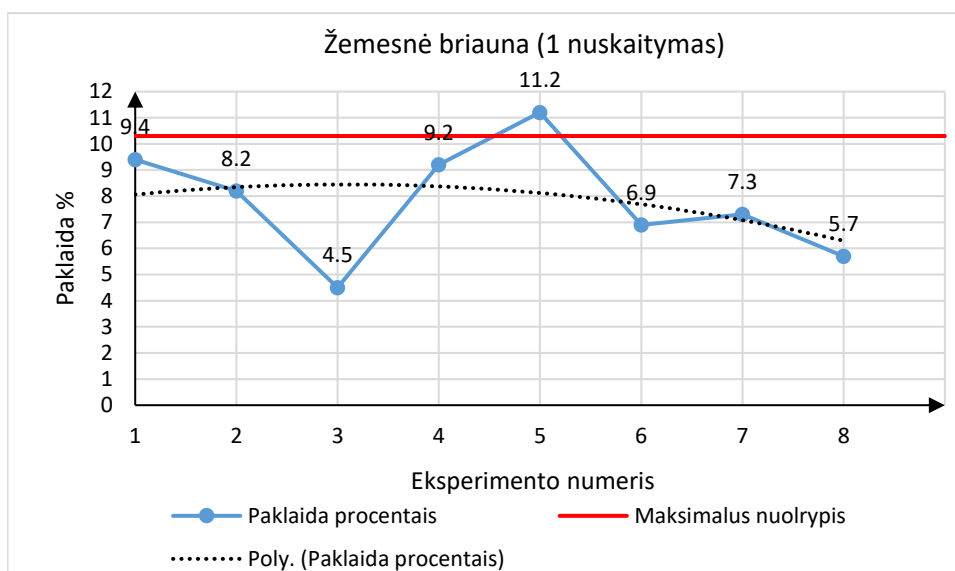
32 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant penkis nuskaitymus (žemesnioji briauna)



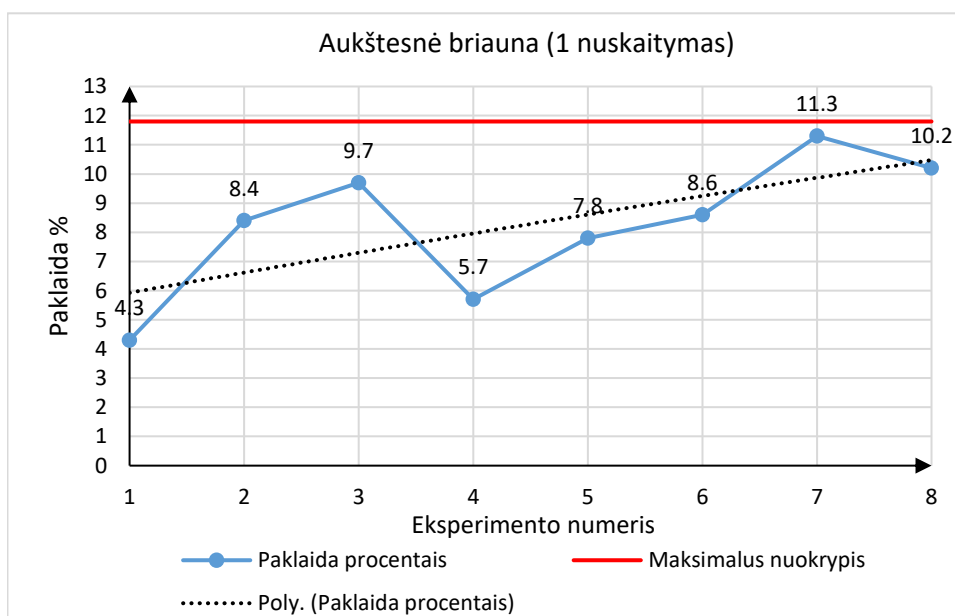
33 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant penkis nuskaitymą (aukštesnioji briauna)

Grafikuose esančiuose 34, 35, 36, 37 paveiksluose pateikti rezultatai kaip kinta nuskaitymo paklaida išreikšta procentais, kai atstumas nuo transporterio juostos iki jutiklių 200 mm. Kontrolinės jutiklių reikšmės: žemesnioji duonos briauna 1287 (analoginio įėjimo reikšmė) ir aukštesnioji briauna 1122 (analoginio įėjimo reikšmė). Bandymo tikslumui naudojamas vienas produktas.

Sumažinus matavimo atstumą buvo gauti ženkliai geresni rezultatai, tačiau atliekant tik vieną matavimą 34 ir 35 paveiksluose matyti, jog paklaida nėra sisteminga ir kinta labai nestabiliai, bei viršija maksimalų leistiną nuokrypį. Matavimai atlikti jutikliams esant 200 mm atstumu nuo transporterio juostos, vykdant vieną nuskaitymą, nesuteikia pakankamai informacijos apie pravažiuojančios duonos orientaciją.

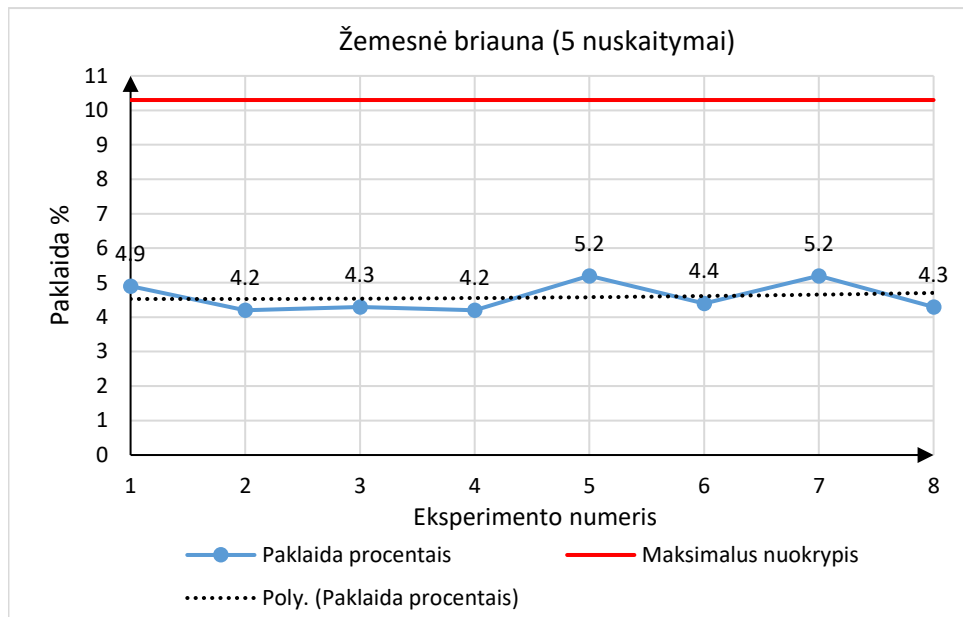


34 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant vieną nuskaitymą (žemesnioji briauna)

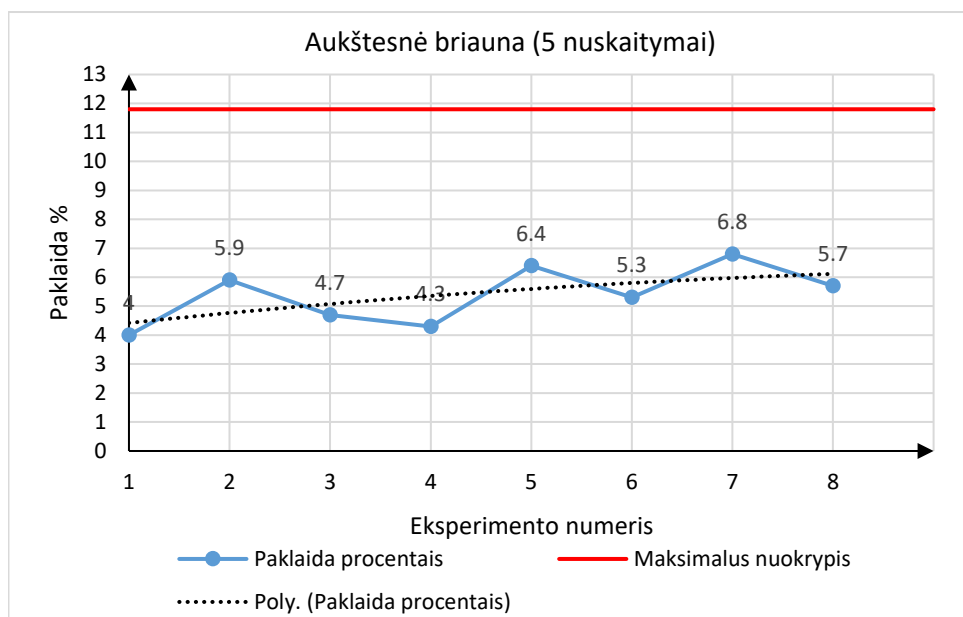


35 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant vieną nuskaitymą (aukštesnioji briauna)

Padidinus matavimų skaičių iki penkių, paklaidų kitimas tampa pastovesnis, nėra viršijamas maksimalus leistinas nuokrypis, tai galima matyti 36 ir 37 paveiksluose. Atlikus 5 matavimus vidutinė paklaida žemesniajai briaunai sumažėjo 3.32 %, o aukštesniajai briaunai 2.87 %. Tačiau atliekant eksperimentus nebuvo išvengiama ir labai didelių paklaidų, kurios lėmė prastą rezultatą. Grafikuose tai neatsispindi, nes paklaidos atsiranda labai nesistemiškai. Tai geriau matyti 38 ir 39 paveiksluose. Matavimai atlikti jutikliams esant 200 mm atstumu nuo transporterio juostos, vykdant penkis nuskaitymus, suteikia pakankamai informacijos, kad būtų nustatyta pravažiuojančios duonos orientacija.



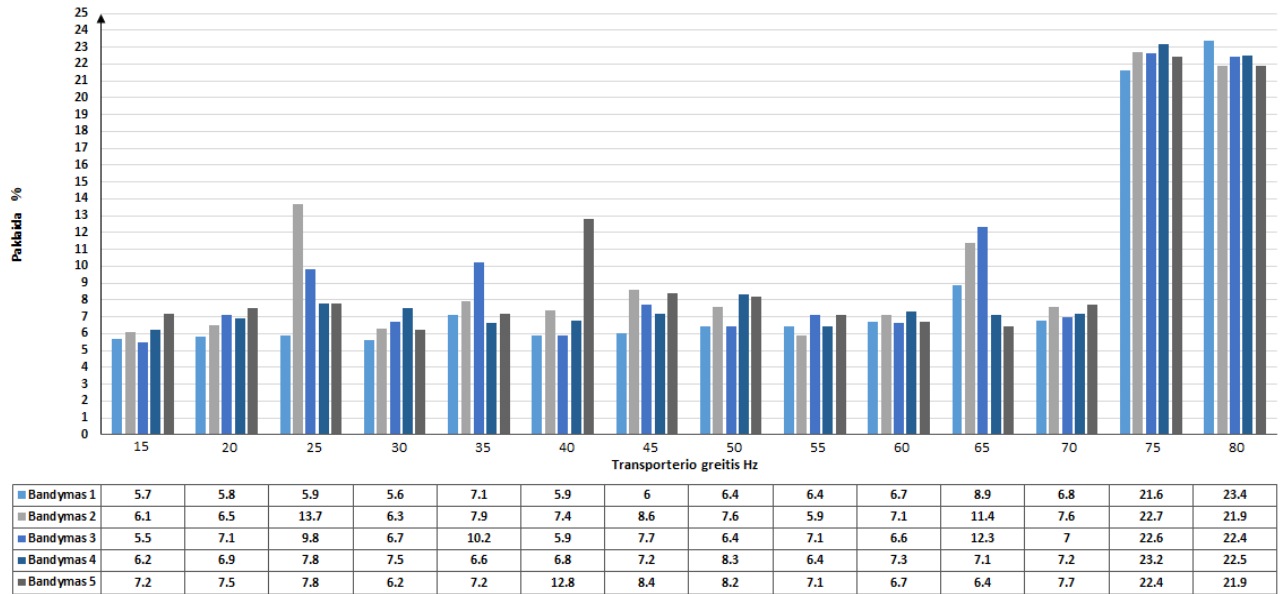
36 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant penkis nuskaitymus (žemesnioji briauna)



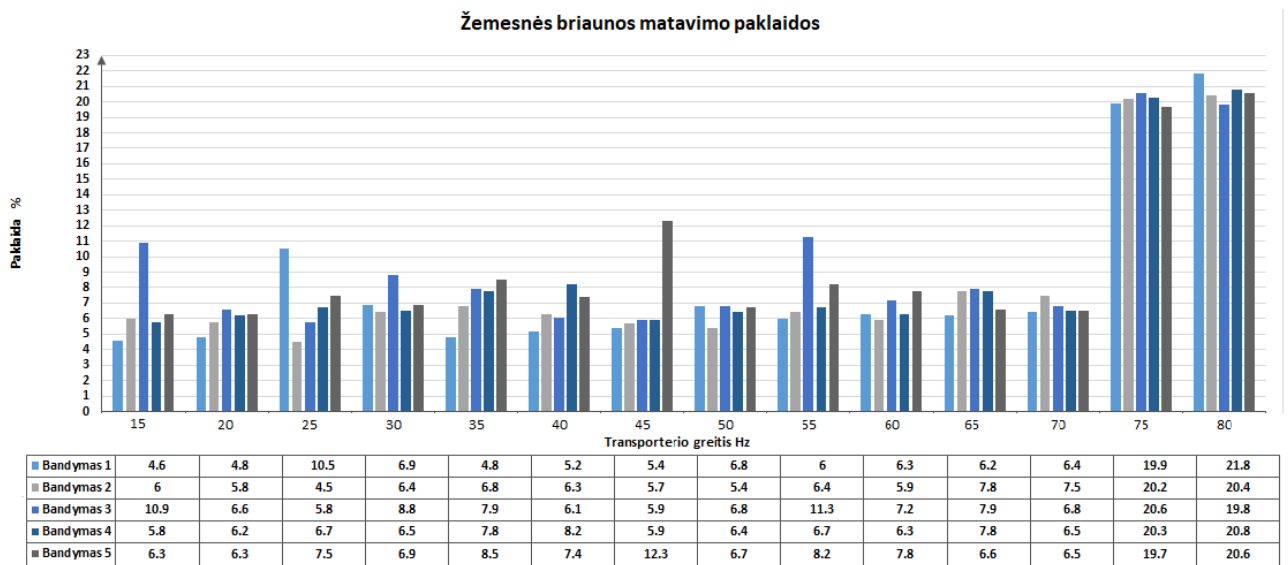
37 pav. Jutiklio matavimo paklaida, vykdant penkis nuskaitymus (aukštesnioji briauna)

Kadangi jutiklio matavimo ribos apriboja jutiklių sumontavimo arčiau transporterio juostos galimybę, 200 mm laikomas tinkamiausias todėl, kad esant šiam matavimo atstumui buvo gauti geriausi rezultatai. Nustačius optimaliausią matavimo atstumą, buvo įvertinta matavimo kokybės priklausomybė nuo duonos judėjimo greičio. Kadangi eksperimentinės sistemos transporterį valdo dažnio keitiklis, jo judėjimo greitis eksperimento atlikimo metu buvo keičiamas didinant valdymo dažnį 5 Hz žingsniu. Šių bandymų duomenis galima pamatyti 38 ir 39 paveiksluose.

Aukštesnės briaunos matavimo paklaidos



38 pav. Matavimo paklaidos keičiant transporterio judėjimo greitį (žemesnioji briauna)



39 pav. Matavimo paklaidos keičiant transporterio judėjimo greitį (žemesnioji briauna)

Iš gautų rezultatų pateiktų 38 ir 39 paveiksluose matyti, jog paklaidos yra gana pastovios, tačiau vis atsiranda didesnių nuokrypių, kurie pasirodo visai nesistemiškai. Tai lemia susidariusios nepalankios sąlygos – tam tikra duonos pozicija jutiklių atžvilgiu. Kadangi jutiklių matavimo charakteristika nėra vienoda per visą matavimo atstumą, todėl tikėtini nukrypimai. Taip pat, galima pastebėti, jog paklaida ties 75 ir 80 Hz riba labai smarkiai išauga, taip nutinka dėl to, jog paskutinis matavimas atliekamas duonai jau pravažiavus jutiklius. Dėl naudojamų filtrų, skanavimo laiko ir programos greičio stokos, nespėjama įrašyti penkių matavimų, esant maksimaliems transporterio judėjimo greičiams.

2.10. Profilio atpažinimas naudojant lazerinį 2D jutiklį “SmartRunner”

Tradiciniuose vaizdų apdorojimo sprendimuose standartinės regos jutikliai naudojami produktų ar medžiagų padėčiai kontroliuoti. Šis procesas yra brangus ir sudėtingas, nes dirbant su mažo kontrasto objektais ar esant dideliems atpažįstamų objektų judėjimo greičiams, šie jutikliai greitai pasiekia aptikimo ribas. Tokiais atvejais matymo jutikliams reikia papildomo išorinio apšvietimo ir sudėtingos konfigūracijos. Dėl šių priežasčių lazeriniai 2D profilio aptikimo jutikliai yra puikus ir paprastas sprendimas, norint aptikti nesudėtingus objektus ir jų kontūrus. Profilio atpažinimui buvo pasirinktas “Pepperl + Fusch” gamintojo lazerinis 2D skanavimo jutiklis. Šviesos sekcijos technologija yra pagrįsta trianguliacijos principu ir leidžia atlikti įvairias funkcijas, pavyzdžiui, tiksliai nustatyti aukščio profilius ir kraštų linijas. Šviesos sekcijos jutikliai yra labai tikslūs, neįtraukia išorinei šviesai ir veikia nepriklausomai nuo objekto spalvos ir paviršiaus tekstūros. Integruota fotoaparato funkcija, įskaitant LED apšvietimą, supaprastina parametrų naudojimą su „Data Matrix“ valdymo kodais. Be to, kameros sumontuotos jutiklyje pagalba, galima užfiksuoti klaidingų situacijų vaizdus, leidžiant personalui greitai ir efektyviai įsikišti sutrikimų atveju [27].

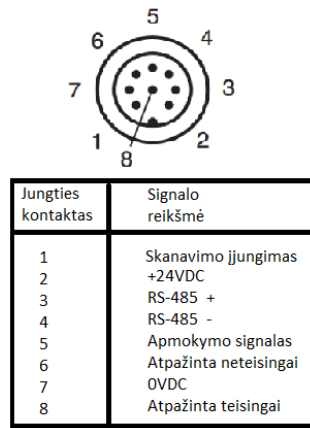
Šių jutiklių įdiegimas nereikalauja papildomos įrangos. Jie palaiko RS-485 komunikacijos ryšį, taip pat, gali būti valdomi naudojant diskretinius signalus. Jutiklyje galima išsaugoti iki 32 parametrų rinkinių skirtų skirtingiems objektams atpažinti. Parametrų rinkinius galima pakeisti prijungus kompiuterį arba nuskanavus bar kodą, kuriame užkoduotos parametrų vertės. Šiuos bar kodus galima sugeneruoti naudojant, jutiklio konfigūravimo programą “Pepperl + Fusch Vision configurator”.

2.10.1. Ekperimentinė Sistema

Jutiklio veikimo tyrimui buvo naudojama ta pati transporterio konfigūracija, kaip ir tiriant ultragarsinių jutiklių veikimą. Plačiau apie eksperimentinę sistemą galima sužinoti 2.8.1 skyriuje.

2.10.2. Atpažinimo programa

Jutiklio valdymą galima įgyvendinti dviem metodais: naudojant RS-485 komunikaciją ir naudojant diskretinius signalus. Tiriamu atveju jutiklio valdymas yra įgyvendinamas naudojant tik diskretinius įėjimus. Jutiklio apmokymas galimas tiek naudojant komunikaciją, tiek diskretinius signalus, tiek naudojant mygtukus esančius ant daviklio korpuso. Tiriamu atveju jutiklis apmokomas naudojant gamintojo pateiktą programą “Pepperl + Fusch Vision configurator”. Viso tyrimo metu šis programinis paketas buvo naudojamas jutiklio apmokymui ir parametrizavimui. Jutiklis turi 8 kontaktų M12 srieginę jungtį, kurios kontaktų reikšmę galima matyti 40 paveiksle A dalyje, o jutiklio korpusą galima pamatyti 40 paveikslo B dalyje [27].



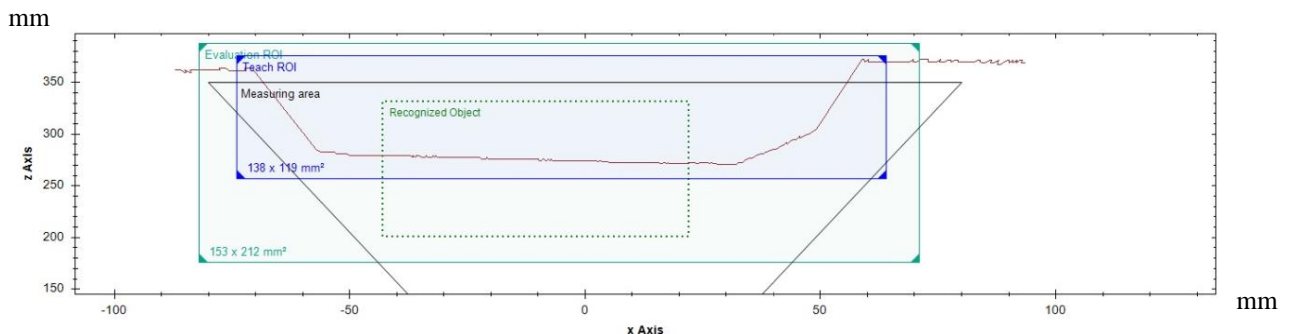
A

B

40 pav. SmartRunner lazerinio 2D jutiklio signalų jungtis A ir jutiklio korpusas B [27]

Atpažinimo programos veikimas yra labai panašus į programos naudotos ultragarsinių jutiklių veikimo tyrimui, tačiau šį kartą keičiamas ne nuskaitymo reikšmių skaičius, o keičiamas skanavimo skaičius. Skanavimas atliekamas naudojant diskretinį įėjimą, kuris yra valdomas iš PLV (programinio loginio valdiklio), todėl galima užduoti norimą skanavimų skaičių, bei pasirinkti skanavimo dažnį. Įvertinus maksimalų produkto judėjimo greitį, buvo nustatytas penkių skanavimų skaičius, o dažnis 10 skanavimų per sekundę. Produkto aptikimui naudojamas laiko filtras, norint išvengti trikdžių. Ar produkto pozicija gera ar ne, yra sužinoma gavus patvirtinimą iš atpažinimo daviklio, kuris turi du diskretinius išėjimus: atpažintas produktas geras, atpažintas produktas blogas.

Kaip atrodo jutiklio gaunami duomenys apmokymo ir atpažinimo metu galima matyti 41 paveiksle. Apmokymo metu Z ir X ašių atžvilgiu yra nurodoma gaunamų duomenų vertinimo sritys, kuriose reikia nurodyti atpažinimo sritį. Jei atpažinimo sritis bus per didelė ir viršys atpažįstamo produkto gabaritus, padidės tikimybė gauti blogus rezultatus, nes yra vertinama procentinė viso atpažinto paviršiaus dalis, todėl reikia vengti perteklinio paviršiaus duomenų. Mėlynas stačiakampis 41 paveiksle nurodo jutiklio atpažinimo sritį – tai ką jutiklis turi atpažinti. Žalias išsitiesinė linija pažymėtas stačiakampis rodo visą vertinimo sritį, kurioje bus ieškoma atpažįstamo objekto. Žalias stačiakampis su punktyrine linija nurodo, kuri atpažįstamo objekto dalis yra atpažinta.



41 pav. Lazerinio 2D profilio atpažinimo jutiklio apmokymo duomenys

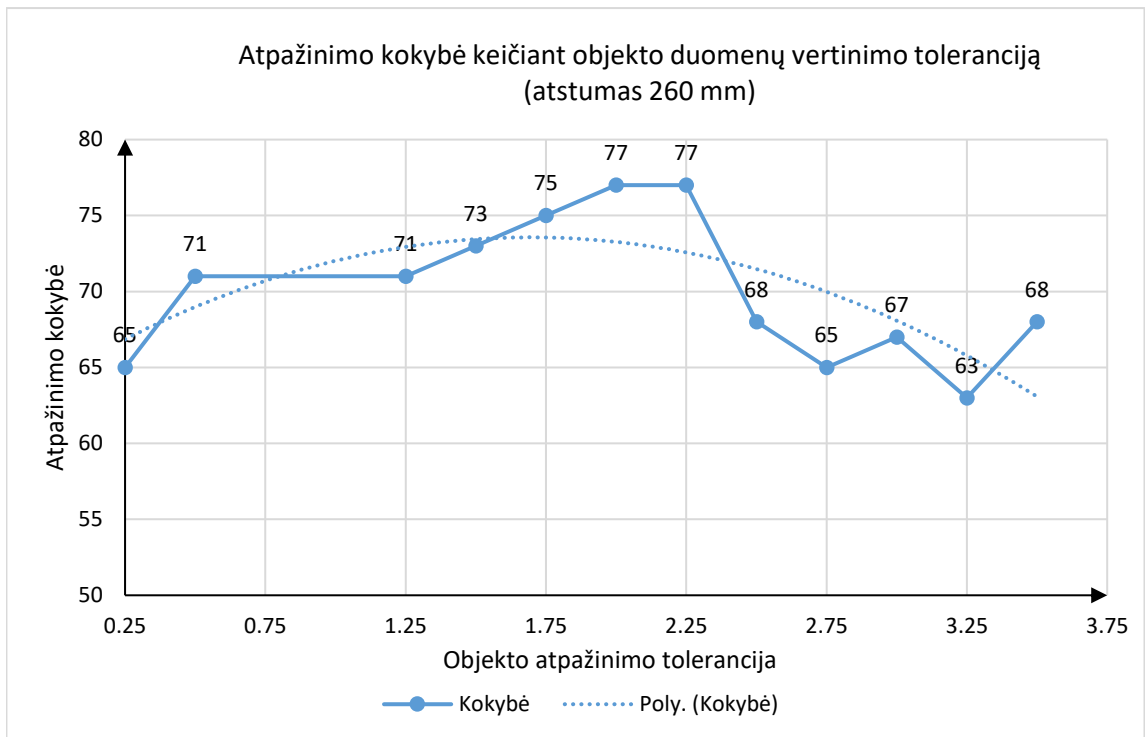
Jutiklis taip pat aprūpintas vaizdo fiksavimo kamera, kuri leidžia inspektuoti situaciją, jei yra susiduriama su produkto atpažinimo problema. Kameros vaizdą galima matyti 42 paveiksle. Vaizde pateiktas duonos atpažinimo metu gautas vaizdas.



42 pav. Lazerinio 2D profilio atpažinimo jutiklio kameros daryta nuotrauka apmokymo metu

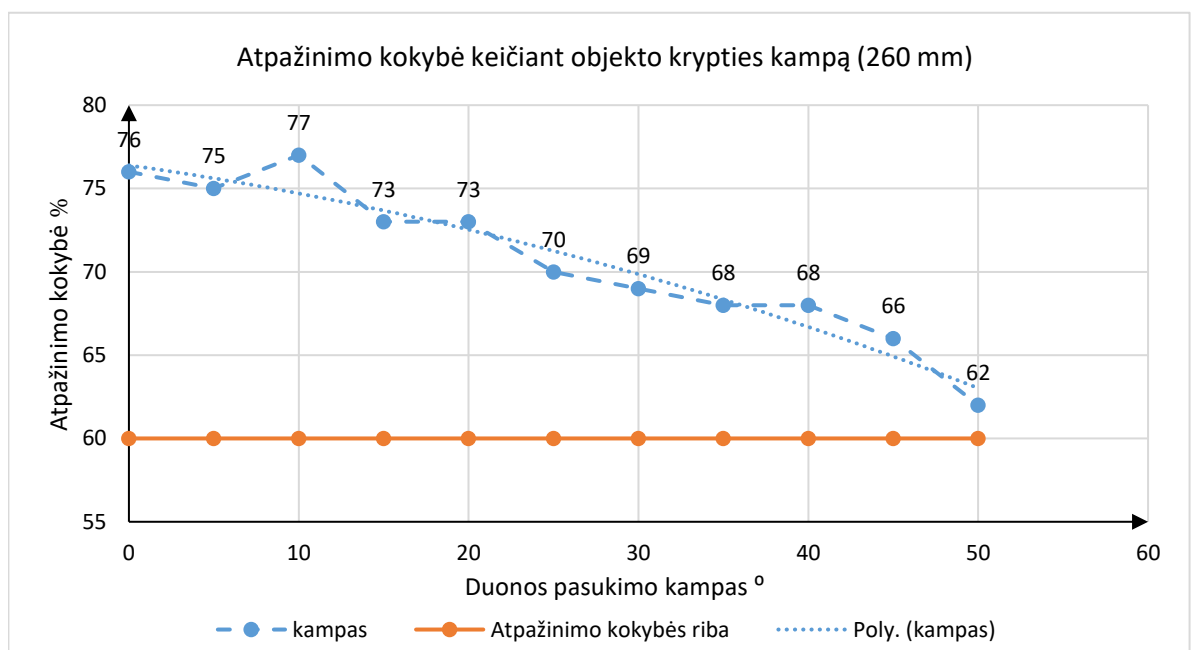
Iš pradžių, jutiklio aukštis buvo renkamas atsitiktinai. Pasirinktas aukštis 260 mm nuo transporterio juostos. Atstumas nuo duonos iki jutiklio apytiksliai 160 mm. Pasirinkta minimali duonos orientacijos atpažinimo kokybė 60 %, tai reiškia, kad atpažinimo kokybei nukritus žemiau šios vertės, objektas bus laikomas neatpažintu. Buvo stebimi ir kaupiami duomenys apie tai, kaip atpažinimo kokybė priklauso nuo produkto atpažinimo tolerancijos, nuo produkto pasukimo kampo ir produkto poslinkio nuo jutiklio centro. Bandymai kiekvienomis sąlygomis atliekami po 10 kartų. Grafikuose, kurie matomi 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 paveiksluose, pateikti duomenys yra bandymų metu gauti rezultatai. Tai yra matavimo paklaidos išreikštos procentais.

Bandymai buvo pradėti nuo jutiklio matavimo tolerancijos reikšmės keitimo. Tolerancijos reikšmė užduodama milimetrais ir yra naudojama kaip galima paklaida, jei atpažįstamas objektas nėra tiksliai toje pačioje vietoje, kaip apmokymo metu. Tai reiškia jis gali būti pasislinkęs, pakrypęs, pakilęs, nusileidęs žemiau. Jei pozicijos pakitimas nebus didesnis negu užduota tolerancijos reikšmė – atpažinimo kokybė nesumažės. Iš 43 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad jutiklio atpažinimo rezultatai labai nepastovūs ir svyruoja nuo 63 % iki 77 %. Duonos atpažinimo metu nebuvo pasiektas neigiamas rezultatas, kai produktas yra neatpažįstamas. Geriausi rezultatai gauti su 2.25 mm tolerancijos reikšme. Eksperimento metu duona ant transporterio juostos buvo pastatoma toje pačioje vietoje, tačiau dėl juostos tekstūros ir kreipiančiųjų esančių po juosta, galimi minimalūs duonos pozicijos pakitimai. Atlikus matavimus jutikliui esant 260 mm atstumu nuo transporterio juostos, nekeičiant produkto pozicijos, gauti rezultatai leidžia atpažinti duonos orientaciją, tačiau atpažinimo kokybė yra minimali.



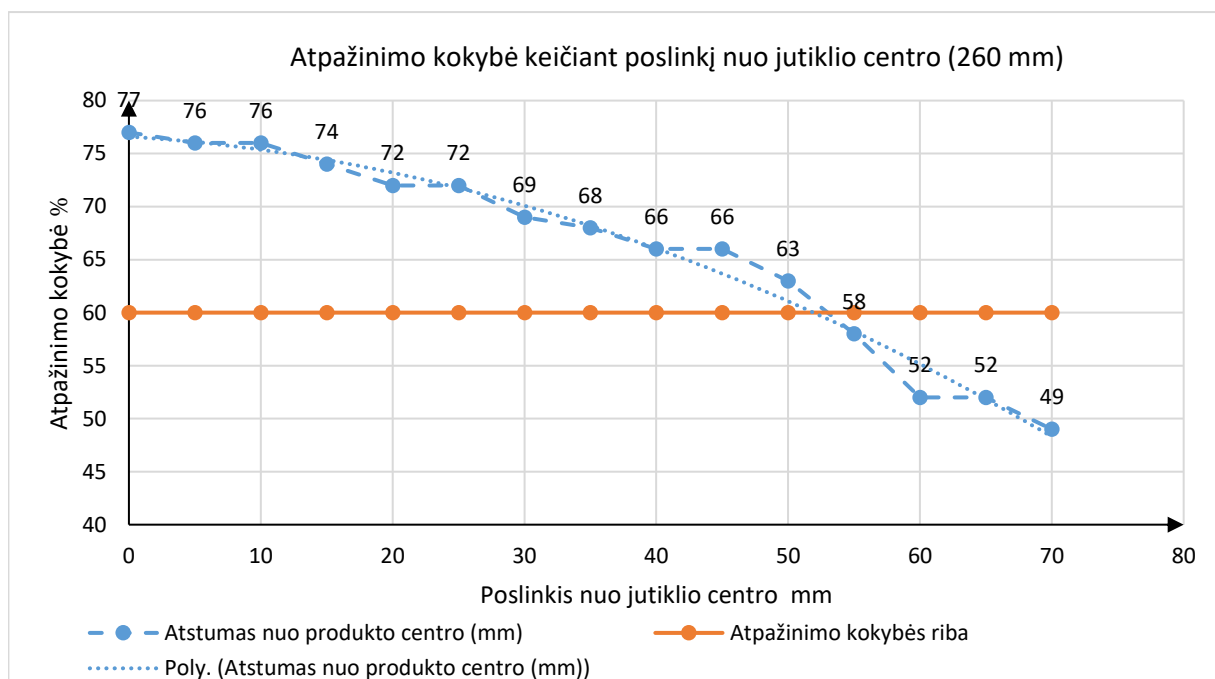
43 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto vertinimo tolerancijos (jutiklio atstumas 260 mm)

Toliau atliktas produkto posūkio kampo bandymas. Šiam eksperimentui liniuotės skirtos duonos pozicijos koregavimui ant transporterio juostos buvo praplėstos taip, kad tarpas tarp jų būtų 30 cm. Iš 44 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad atpažinimo kokybė mažėja beveik tiesiškai, tačiau nenukrenta žemiau negu atpažinimo kokybės riba. Kokybė kinta nuo 62 % iki 77 %. Geriausias rezultatas pasiektas esant 10 laipsnių kampui.



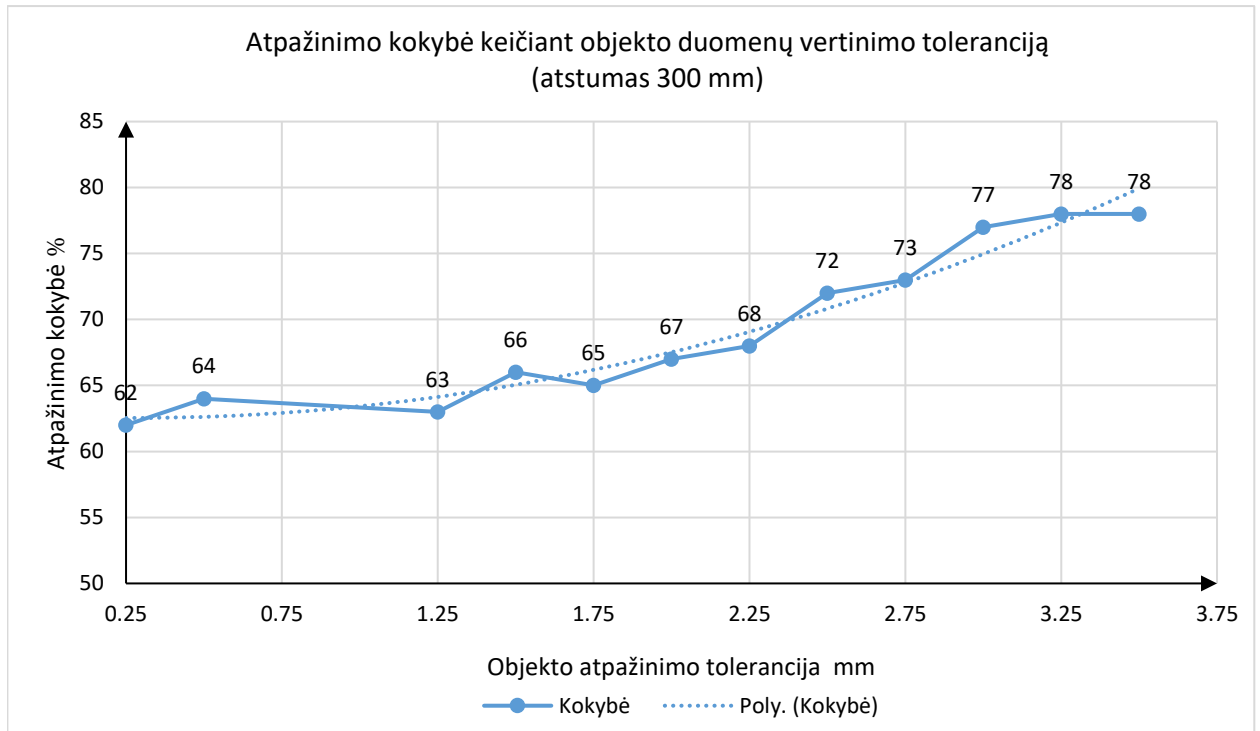
44 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto pasukimo kampo (jutiklio atstumas 260 mm)

Toliau buvo keičiamas produkto poslinkis ant transporterio juostos nuo jutiklio centro. Kaip ir duonos pasukimo kampo įtakos atpažinimo kokybės tyrimui, taip ir poslinkio tyrimui, buvo naudojama ta pati transporterio liniuočių konfigūracija. Dėl šios priežasties jutiklio nustatymuose buvo nustatytas 80 mm leistinas atpažįstamo objekto poslinkis X ašimi. Iš 45 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad atpažinimo kokybė vėl mažėja gana tiesiškai, kai yra didinamas duonos poslinkis ir net viršija atpažinimo kokybės ribą. Kokybės kinta nuo 49 % iki 77 %. Geriausias rezultatas pasiektas be duonos poslinkio.



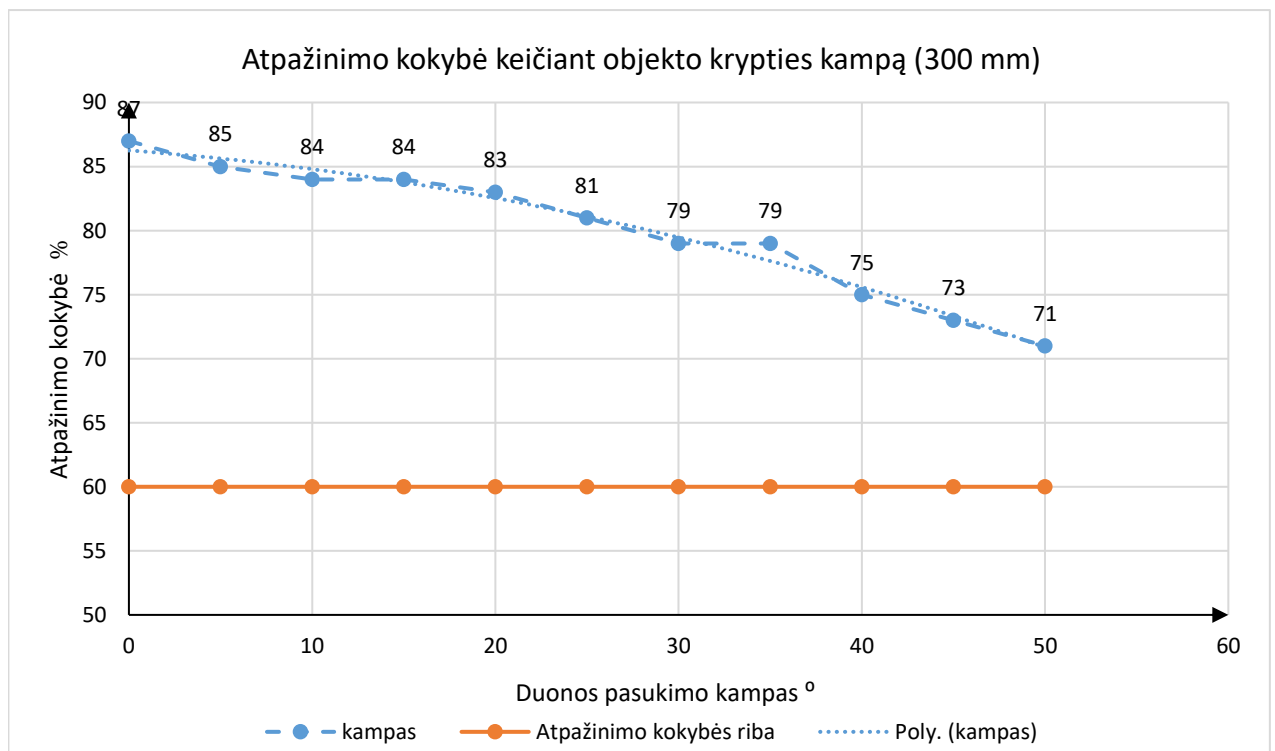
45 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto poslinkio (jutiklio atstumas 260 mm)

Bandymai buvo atliekami didinant jutiklio atstumą. Tarpiniai rezultatai nėra pateikiami. 46, 47, 48 paveiksluose pateikti eksperimentų rezultatai, kai jutiklio atstumas yra 300mm. Iš 38 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad atpažinimo kokybė didinant tolerancijos reikšmę, kinta beveik tiesiškai. Kokybės kinta nuo 62 % iki 78 %. Geriausias rezultatas pasiektas esant 2.5 mm ir 3 mm tolerancijai.



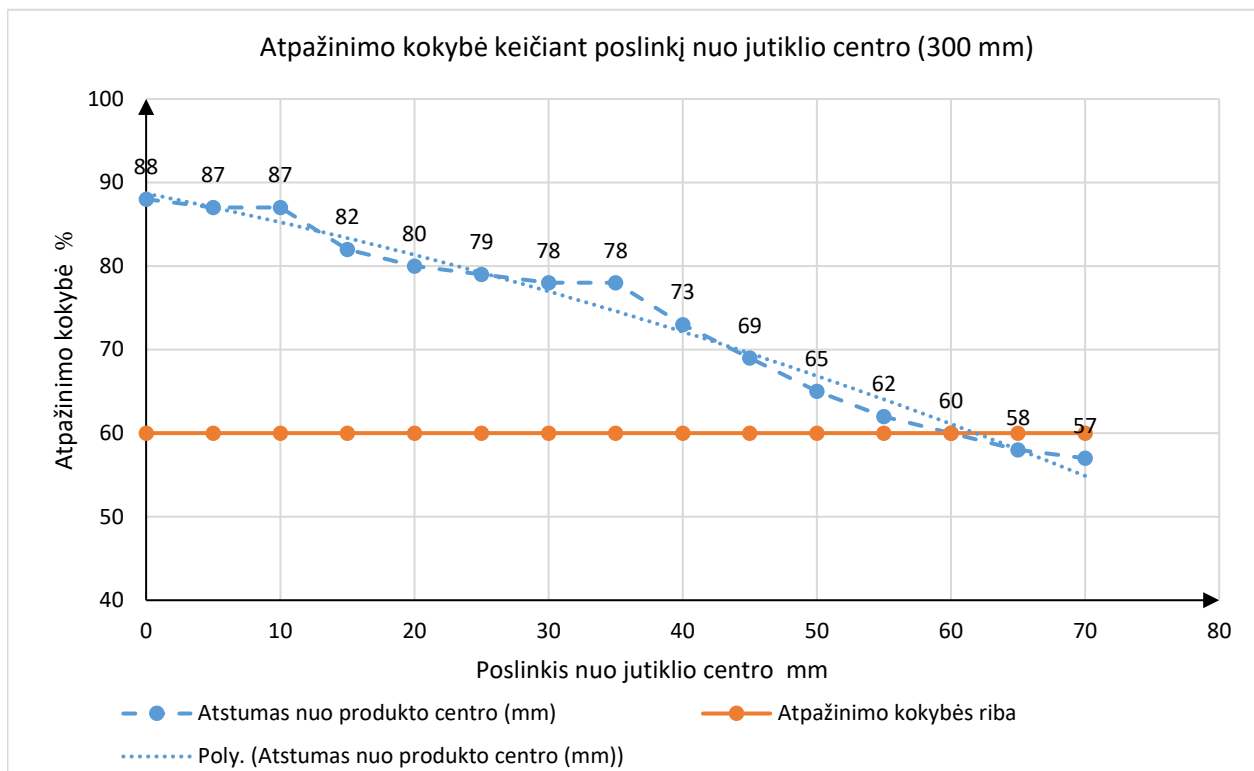
46 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto vertinimo tolerancijos (jutiklio atstumas 300 mm)

Paveiksle 47 matyti, jog atpažinimo kokybė kinta gana tiesiškai keičiant produkto pasukimo kampą, kai atpažinimo atstumas padidintas iki 300 mm. Kokybė kinta nuo 71 % iki 87 %. Geriausias rezultatas gautas, kai produktas nėra pasuktas kampu.



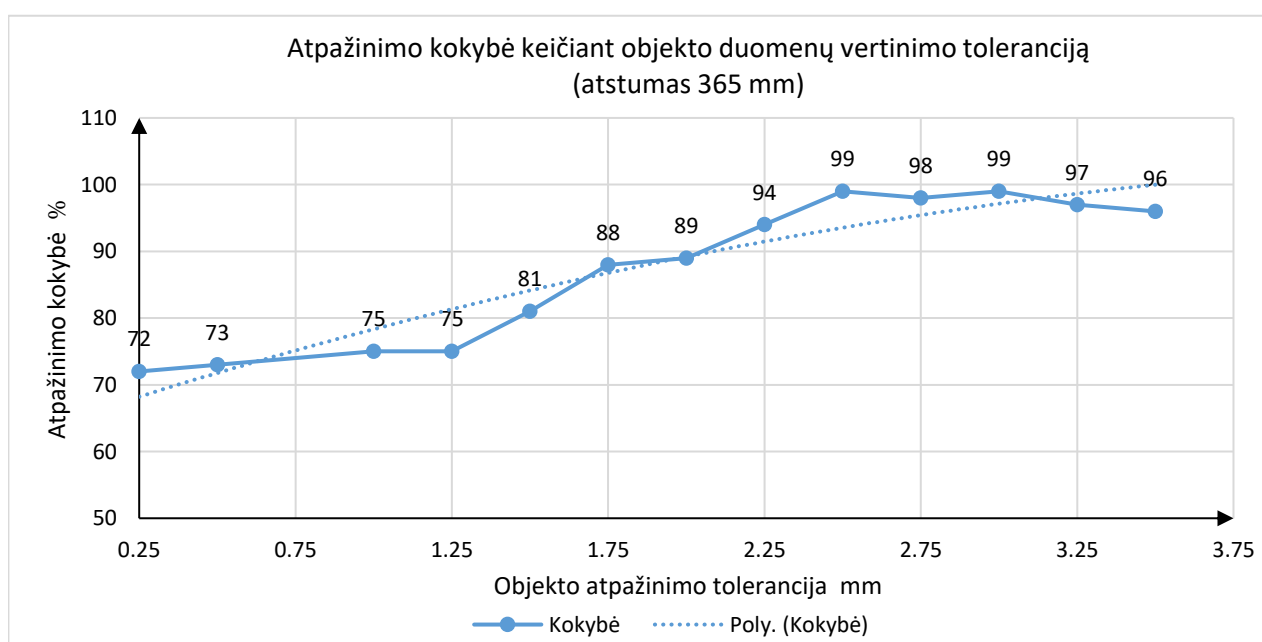
47 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto pasukimo kampo (jutiklio atstumas 300 mm)

Keičiant produkto poslinkį nuo jutiklio centro, rezultatuose esančiuose 48 paveiksle, vėl galima įžvelgti gana tiesišką kokybės kitimą, kai matavimo atstumas 300 mm. Kokybė kinta nuo 57 % iki 88 %. Geriausias rezultatas gautas, kai produktas nėra pasislinkęs nuo jutiklio centro.



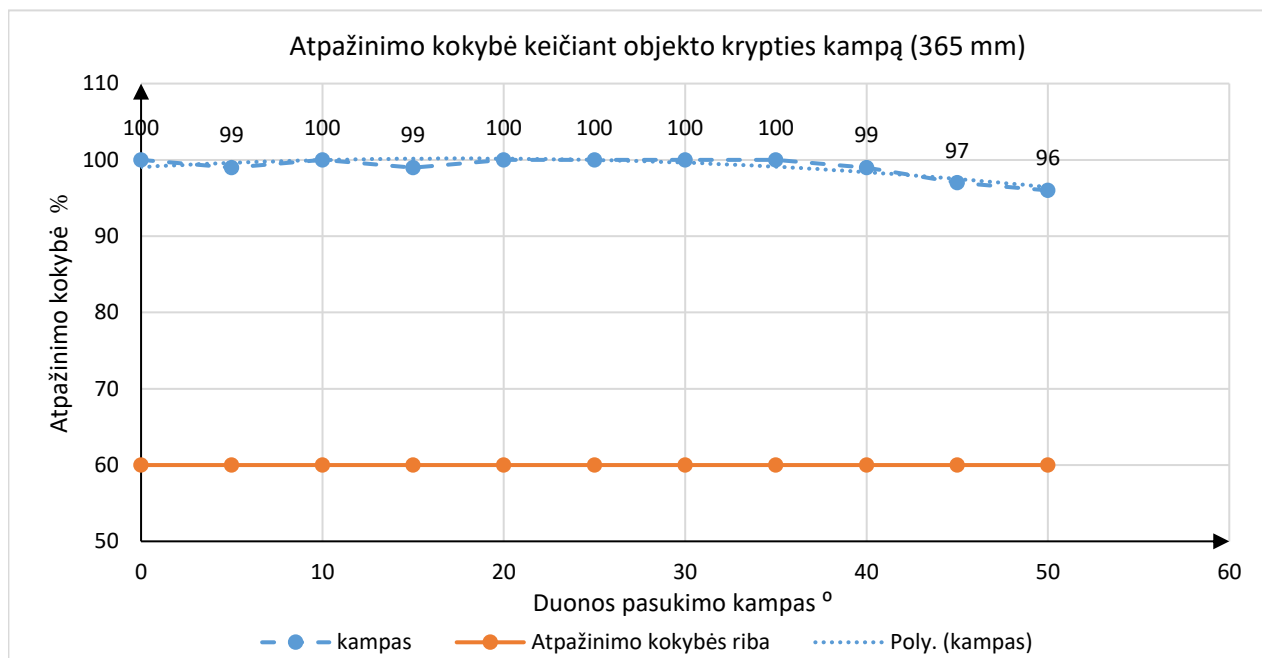
48 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto poslinkio (jutiklio atstumas 365 mm)

Padidinus matavimo atstumą iki 365 mm buvo gauti geriausi matavimų rezultatai. Jie pateikti 49, 50, 51 paveiksluose. Keičiant matavimų toleranciją matavimų kokybė kito nuo 72 % iki 99 %. Geriausi rezultatai gauti, kai tolerancijos reikšmės yra 2.5 mm ir 3 mm.



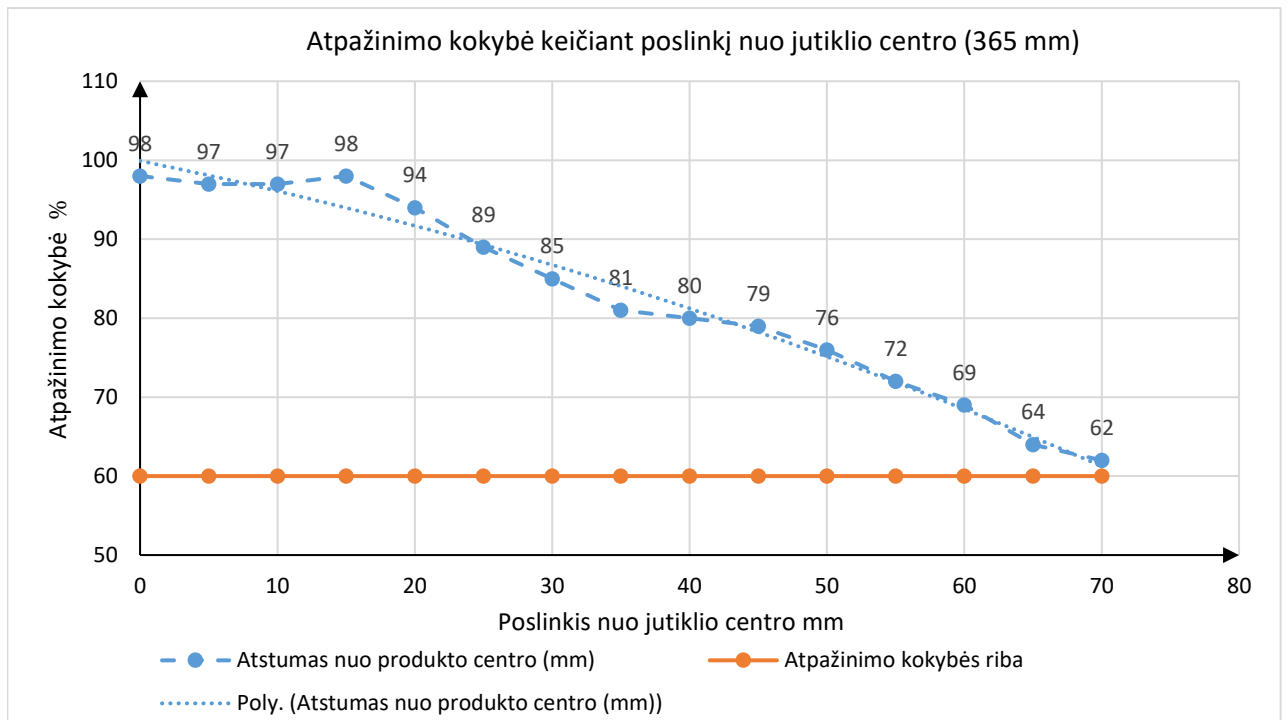
49 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto vertinimo tolerancijos (jutiklio atstumas 365 mm)

Iš 50 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad atpažinimo kokybė beveik nekinta, keičiant duonos pasukimo kampą. Pasiėkus 50 laipsnių kampą kokybė nukrenta iki 96 %, tačiau neturi didelės įtakos atpažinimo procesui. Kokybė kinta nuo 96 % iki 100 %. Iš šių rezultatų matyti, jog esant tinkamai aukščio konfigūracijai, produkto posūkio kampas neturi didelės įtakos atpažinimo procesui, tačiau su kitokios formos objektais rezultatai gali skirtis.



50 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto pasukimo kampo (jutiklio atstumas 365 mm)

Iš 51 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad atpažinimo kokybė, kaip ir praėjusiais atvejais, mažėja gana tiesiškai didinant produkto poslinkį ir net viršija atpažinimo kokybės ribą. Tokį patį rezultatą galima pamatyti, kai jutiklis yra 260 mm aukštyje, tačiau šiuo atveju nėra viršijama atpažinimo kokybės riba. Kokybė kinta nuo 62 % iki 98 %. Geriausias rezultatas pasiektas be produkto poslinkio.



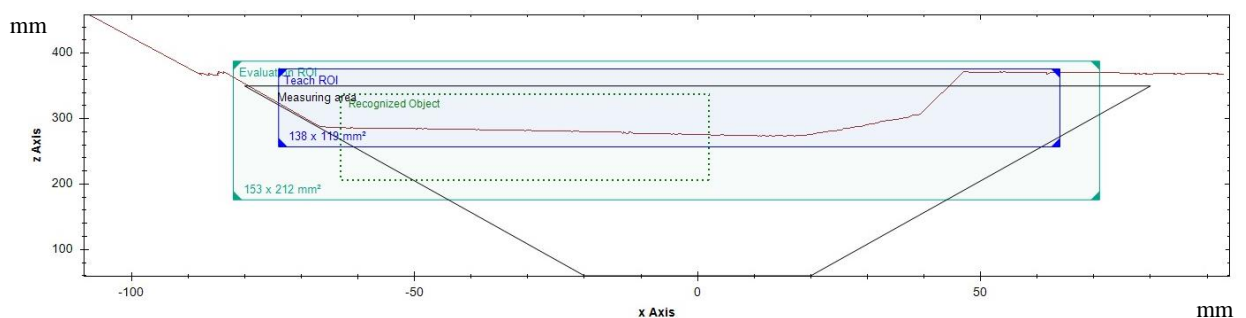
51 pav. Atpažinimo kokybės priklausomybė nuo objekto poslinkio (jutiklio atstumas 365 mm)

Atlikus nurodytus bandymus ir įvertinus rezultatus galima pastebėti, kad esant 365 mm jutiklio aukščiui, gauti rezultatai yra geresni, nei esant 260 mm ar 300 mm aukščiui. Buvo nustatyta, kaip atpažinimo kokybė priklauso nuo jutiklio matavimo tolerancijos, produkto pasukimo kampo, bei produkto poslinkio nuo daviklio centro.

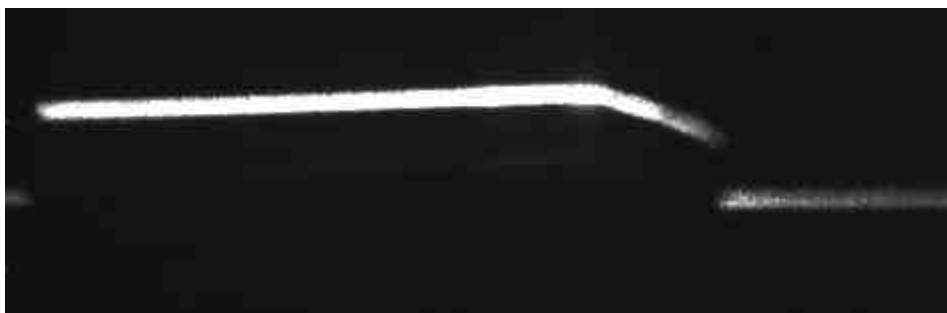
2.10.3. Atpažinimas esant skirtingam apšvietimui

Kadangi numatoma jutiklio vieta yra ant transporterio, kuris stovės prieš sieną su dideliais langais, būtina patikrinti jutiklio veikimo efektyvumą esant skirtingam apšvietimui. Todėl buvo pasirinkti trys apšvietimo tipai: be apšvietimo, esant kambario lempų apšvietimui, esant tiesioginiams saulės spinduliams.

Iš 52 ir 53 paveikslų matyti, kad apmokant jutiklį visiškoje tamsoje, yra gaunamas aiškus produkto kontūro vaizdas. Tai matyti tiek linijiniame vaizde, tiek jutiklio kamera darytoje nuotraukoje (53 pav.). Žalias stačiakampis linijiniame vaizde esančiame 52 paveiksle, nurodo produkto briaunos atpažintą sritį. Atpažinimo kokybė 100 %.

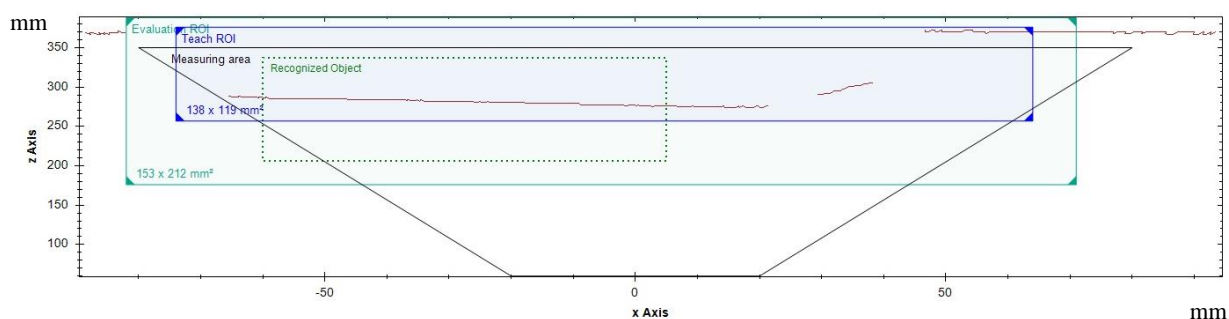


52 pav. Jutiklio matavimo rezultatai be apšvietimo (linijinis vaizdas)

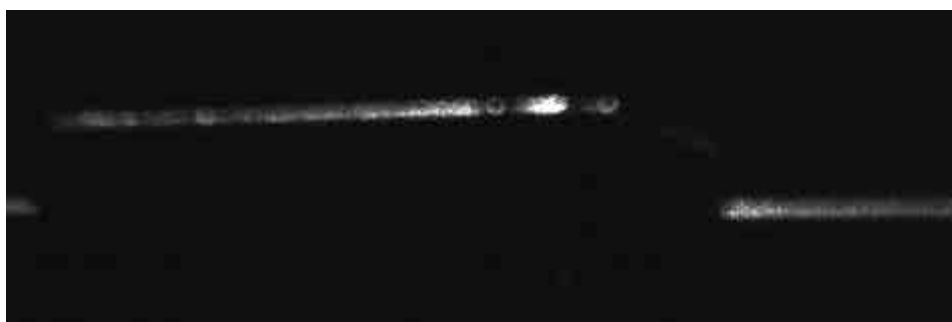


53 pav. Jutiklio matavimo rezultatai be apšvietimo (integruotos kameros nuotrauka)

Iš 54 ir 55 paveikslų matyti, kad apmokant jutiklį dieninių lempų apšvietime, yra gaunamas pakankamai aiškus produkto kontūro vaizdas. Atsiranda tik nedideli trikdžiai. Tai matyti tiek linijiniame vaizde 54 paveiksle, tiek jutiklio kamera darytoje nuotraukoje 55 paveiksle. Atpažinimo kokybė 99 %.

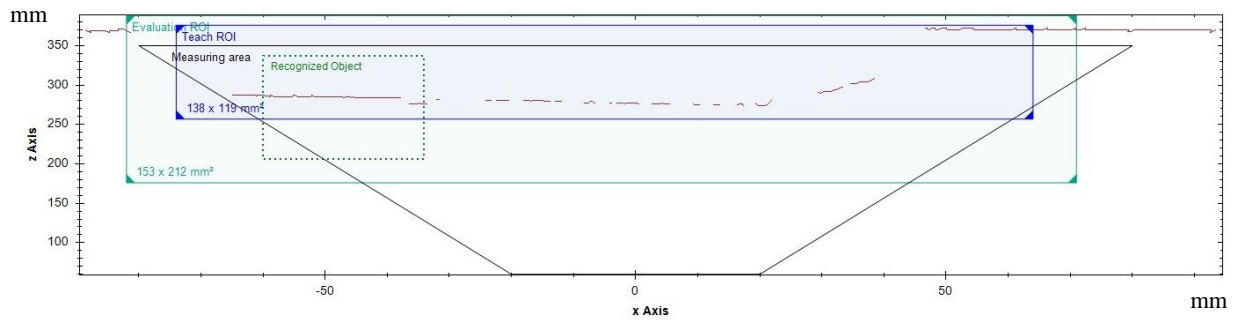


54 pav. Jutiklio matavimo rezultatai su dieninių lempų apšvietimu (linijinis vaizdas)

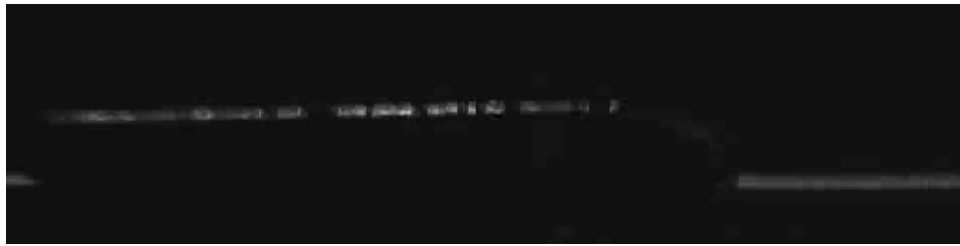


55 pav. Jutiklio matavimo rezultatai su dieninių lempų apšvietimu (integruotos kameros nuotrauka)

Iš 56 ir 57 paveikslų matyti, kad apmokant jutiklį esant tiesioginiams saulės spinduliams, yra gaunamas neryškus produkto kontūro vaizdas. Atsiranda gana dideli trikdžiai. Atpažinimo kokybė sumažėjo iki 89 %. Todėl galima teigti, kad jutiklį reikia apsaugoti nuo itin ryškių šviesos šaltinių, nes jie turi įtaką atpažinimo kokybei.



56 pav. Jutiklio matavimo rezultatai esant tiesioginiams saulės spinduliams (linijinis vaizdas)



57 pav. Jutiklio matavimo rezultatai esant tiesioginiams saulės spinduliams (integruotos kameros nuotrauka)

2.11. Pakavimo linijos programos fragmentai

Atliekant sistemos tobulinimą, buvo nuspręsta keisti pakavimo linijos veikimo programą. Pagrindinis išskeltas reikalavimas buvo išlaikyti kuo mažiau pakitusią sistemą, tam kad išliktų galimybė atnaujinti jau objektuose veikiančius įrenginius. Sistemą išlaikyti nepakitusią, taip pat, svarbu ir dėl suvartojamų kaštų kiekio gaminant įrenginį. Pagrindinės priežastys dėl kurių buvo nuspręsta atnaujinti įrenginio valdymo programą:

- mažas derinimo lankstumas;
- dėl derinimo problemų sunku suderinti įrenginį dirbti maksimaliais greičiais;
- norint įvesti mechanikos ar funkcinių pakeitimų, sunku koreguoti programą, nes ji nėra standartizuota;
- naudojamas perteklinis PLV diskretinių įėjimų išėjimų modulių kiekis.

Įrenginio darbo našumas objektuose paprastai neviršija 52 vienetų per minutę. Tai yra labai geras rezultatas, tačiau norint neatsilikti nuo konkurentų, reikia kad įrangos našumas būtų didesnis. Daugelis klientų akcentuoja įrangos našumą, todėl tai labai svarbus faktorius lemiantis įrangos pardavimų skaičių. Įrengimo galimybės dirbti didesniais greičiais yra galimos, tačiau tai reikalauja nemažo įdirbio derinant įrenginį. Dėl stokos parametrų skirtų derinimo procesui tai trunka gana ilgai. Tai yra nepriimtina dėl to, kad galutinis suderinimas vyksta kepykloje, kur yra pateikiamas produktas galutiniam suderinimui. Derinimo metu padaromas nemažas kiekis broko, gaišamas laikas. Keičiantis produktui yra keičiamas ir parametrų rinkinys (Receptas). Tai reiškia – dar papildomo laiko derinant, ir dar daugiau broko. Visa tai ne tik trukdo atrodyti solidžiai prieš klientą, bet ir kainuoja papildomus pinigus siunčiant serviso tarnybas į įrengimų paleidimą objektuose.

2.11.1. Padavimo transporterio padėties sekimas

Apžvalginėje dalyje yra trumpai paminėti trys vieni iš geriausiai žinomų gamintojų, kurie gamina panašią pakavimo įrangą. Visose sistemose naudojamas nedidelis kiekis pneumatikos komponentų, naudojama daug mechanikos sprendimų. Tai tikrai palengvina sistemos valdymo logikos kūrimą, bei derinimo procesą, tačiau tobulinamoje linijoje priešingai, yra naudojamas nemažas kiekis pneumatikos komponentų, mazgų veikimas surištas tik programiškai. Visos sistemos veikimo atraminis taškas yra produkto padavimo transporteris ant kurio sumontuoti produkto stūmikai. Žinant jų padėtį, galima žinoti pakavimo ciklo pradžios laiką, bei kitų proceso metu vykstančių operacijų aktyvavimo laiką. Visa tai buvo atliekama stūmikų sekimui naudojant optinius jutiklius. Tai būdavo atskaitos taškas pakavimo ciklo pradžia, tačiau po jutiklio signalo stūmiko vieta jau nėra žinoma, todėl visus kitus mazgus reikia priderinti prie jutiklio suveikimo dažnio bei papildomų produkto fiksavimo jutiklių. Dažnis priklauso nuo transporterio sukimosi greičio, o transporterio greitis priklauso nuo variklį valdančio dažnio keitiklio. Yra žinoma, jog dažnio keitiklis esant didesniems valdymo dažniams nepalaiko tiesinės variklio greičio kitimo priklausomybės. Dėl šios priežasties esant dideliame pakavimo greičiui atsiranda problema, kaip perskaiciuoti servo pavarų greičius.

Labai paprastas sprendimas žinoti stūmikų vietą yra naudoti „enkoderį“ arba kitaip sakant, impulsinį skaitiklį. Sumontavus jį ant transporterio ašies ir jutikliu stebint stūmiką, galime tiksliai žinoti jo vietą. Taip pat, galima susieti pakavimui būtinų operacijų aktyvavimo laiką su impulsų skaitiklio reikšmėmis. Nesvarbu, koks transporterio greitis bus, operacijos bus įvykdomos tokiu pačiu metu kaip ir esant mažesniems transporterio greičiams. Kaip ir minėta anksčiau, apžvelgtų pakavimo linijų mazgų veikimą siejo mechaniniai sprendimai, o šiuo atveju mazgų veikimo sujungimo funkciją gali atlikti sumontuotas impulsinis skaitiklis. Tai nereikalauja nei didelių išlaidų, nei radikalių mechaninių ar elektrinių pakeitimų. Todėl buvo sumontuotas kylančio fronto impulsinis skaitiklis, kurio impulsų raiška yra 1024 impulsai per apsisukimą.

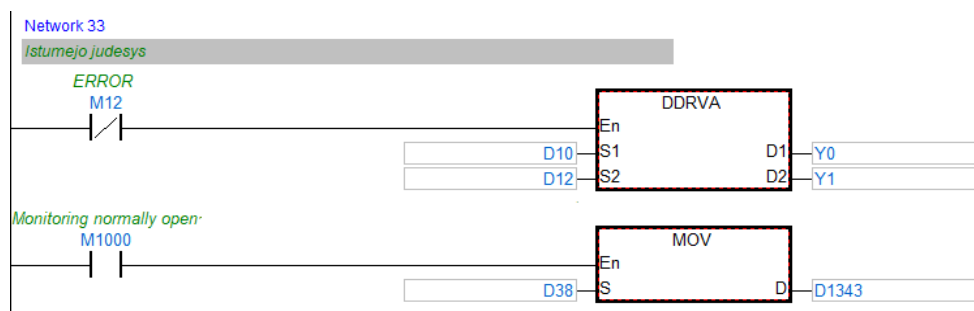
2.11.2. Servo pavarų valdymas

Kita problema yra servo pavarų valdymo sklandumas. Ankstesnėje valdymo programoje buvo naudojamas impulsinis servo pavarų valdymas, naudojant gamintojo paruoštą „DRVA“ funkcinį bloką. Paveiksle 58 pateiktas programos fragmentas, kuriame aprašytas pavaros koordinatės uždavimas. S1 - koordinatė užduota impulsų skaičiumi, S2 – greitis (impulsų skaičius per laiko vienetą), D1 - impulsinis išėjimas, D2 – sukimosi krypties nurodymo išėjimas. Naudojant šį funkcinį bloką stabdymo ir startavimo rampos gali būti užduodamos į specialius registrus. Šiuo atveju registras D1343 yra pavaros startavimo ir stabdymo rampų registras [28]. Naudojant šį valdymo būdą sudėtingėja ne tik pati programa, bet yra sunaudojami net 8 papildomi programuojamo loginio valdiklio išėjimai, kuriais valdomos keturios servo pavaros. Taip pat, neturint komunikacinio ryšio su pavaromis nėra gaunama išsami informacija apie pavarų būseną. Gaunami tik du diskretiniai signalai: pavara pasiruošusi, pavaros valdymo aliarmas. Atsiradus pavaros klaidai, įrenginio valdytojas turi patikrinti elektros skyde esančių servo pavarų valdiklių ekranus ir identifikuoti klaidos kodą. Tai nėra ergonomiška, kai įrenginys yra kitame mieste ar kitoje šalyje, nes serviso darbuotojai privalo paprašyti įrenginį prižiūrinčio žmogaus patikrinti servo pavarų statuso klaidą. Dėl visų šių priežasčių pavarų valdymas buvo pakeistas į komunikacinį. Tokiu būdu papildomi valdiklio valdymo išėjimai tapo nebereikalingi, to pasekoje valdiklių praplėtimų skaičius buvo sumažintas vienu praplėtimu. Sutrumpėjo servo pavarų jungčių paruošimo laikas, nes sumažėjo reikalingų laidų kiekis. Kiekvienos servo pavaros valdiklio jungtį reikia lituoti įrenginio instaliaciją ruošiantiems

darbuotojams, todėl ir čia yra sutaupomas gamybos laikas. Vietoje šių jungčių naudojamas standartinis *Ethernet* kabelis ir terminuojanti varža (120 Ω). Komunikacija veikia 1 Mb/s greičiu, pusdupleksiniu režimu. Tinkle yra penki mazgai - keturios servo pavaros ir valdiklis. Apžvalginėje dalyje nurodyta kokie parametrai yra nuskaitomi iš pavarų ir kokie yra įrašomi. Plačiau apie valdymo parametrus skaityti 2.5 skyriuje.

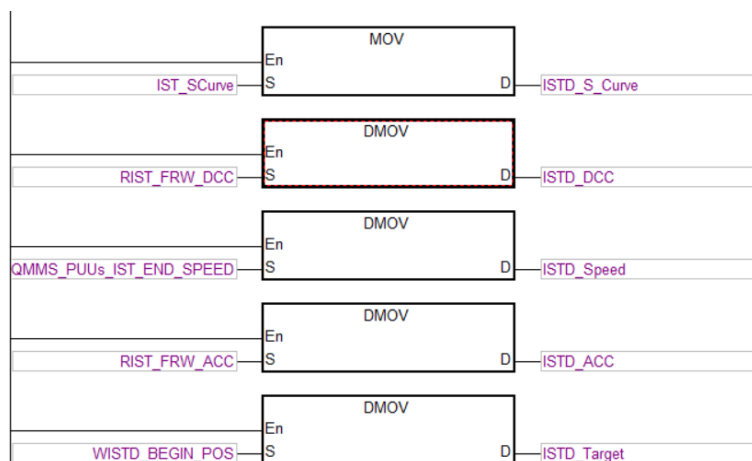
2.11.3. Pavaros judėjimo parametrai

Toliau bus pateikiami buvę programos fragmentai, kuriuos reikėjo perrašyti ir naujai sukurtos analogiškos programos dalys. Ne visos programos dalys yra būtinos, tačiau jos naudojamos programos standartizavimui bei universalumo išpildymui.



58 pav. Servo pavaros koordinatės uždavimas naudojant impulsinį valdymą

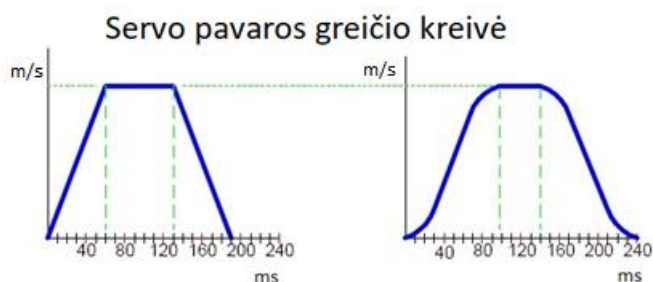
Įgyvendinus komunikacinį valdymą, 58 paveiksle esantis buvusios programos fragmentas nebėra tinkamas pavaros valdymui, kadangi nėra naudojami fiziniai servo pavaros valdymo išėjimai (Y0, Y1). Taip pat, šio fragmento pakeitimas reikalingas norint supaprastinti programą ir panaikinti perteklinį valdymo išėjimų kiekį. Šis fragmentas buvo pakeistas į 59 ir 61 paveiksluose, esančius fragmentus.



59 pav. Servo pavaros valdymo parametrai

Paveiksle 59 galima matyti servo pavarų valdymo kintamųjų sąrašą. Į specialius registrus, kurie buvo priskirti kuriant „CANopen“ tinklą, įrašomos greičio reikšmės, akseleracija, tikslo koordinatė, greitis ir S kreivės parametras. Paveiksle yra matomi registrams priskirti pavadinimai: *ISTD_S_Curve*, *ISTD_DCC*, *ISTD_Speed*, *ISTD_ACC*, *ISTD_Target*. S kreivės parametras skirtas švelnesniam pavarų darbui, kadangi padeda padaryti pavaros greičio kreivę apvalesnę. To pasekoje esant

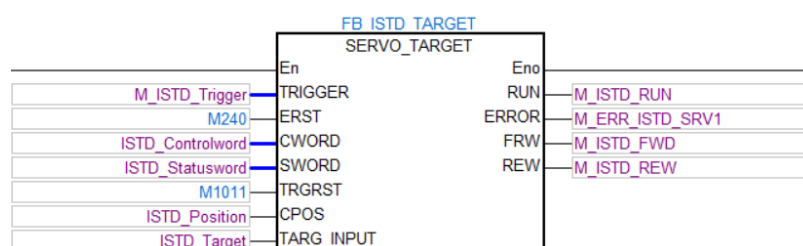
dideliems greičiams išvengiama didesnių įrenginio vibracijų. Sušvelninamas pavaros startavimas ir stabdymas, tai galima matyti 60 paveiksle.



60 pav. Pavaros greičio kitimas naudojant S kreivės parametraž B ir greičio kitimas nenaudojant A [29]

2.11.4. Pavaros judėjimo koordinatės uždavimas

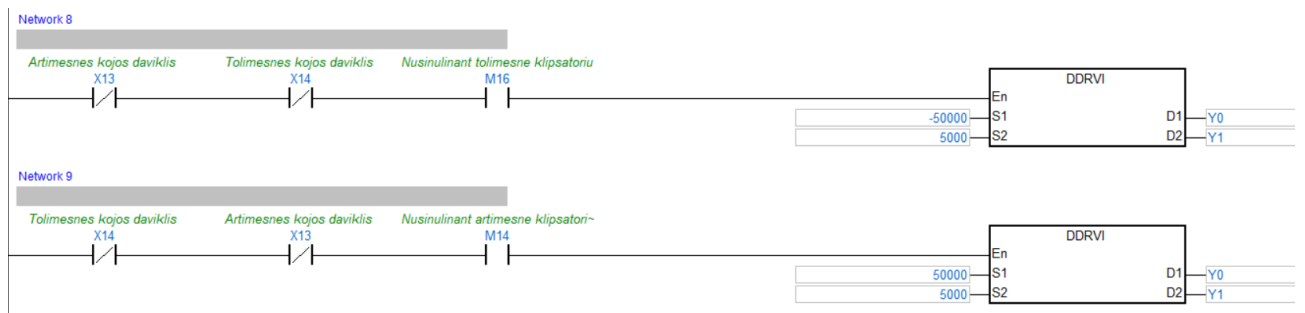
Patogesniam servo pavarų valdymui buvo sukurtas funkcinis blokas, kurio paskirtis yra užduoti pavarai komandą važiuoti į poziciją, atvaizduoti kada pavara juda, į kurią pusę sukasi, ar nėra jokių pavaros klaidų. Taip pat, numatytas klaidų numetimo įėjimas. Kadangi pavaros yra keturios, buvo išvengta sunkumų kuriant kiekvienai pavarai valdymo paprogrames atskirai ir taip standartizuota valdymo programa. Visa tai leido supaprastinti programos kūrimo procesą ir jos skaitymą koregavimo metu. Taip pat, labai svarbu, jog koordinatė užduodama milimetrais, o ne impulsų skaičiumi. Visi reikalingi perskaičiavimai atliekami funkcinio bloko viduje.



61 pav. Servo pavaros koordinatės uždavimas, naudojant komunikacinį valdymą

2.11.5. Pavarų namų pozicijos paieška

Paveiksle 62 pateikta tik dalis iš mazgų nunulinimo programos. Kaip ir minėta ankščiau, viskas atliekama impulsiniu valdymu. Visa tai buvo pakeista į gamintojo numatytą pavaros namų pozicijos paieškos funkciją, todėl visų mazgų nunulinimo programos supaprastėjo. Yra numatyti net 16 namų paieškos režimų, todėl nėra sunku juos pritaikyti skirtingoms situacijoms. Pasirinkto nunulinimo režimo veikimas: užduodama komanda judėti į priekį iki namų pozicijos jutiklio, jei jutiklis nesuveikė ar pavara jau buvo už jo, ji juda iki galinio jungiklio, jam suveikus pakeičia kryptį ir grįžta iki namų pozicijos jutiklio. Suveikus jutikliui, pavara pakeičia kryptį kol namų pozicijos jutiklis tampa neaktyvus – pozicijos paieškos procesas baigtas [30]. Naudojant gamintojo siūlomas funkcijas supaprastinta programa ir yra išvengiama klaidų pavarų namų pozicijos paieškos metu.

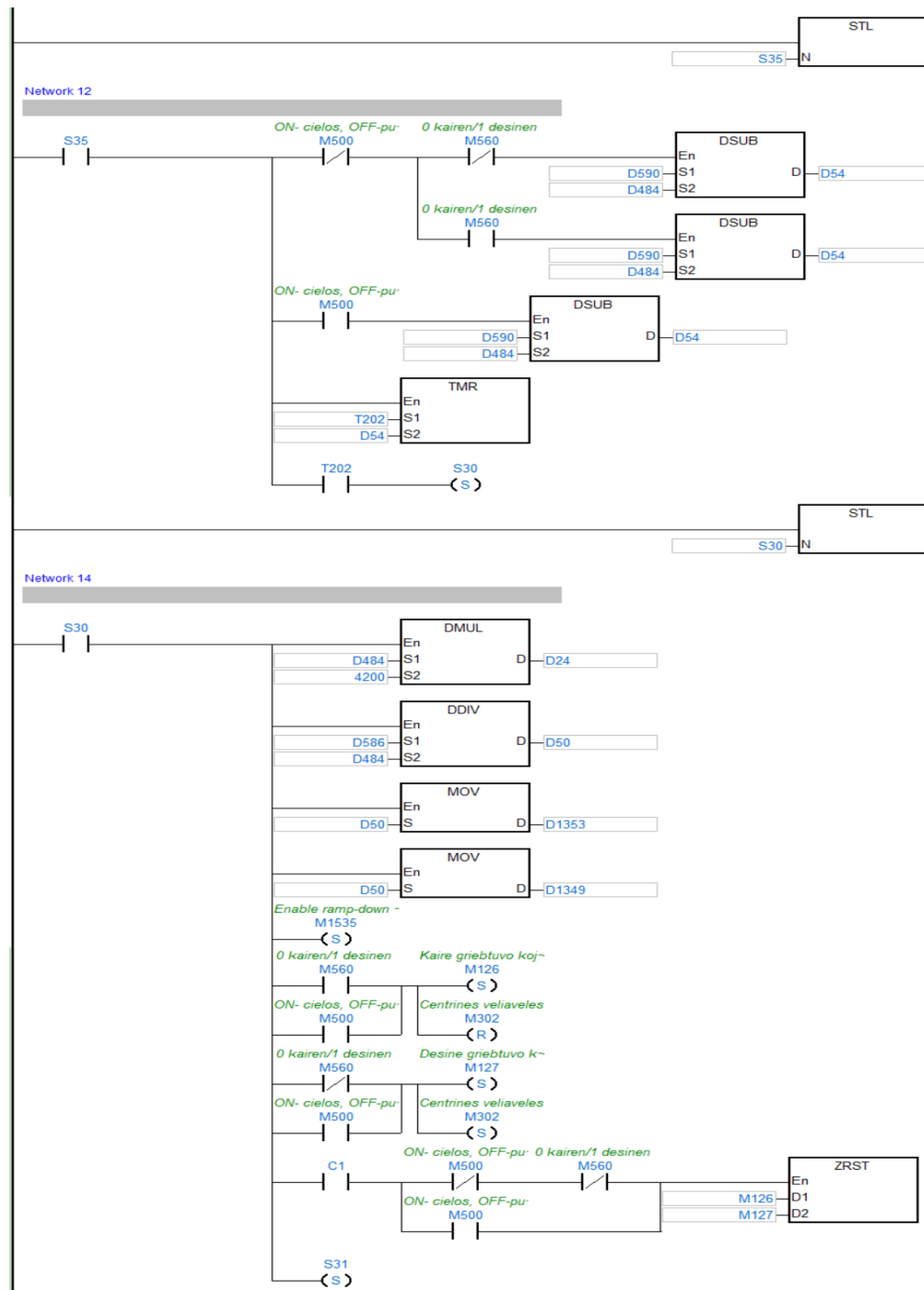


62 pav. Įrenginio mazgo nunulinimo operacija, naudojant impulsinį valdymą

2.11.6. Proceso mazgų aktyvavimas

Pakavimo proceso metu turinčių suveikti mazgų aktyvavimas buvo vykdomas naudojant programos tinklo dalių vykdymo žingsnius. Tai funkcija skirta nuosekliems procesams valdyti. Tai leidžia aiškiai apibrėžti mazgų suveikimo seką, tačiau reikia tinkamai aprašyti šių žingsnių iškvietimo sąlygas, nes keli žingsniai negali būti vykdomi vienu metu, o programos skaitymas gali tapti sudėtingas, kai yra naudojamas didelis kiekis žingsnių. Paveiksle 63 galima matyti dalį pakavimo proceso valdymo programos, kurioje yra naudojami žingsniai mazgų aktyvavimui. Kadangi programa yra labai didelė, pateikta bus tik maža dalis, kuri leistų suprasti kaip veikia programos vykdymo žingsniai.

Žingsnis apibrėžia programos dalį kuri bus įvykdyta, iškvietus šį žingsnį. Programos dalis, kuri bus įvykdyta apibrėžiama „STL“ blokais, tai galima matyti 63 paveiksle. Pavyzdžiui, iškvietus 35 žingsnį, bus įvykdyta programos dalis nurodyta 12 tinkle. Pereinant iš vieno į kitą žingsnį, nebūtina naudoti papildomo žingsnio vėlevėlės išjungimo, nes žingsnio vėlevėlė automatiškai išsijungia pereinant į kitą žingsnį.

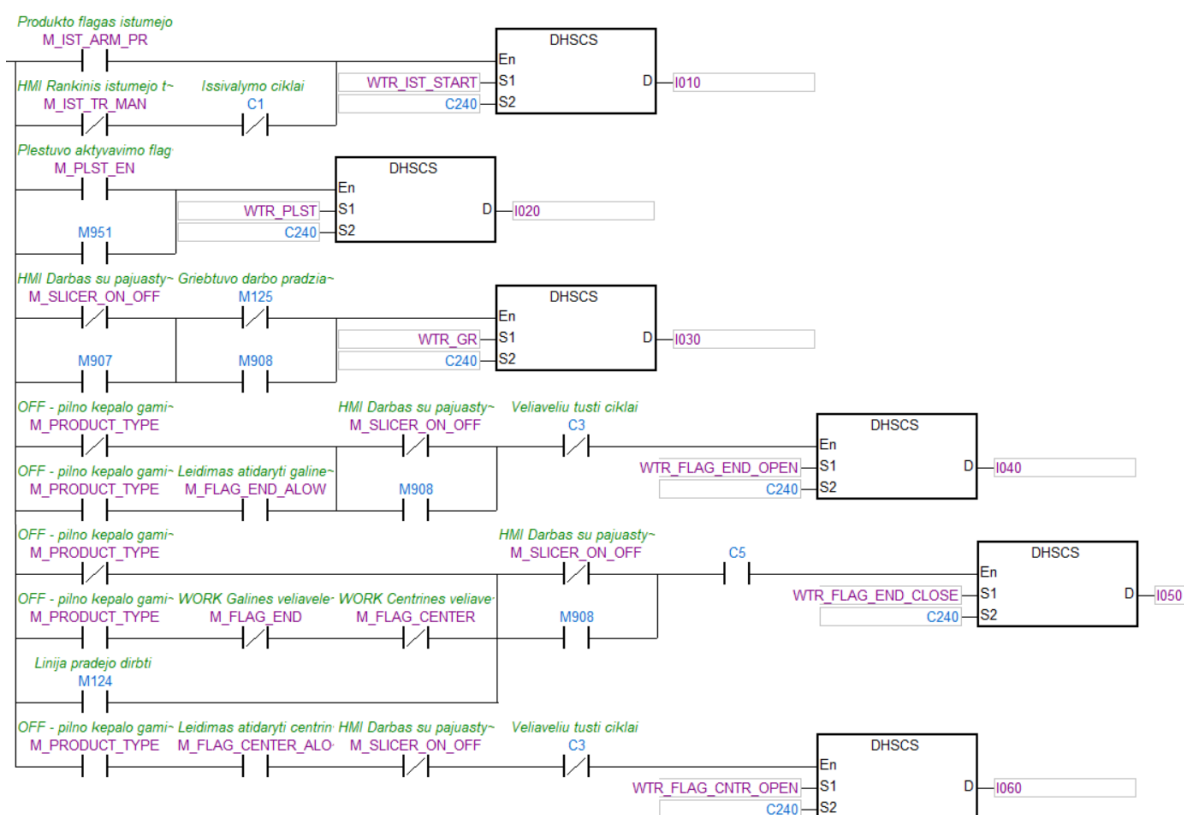


63 pav. Buvusio valdymo programos proceso mazgų aktyvavimas, naudojant žingsnius

Žingsnių naudojimas programoje yra labai patogus, kai procesas yra nuoseklus, o nagrinėjamas atvejis yra būtent toks, todėl žingsnių naudojimo nebuvo atsisakyta. Kadangi buvusioje programoje naudojama daug papildomų registų, kurie naudojami vietoje vėlevėlių, proceso programa buvo perdaryta iš esmės naudojant žingsnius, vėlevėles ir mažesnę kiekį informacijos perduodant registrais. Taip tapo paprasčiau skaityti ir koreguoti programą. Programa suskaidyta į paprogrames, kuriose aprašytas kiekvieno mazgo darbas.

Atliekant veikimo eksperimentus, pastebėta, jog prie didelių darbo greičių gaunamas nepastovus mazgų suveikimo laikas. Taip nutinka dėl to, kad skanuojant programą iš eilės, atsiranda papildomas vėlinimas kol prieinama programos vieta, kurioje aprašytos mazgo aktyvavimo sąlygos.

Sklandesniam programos veikimui buvo panaudotos programos skanavimo pertrauktys. Kadangi programą sudaro didelis skaičius žingsnių, jos skanavimo laikas pakilo iki 9~10 ms. Dėl šios priežasties buvo nuspręsta naudoti programos skanavimo pertrauktis, kad atėjus mazgo suveikimo laikui, programos skanavimas būtų pertrauktas ir būtų suaktyvintas reikalingas mazgas ar atlikta reikiama operacija. Tai reiškia, kad mazgo aktyvavimo paprogramei yra suteikiamas prioritetas. Kaip minėta anksčiau, mazgų darbas buvo surištas su ant padavimo transporterio sumontuotu impulsiniu skaitikliu, todėl pertraukčių suaktyvinimui buvo naudojamas greitis skaitiklis, kurio reikšmė aktyvuoja I010, I020, I030, I040, I050, I060 pertraukčių paprogrames. Programos fragmentą, kuriame yra aprašytos aktyvavimo sąlygos galima pamatyti 64 paveiksle. I010 pertrauktis skirta įstūmėjo servo pavaros startavimo įjungimui, I020 maišelių plėstuvo suveikimo įjungimui, I030 produkto griebtuvo servo pavaros aktyvavimui, I040 produkto prilaikančios vėliavėlės atidarymui, I050 produkto prilaikančios vėlevėlės uždarymui, I060 papildomos vėlevėlės prilaikančios produkta atidarymui. Naudojant pertrauktis proceso veikimo seka tapo stabilesnė.



64 pav. Įrenginio mazgų suveikimo pertraukčių aktyvavimo sąlygos

Įgyvendinus programos pakeitimus buvo praplėstos įrenginio darbo bei derinimo galimybės, įvesta nemažai papildomų parametrų, kurie skirti derintojui. Jam suteikiamas mazgų veikimo koregavimas realiu laiku, nebereikia stabdyti įrenginio, norint pakeisti tam tikrus parametrus, tačiau šis režimas prieinamas tik kvalifikuotam derintojui. Vietoje anksčiau buvusių mazgų veikimo ciklų, kurių keisti nebuvo galima, operatorius gali ne tik juos koreguoti, bet gali nustatyti tokius parametrus kaip suveikimo pozicija, suveikimo vėlinimas, veikimo trukmė. Įrenginio darbinis greitis perskaiciuojamas automatiškai, tačiau skirtingiems produktams reikalingos mazgų darbo korekcijos. Tam praplėstas parametrų rinkinių skaičius, todėl galima sukurti net 36 parametrų rinkinius darbui su skirtingais produktais. Pakavimo procesas gali pasirodyti labai paprastas, tačiau tai reikalauja

pakankamai nemažai žinių, todėl atliekant veikimo algoritmo korekcijas buvo bendradarbiaujama su įrenginių derintojais. Taip pat, numatytos papildomos klaidos, norint išvengti broko ar avarinių situacijų, sukurtas klaidų istorijos langas, iš pagrindų atnaujintas valdymo panelės dizainas, siekiant operatoriui visą reikalingą informaciją pateikti kuo aiškiau.

Išbandytas linijos darbas didinat jos greitį nuo 30 vnt. per minutę iki 60 vnt. Net ir esant 60 vienetų per minutę greičiui, linijos darbas yra pastovus. Dėl lanksčiau valdomo įstūmėjų judėjimo, jie buvo suderinti taip, jog pradėdami stumti produktą judėjimo greitis būtų mažesnis ir palaipsniui didėtų, o nuo tam tikros pozicijos būtų maksimalus. Tai reikalinga tam, kad įstūmėjui atsiremiant į produktą nuo smūgio nebūtų išbarstytos supjaustytos duonos riekelės. Reikia pabrėžti, kad tai priklauso ir nuo pakuojamo produkto minkštumo ir formos. Pasitaiko ir tokių situacijų, jog dėl produkto savybių negalima naudoti itin didelių pakavimo greičių.

Įvertinus bandymo rezultatus pasiektas didesnis darbinis greitis. Našumas išaugo net 15.3 %, tačiau tikrasis efektyvumo įvertinimas bus nustatomas derinant įrenginius kepyklose, kai bus turimas pilnas produktų srautas, naudojami kliento pakavimo maišeliai. Dažnai pasitaiko tokių situacijų, jog klientai pateikia prastos kokybės maišelius ir tai nulemia darbo greičio apribojimą. Kitas svarbus kriterijus yra produkto ataušinimas. Jei produktai nėra iki galo ataušinti, jie būna minkštesni ir gali elgtis pakavimo proceso metu visai kitaip, todėl pakavimo greitį ne visada apriboja įrangos galimybės.

Išvados

1. Atliekant duonos orientacijos atpažinimo tyrimą, naudojant ultragarsinius jutiklius, buvo nustatyta, jog tinkamiausias matavimo atstumas yra 200 mm nuo transporterio juostos. Tiksliausi rezultatai gauti naudojant 5 pravažiuojančios duonos atstumo matavimus. Eksperimentiškai nustatyta, jog vidutinė matavimų paklaida yra 5.77 %. Leistina paklaida yra 11.1 %. Remiantis eksperimentiniais rezultatais pastebėta, jog paklaidos nėra tolygios visų matavimų metu. Atlikus duonos orientacijos atpažinimo operaciją 100 kartų, teisingi matavimai buvo atlikti 72 kartus.
2. Atlikus duonos orientacijos nustatymo tyrimą, naudojant konvoliucinius neuroninius tinklus, nustatyta, jog geriausias tinklo apmokymo rezultatas gautas naudojant vieną konvoliucinį sluoksnį, kurio filtro dydis yra 30 pikselių, o jų skaičius 6. Tinklo apmokymui naudojama 20 epochų, mokymo imties dydis 25. Tinklo mokymui naudota 3000 nuotraukų, o tinklo testavimui 400 nuotraukų. Tinklas apmokytas 98.41 % tikslumu.
3. Atlikus duonos orientacijos nustatymo tyrimą, naudojant lazerinį 2D jutiklį nustatyta, jog tinkamiausias matavimo atstumas yra 365 mm nuo transporterio juostos. Įvertinta duonos pozicijos ant transporterio juostos įtaka matavimo kokybei. Eksperimentiškai nustatyta, kad duonos pasukimo kampas iki 25° ir poslinkis nuo jutiklio centro iki 25 mm, neturi didelės įtakos matavimo rezultatams. Pastebėta, jog jutiklio matavimo kokybė suprastėjo ~ 12 % esant ryškiam apšvietimui. Atlikus duonos orientacijos atpažinimo operaciją 100 kartų, teisingi matavimai buvo atlikti visus 100 kartų.
4. Atlikus duonos pozicijos ant transporterio juostos atpažinimo eksperimentus trimis metodais nustatyta, jog tinkamiausias metodas yra naudoti lazerinį 2D skanavimo jutiklį. Naudojant šį metodą gaunamas 100 % atpažinimo tikslumas, paprastesnis įdiegimas į sistemą, užtikrinama didelė greیتaveika. Eksperimentiškai ištirta, jog naudojant šį metodą nereikalingos aiškiai apibrėžtos darbinės sąlygos, tokios kaip: specialus apšvietimas, specifinės spalvos transporterio juosta, griežtai apibrėžta duonos pozicija atpažinimo metu.
5. Atliktas pakavimo linijos servo pavarų valdymo metodo pakeitimas naudojant CANopen komunikaciją. Sumažintas naudojamų laidų kiekis ir programuojamo loginio valdiklio diskretinių išėjimų praplėtimo modulių skaičius vienu praplėtimu.
6. Naudojant impulsinį skaitiklį sudaryta pakavimo proceso mazgų suveikimo seka. Stabiliam proceso veikimui panaudotos programos skanavimo pertrauktys, taip išvengta atsiradusio programos skanavimo vėlinimo.
7. Optimizuota pakavimo linijos programa naudojant sukurtus funkcinis blokus. Programa suskaidyta į paprogrames. Atliktas valdymo panelės vizualizacijos pakeitimas, praplėstas receptų skaičius, įvesti papildomi parametrai skirti derintojui.
8. Atlikus pakavimo sistemos patobulinimus, darbo našumas padidėjo 15.3 %, t. y. pakavimo greitis iš 52, padidėjo iki 60 vienėtų per minutę. Atpažinimo operacija užtikrina, kad duona į pakavimo įrenginį patektų ta pačia kryptimi. Tai leidžia užtikrinti stabilų pakavimo įrenginio darbą, išvengiant duonos užsikimšimo pjaustymo ir pakavimo įrenginiuose. Stabilus duonos padavimo srautas, pakavimo linijai suteikia galimybę dirbti maksimaliu greičiu.

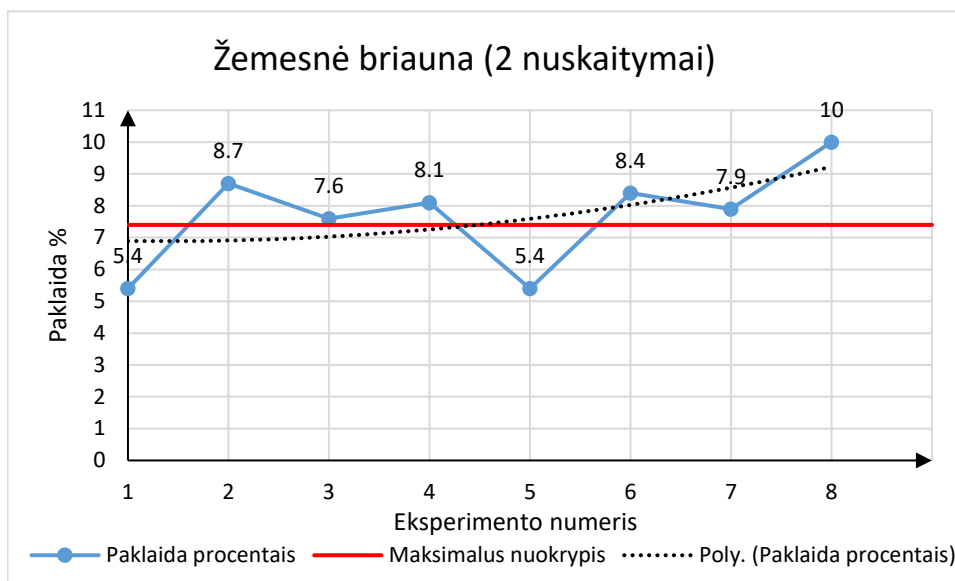
Literatūros sąrašas

1. Cams. (2016) [žiūrėta 2018-07-11]. Prieiga per internetą:
http://resource.download.wjec.co.uk.s3.amazonaws.com/vtc/2016-17/16-17_1-4/website/category/4/functions_of_mechanical_devices/function_of_mechanical_products/media/documents/cams.pdf
2. GHD hartmann. Packaging machines. (2019) [žiūrėta 2018-07-11]. Prieiga per internetą:
<https://www.ghd.net/en/machines/packaging/packaging-machine-gbk-420>
3. UBE. Baggers. (2012) [žiūrėta 2018-07-11]. Prieiga per internetą:
http://www.ubeusa.com/baggers_75-3.html
4. Hoba. Bagloaders. (2012) [žiūrėta 2018-07-11]. Prieiga per internetą:
<http://hoba.ws/en/products-packaging-bagloader-hbs.html>
5. Shalu Gupta ir Y. Jayanta Singh. „Object Detection using Shape Features“, IEEE international conference on computational an computing research. Guwahati, Assam, India. 2014. ISBN: 9786094331077.
6. G. T. Shrivakshan ir Dr. C. Chandrasekar. „A Camparison of various Edge Detection Techniques used in Image Processing“, International Journal of Computer Science Issues(volume: 9, issue: 5, september 2012).
7. Xin-Yi Gong, Hu Su, De Xu, Zheng-Tao Zhang, Fei Shen, Hua-Bin Yang. “An Overview of Contour Detection Approaches”, International Journal of Automation and Computing, Beijing, Chine, December 2018. ISSN: 1476-8186.
8. R. Laskauskas, V. Vyšniauskas. “Vaizdo kontūrų nustatymo būtų analizė”, Šiaulių universitetas, technologijos fakultetas, 2008. ISSN: 1648-8776.
9. Azriel Rosenfeld. „Image Pattern Recognition“, Proceeding of the IEEE(Volume: 69, number: 5, may 2001). ISSN: 0018-9219
10. Sum of absolute differences. (2015) [žiūrėta 2018-09-12]. Prieiga per internetą:
<https://yuiwong.org/2017/12/22/sum-of-absolute-differences/>
11. Understanding of Convolutional Neural Network (CNN)—Deep Learning. (2018) [žiūrėta 2018-10-03]. Prieiga per internetą:
<https://medium.com/@RaghavPrabhu/understanding-of-convolutional-neural-network-cnn-deep-learning-99760835f148>
12. Rikiya Yamashita, Mizuho Nishio, Richard Kinh Gian Do, Kaori Togashi. „Convolutional neural networks: an overview and application radiology“. 22 june 2018.
13. Create Simple Deep Learning Network for Classification. (2019) [žiūrėta 2018-10-15]. Prieiga per internetą:
<https://www.mathworks.com/help/deeplearning/examples/create-simple-deep-learning-network-for-classification.html>
14. Sliced bread. [žiūrėta 2018-11-10]. Prieiga per internetą:
https://cdn.shopify.com/s/files/1/1205/7170/products/tinywhite_7bbbee20-b41f-477e-97d5-9103704c9975_1024x1024.png?v=1489000542
15. Jamileh Yousefi. „Image Binarization using Otsu Thresholding Algorithm“, Ontario, Canada. April 18, 2011.

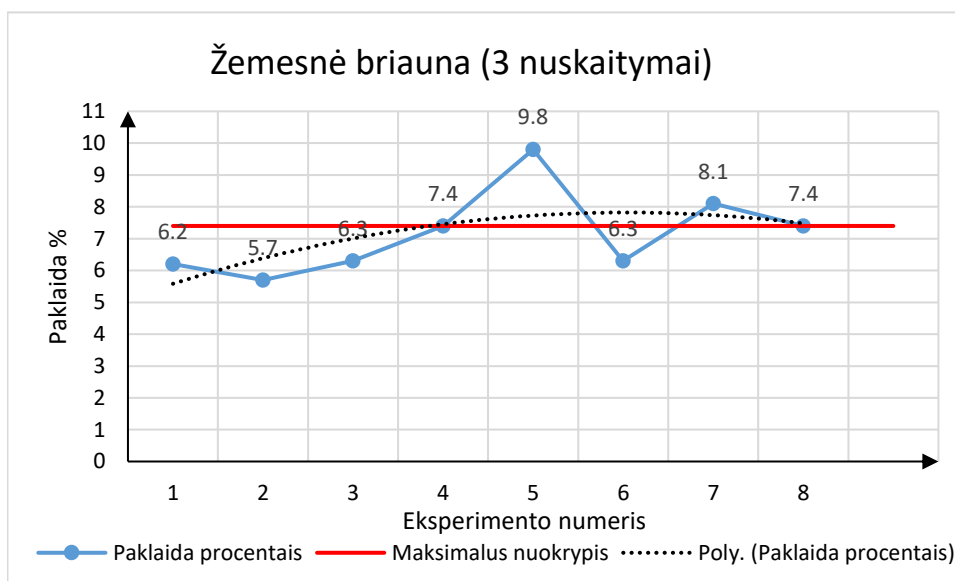
16. Dr. Neeraj Bhargava, Anchal Kumawat, Dr. Ritu Bhargava. „Threshold and binarization for document image analysis using Otsu’s Algorithm“, International Journal of Computer Trends and Technology(Volume: 17, Number: 5) . Ajmer, India, November 2014.
17. Laser triangulation operating principle. (2013) [žiūrėta 2018-11-09]. Prieiga per internetą:
https://www.researchgate.net/figure/Laser-triangulation-operating-principle-with-the-use-of-an-aligned-2D-light-sensor_fig2_236739594.
18. An introduction to laser triangulation sensors. (2014) [žiūrėta 2018-11-19]. Prieiga per internetą:
<https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=523>
19. Triangulation. [žiūrėta 2018-11-19]. Prieiga per internetą:
<https://www.vision-doctor.com/en/laser-illumination/principle-of-triangulation.html>
20. DELTA-ASDA A2 series manual. (2012) [žiūrėta 2018-05-12]. Prieiga per internetą:
<https://www.deltaacdrives.com/wp-content/uploads/2012/06/ASDA-A2-User-Manual.pdf>
21. DVP-PLC Application Manual. (2017) [žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per internetą:
<http://www.deltaww.com/services/DownloadCenter2.aspx?secID=8&pid=2&tid=0&CID=06&itemID=060301&TypeID=1&downloadID=&title=&dataType=3;&check=1&hl=en-US>
22. DELTA VFD manual. (2012) [žiūrėta 2018-05-20]. Prieiga per internetą:
<https://www.deltaacdrives.com/wp-content/uploads/2012/06/VFD-V-User-Manual.pdf>
23. CANopen basics - CANopen basics - CANopen and the OSI reference model. (2018) [žiūrėta 2018-05-21]. Prieiga per internetą:
http://www.canopensolutions.com/english/about_canopen/CANopen-and-the-OSI-reference-model.shtml
24. CANopen basics - PDO service. (2018) [žiūrėta 2018-05-21]. Prieiga per internetą:
http://www.canopensolutions.com/english/about_canopen/PDO-services.shtml
25. CANopen manual. (2012) [žiūrėta: 2018-05-22]. Prieiga per internetą:
www.deltaww.com/.../DELTA_IA-ASD_A2-CANopen_UM_EN_20120921.pdf
26. SICK UM18-51111 proximity sensors. (2012) [žiūrėta: 2018-08-14]. Prieiga per internetą:
<http://www.audin.fr/pdf/documentations/sick/detection/capteurs-de-proximite/ultrasons/UM18/UM18.pdf>
27. SmartRunner Matcher 2D sensor. (2018) [žiūrėta 2019-01-09]. Prieiga per internetą:
<http://www.wolfautomation.com/media/pdf/sensors/pepperlufuchs/laser/pf-smartrunner-matcher-catalog.pdf>
28. DVP-ES2/EX2/SS2/SA2/SX2/SE&TP Operation Manual – Programming. (2012) [žiūrėta 2018-05-16]. Prieiga per internetą:
<http://www.deltaww.com/services/DownloadCenter2.aspx?secID=8&pid=2&tid=0&CID=06&itemID=060301&TypeID=1&downloadID=&title=&dataType=3;&check=1&hl=en-US>
29. Implementation of S Curve Acceleration and Deceleration. (2012) [žiūrėta 2018-07-22]. Prieiga per internetą:
<http://users.megapathdsl.net/~swi2/Software/s-curve.html>
30. CANopen Technical Guide – ASDA - A2. [žiūrėta 2018-08-16]. Prieiga per internetą:
http://www.deltronics.ru/images/manual/ASD_A2-CANopen_UM_EN_20120921.pdf

Priedai

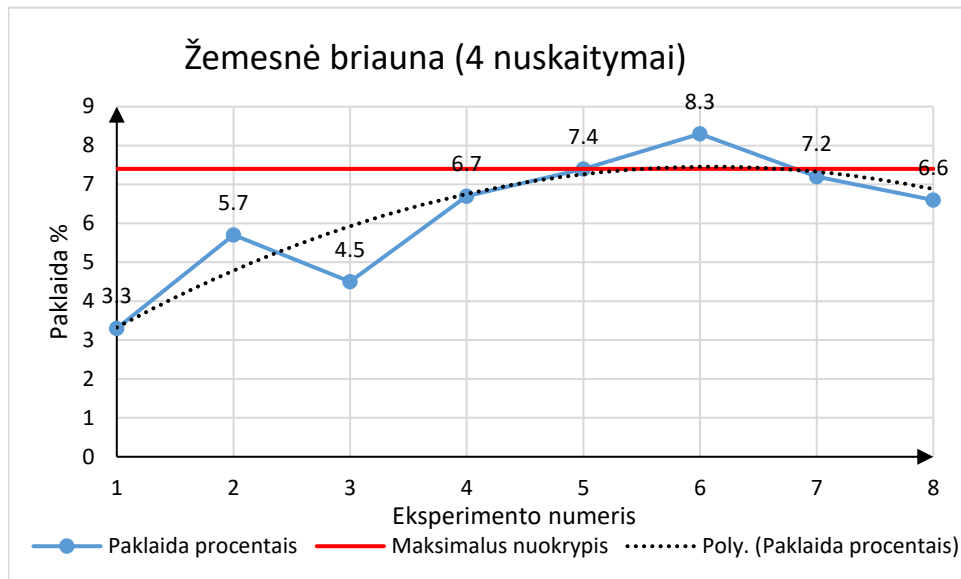
1 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 2. Matuojama žemesnioji briauna.



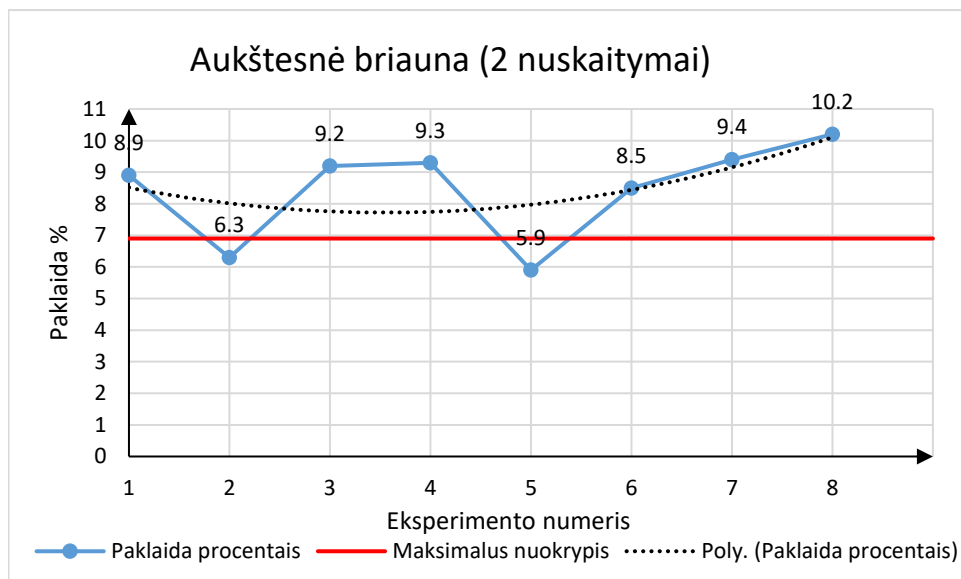
2 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 3. Matuojama žemesnioji briauna.



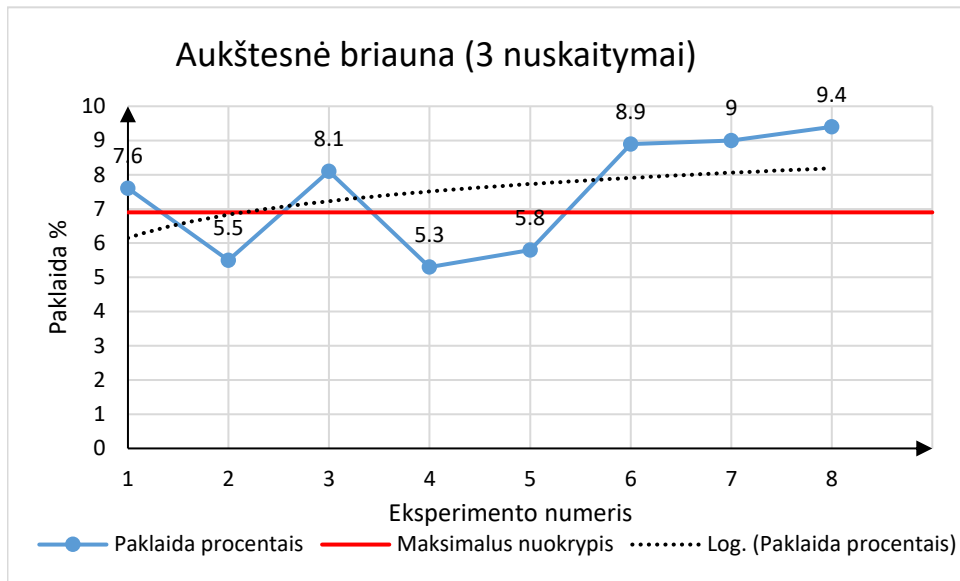
3 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 4. Matuojama žemesnioji briauna.



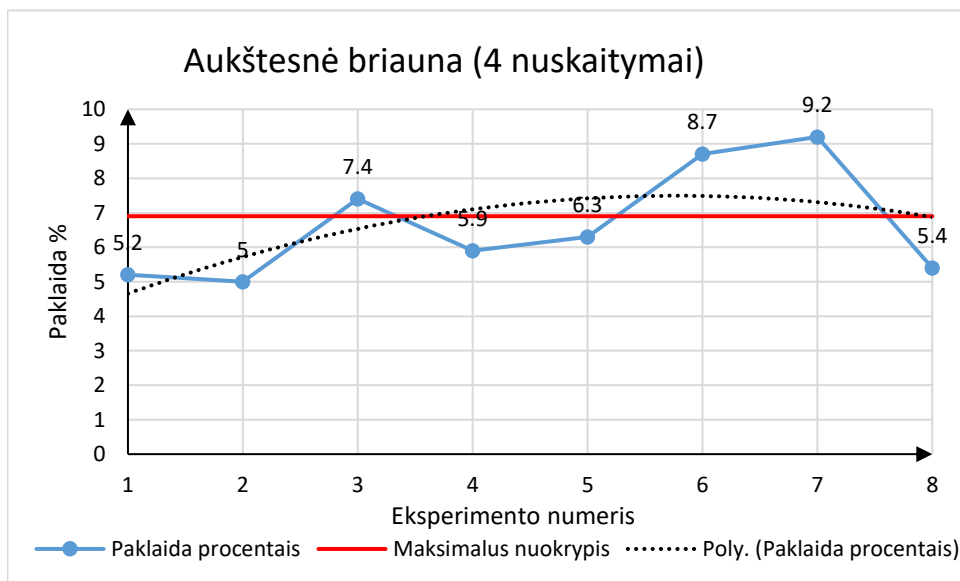
4 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 2. Matuojama aukštesnioji briauna.



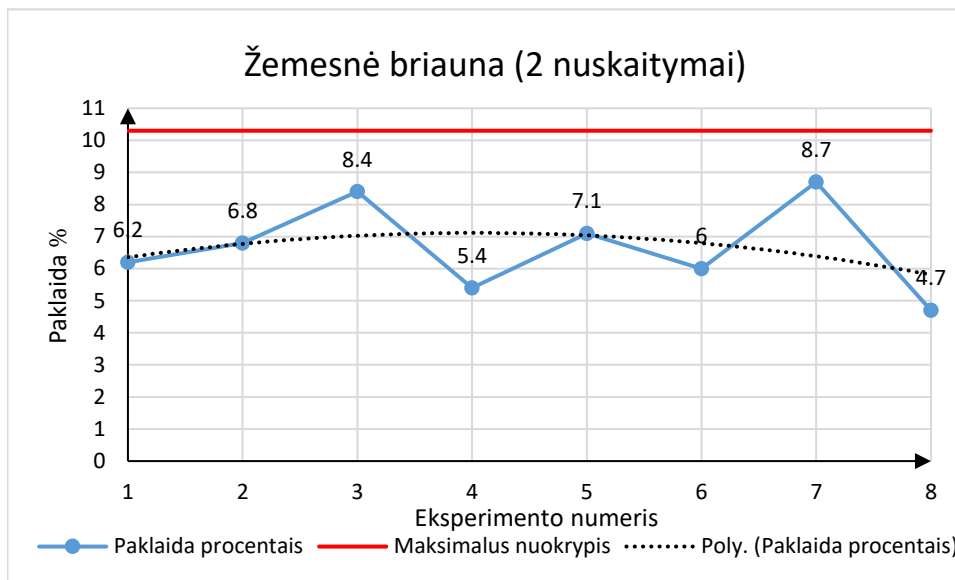
5 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 3. Matuojama aukštesnioji briauna.



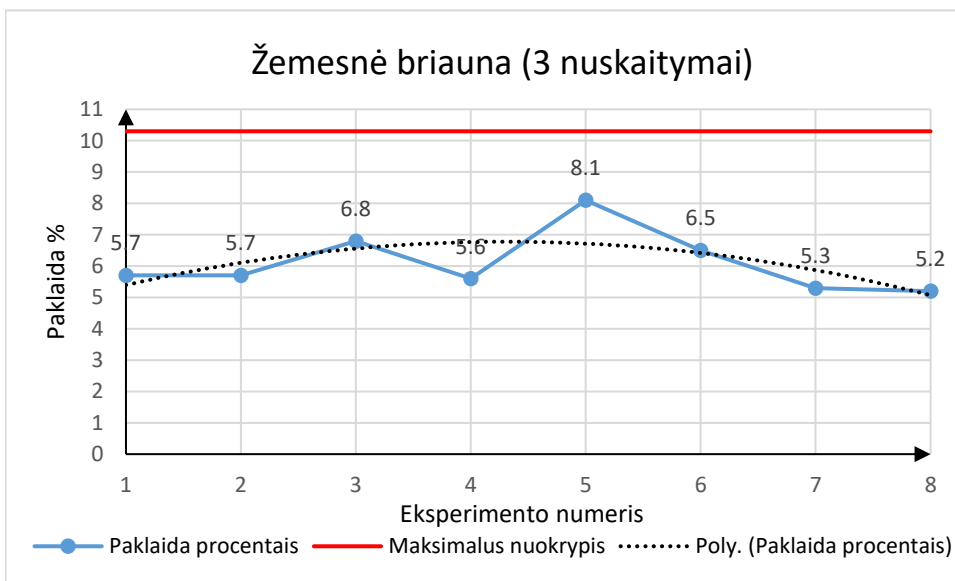
6 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 300 mm, nuskaitymų skaičius – 4. Matuojama aukštesnioji briauna.



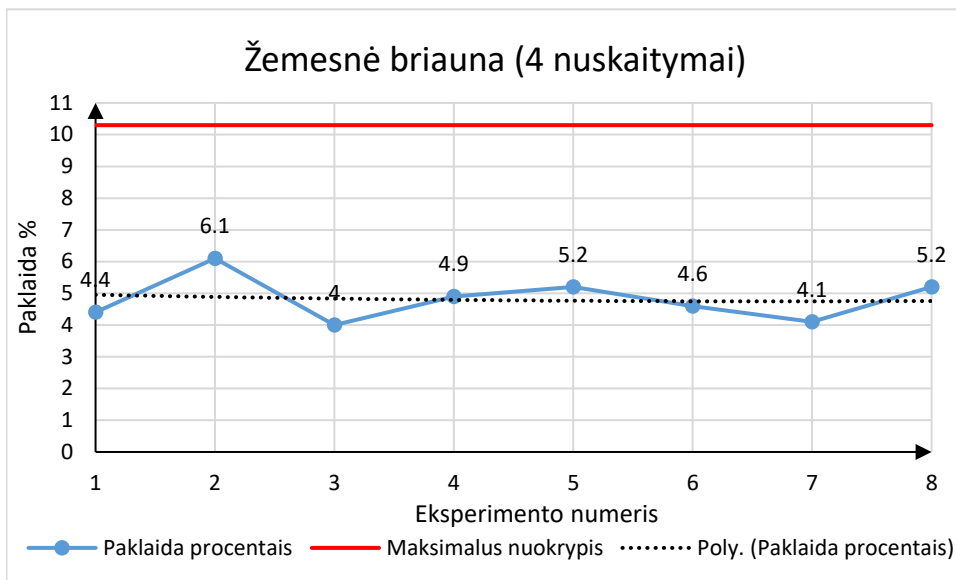
7 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 2. Matuojama žemesnioji briauna.



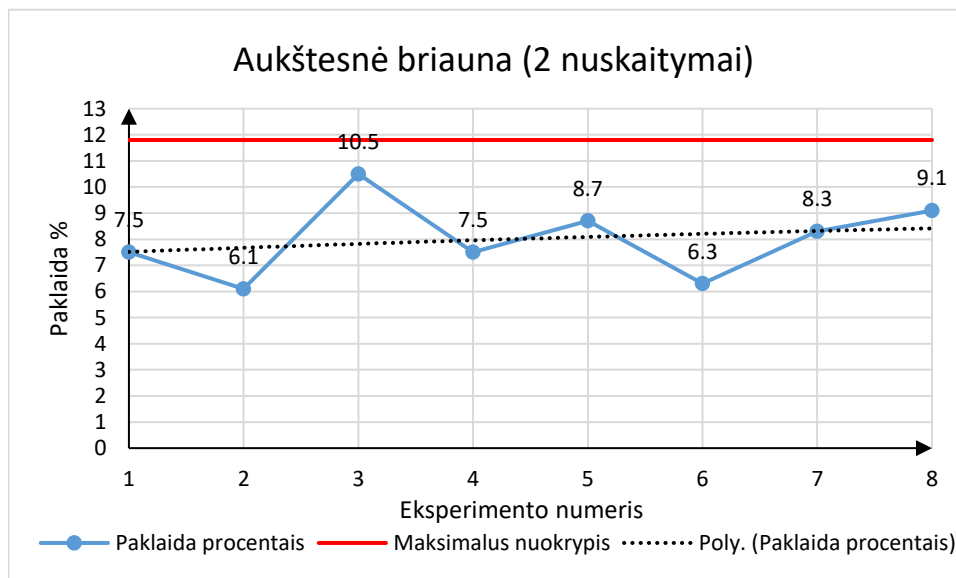
8 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 3. Matuojama žemesnioji briauna.



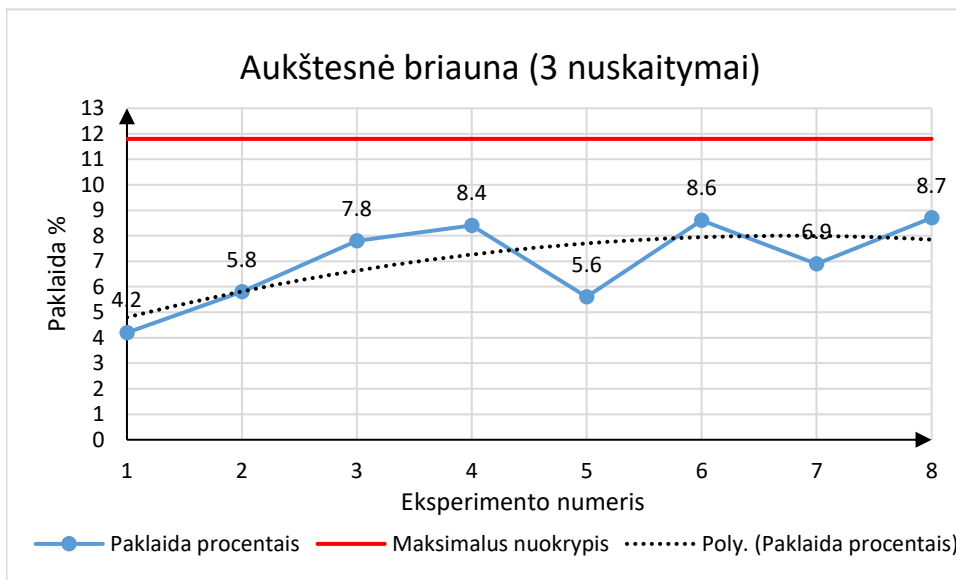
9 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 4. Matuojama žemesnioji briauna.



10 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 2. Matuojama aukštesnioji briauna.



11 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 3. Matuojama aukštesnioji briauna.



12 priedas. Ultragarsinio jutiklio matavimo rezultatai, kai matavimo atstumas 200 mm, nuskaitymų skaičius – 4. Matuojama aukštesnioji briauna.

