

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU:  
Katedros vedėjas  
Z. Ramonas

**NEAPVALAUS PROFILIO DETALIŲ SUJUNGIMO TYRIMAS**

Magistro darbas

Darbo vadovas:  
doc. dr. A. B. Pavilionis

Darbą atliko:  
MM3 gr. stud.  
Simonas Makarovas

Šiauliai, 2005

IŠVADAS.....	3
1 AUTOMATINIO RINKIMO METODŲ APŽVALGA IR DARBO TIKSLAI.....	6
1.1 Jungiamųjų detalių tarpusavio orientavimo ir sutapdinimo metodai .....	6
1.2 Detalių tarpusavio orientavimas pneumatiniiais rinkimo įtaisais .....	10
1.3 Pramoniniai robotai .....	13
1.3.1 Pramoninių robotų pagrindiniai parametrai .....	13
1.3.2 Detalių tarpusavio orientavimas pramoniniais robotais .....	15
1.3.3 Intelektualus robotizuotas rinkimas.....	17
1.4 Apibendrinimas.....	19
2. PLOKŠČIŲ DETALIŲ SUJUNGIMO ANALIZĖ .....	20
2.1 Plokščių detalių automatinio rinkimo etapai .....	20
2.2 Automatiškai renkamų plokščių detalių technologiškumo reikalavimai .....	22
2.3 Plokščių detalių rinkimo režimų skaičiavimas .....	25
3. ROBOTO JUDĖJIMO TRAJEKTORIJOS SKAIČIAVIMAS.....	35
3.1 Roboto judėjimo trajektorijos skaičiavimas vektoriniu būdu.....	36
3.1.1 Manipulatoriaus struktūrinė analizė .....	36
3.1.2 Manipulatoriaus analizė.....	36
3.1.3 Judančių su roboto grandimis koordinačių sistemų posūkio matricų apskaičiavimas absoliutinės koordinačių sistemos atžvilgiu .....	37
3.1.4 Griebtuvo taško P koordinatčių absoliutinėje koordinačių sistemoje..... apskaičiavimas.....	40
3.2 Roboto judėjimo trajektorijos skaičiavimas homogeniniu koordinačių pagalba.....	42
3.2.1 Manipulatoriaus struktūrinė analizė .....	42
3.2.2 Manipulatoriaus analizė.....	43
4 ROBOTO VALDYMO PROGRAMA .....	45
4.1 Roboto judėjimo trajektorijos skaičiavimas .....	45
IŠVADOS.....	48
SUMMARY .....	49
LITERATŪRA .....	50
PRIEDAI .....	52
Priedas 1. Roboto judėjimo trajektorijos skaičiavimo programa.....	52
Priedas 2 Rinkimo laiko skaičiavimas .....	63

## IVADAS

### Temos aktualumas

Rinkimas – baigiamasis mašinų, prietaisų, aparatūros ir kitų gaminių gamybos proceso etapas, didžia dalimi lemiantis gaminio kokybę. Šiuolaikinėse įmonėse rinkimo darbų automatizavimo lygis dar nėra aukštas, nes daugelis gaminių renkami rankiniu ir mechanizuotu būdu. Dėl to padidėja rinkimo trukmė, gamybos išlaidos, ne visada būna gera kokybė. Vyraujant rankiniam darbui, mašinų gamybos pramonės gaminių rinkimo darbų sąnaudos sudaro apie 30% bendrų gaminių gamybos sąnaudų, o prietaisų pramonės - 50% ir daugiau. Rinkimas dažnai užima nuo 20% iki 50% procentų gaminio gamybos laiko.

Didėjant įvairių gaminių gamybos apimčiai, labai išauga rinkimo darbų apimtis. Dėl to rinkimo darbus reikia intensyvinti, kurti efektyvesnius rinkimo metodus. Didelė savikaina ir žemas rinkimo darbų automatizavimo lygis slepia didelius rinkimo darbų sąnaudų mažinimo ir gaminamos produkcijos kokybės gerinimo rezervus.

Palengvinti ir pagerinti darbo sąlygas, išvengti varginančio bei monotoniško rankų darbo galima tik diegiant automatizavimo priemones ir efektyvius technologinius rinkimo procesus. Rinkimo darbų automatizavimo problemos sprendimo sėkmė priklauso nuo teorinių ir eksperimentinių tyrimų lygio šioje srityje.

Automatizuojant rinkimą, gaminyje, jo rinkimo technologija ir jai įgyvendinti reikiama įranga sudaro vientisą, tarpusavyje susijusį kompleksą. Šio komplekso mokslinius ir praktinius klausimus, susijusius su rinkimo darbų automatizavimu, tyrinėjo daugelis užsienio ir Lietuvos mokslininkų: B. Bakšys, N. Puodžiūnienė ir daugelis kitų. Automatinio rinkimo priemonės naudojamos automobilių, elektrotechnikos, radioelektronikos bei kai kuriose kitose pramonės šakose, esant masinei bei serijinei gamybai.

Esminė, kol kas ne visiškai išspręsta problema – jungiamųjų detalių surenkamumas. Rinkimo įrangos gedimai dėl nesurenkamumo yra dažni. Detalės gali būti automatiškai nesurenkamos dėl daugelio priežasčių – nepakankamo detalių gamybos tikslumo, įrangos derinimo paklaidų, jungiamųjų detalių ašių nesutapimo ir t.t. Jungiamųjų paviršių sutapdinimas prieš jų sujungimą yra esminis faktorius, lemiantis automatinio detalių rinkimo patikimumą ir efektyvumą.

Automatinės rinkimo įrangos sandarą, racionalių sutapdinimo būdų parinkimą lemia detalių konstrukcija, mechaninio apdirbimo ypatumai bei tikslumo charakteristikos, rinkimo technologijos. Šiuo metu yra naudojami aktyvūs, pasyvūs bei mišrus detalių jungiamųjų paviršių sutapdinimo metodai.

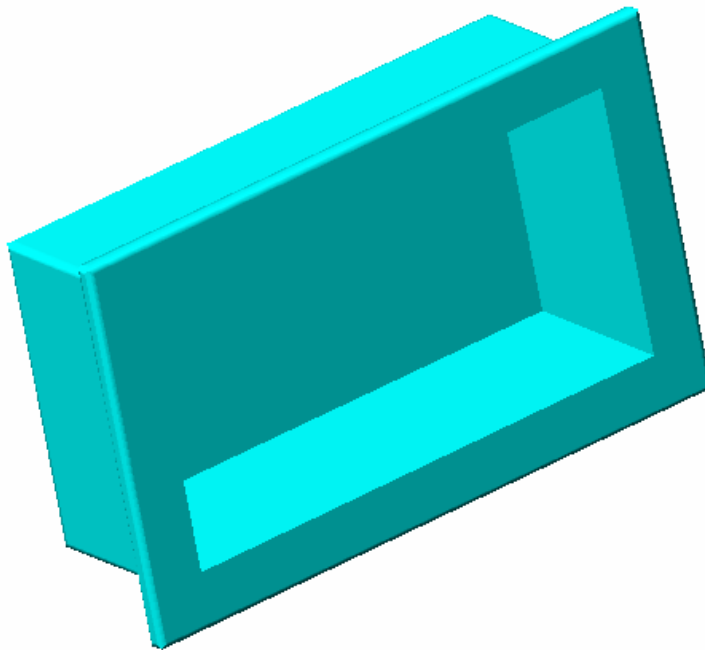
Taikant aktyvius metodus, naudojami jėgos jutikliai, techninio regėjimo sistemos. Remiantis jutiklio grįžtamojo ryšio signalais bei valdymo algoritmais, koreguojami jungiamųjų detalių poslinkiai, kad būtų sutapdintas paviršius. Šių metodų trūkumas – techninių priemonių sudėtingumas bei didelė kaina.

### **Mokslinių tyrimų tikslas**

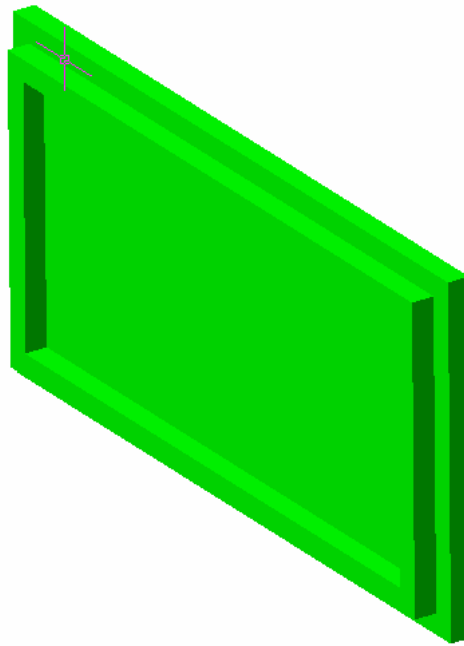
- Apžvelgti plokščių detalių orientavimo ir rinkimo būdus.
- Sukurti pramoninio roboto valdymo programą rinkti plokščioms neapvalaus profilio detalėms, tiesioginio manipulatoriaus uždavinio vektorine algebra.
- Sukurti pramoninio roboto valdymo programą rinkti plokščioms neapvalaus profilio detalėms, tiesioginio manipulatoriaus uždavinio homogeninėmis koordinatėmis.
- Palyginti gautus rezultatus ir padaryti išvadas.

### **Tyrimo objektas**

Tyrimo objektas – dviejų neapvalių detalių sujungimas: viršutinis dangtelis (2 pav.) ir apatinė plokštė (3 pav.). Viršutinį dangtį roboto pagalba, reikia uždėti ant apatinės plokštės.



2 pav. Viršutinis dangtelis sumaketuotas AutoCad 2004 sistemoje



3 pav. Apatinė plokštė sumaketuota AutoCad 2004 sistemoje

### **Tyrimų metodika**

Roboto valdymo programa sudaryta remiantis tiesioginiu manipulatoriaus padėčių ir homogeninių koordinačių būdu tam, kad būtų užtikrintas skaičiavimų patikimumas. Skaičiavimo programos, sukurtos programiniu paketu „Delphi“, grafinis pavaizdavimas kurtas „SolidWorks“ ir „AutoCAD“ programiniais paketais.

# 1 AUTOMATINIO RINKIMO METODŲ APŽVALGA IR DARBO TIKSLAI

## 1.1 Jungiamųjų detalių tarpusavio orientavimo ir sutapdinimo metodai

Naujausių tyrimų detalių tarpusavio orientavimo ir sutapdinimo technikos srityje apžvalga parodė, kad reikalingas sisteminis požiūris į šią problemą. Remiantis automatinio rinkimo darbų analize galima teigti, kad orientavimo mechanizmai turi atitikti bendruosius techninius reikalavimus pagal kuriuos turi būti:

- 1 Sugebėjimas kompensuoti skersines ir kampines paklaidas tarp skirtingos konfigūracijos detalių, turinčių ar neturinčių nuožulas.
- 2 Lankstumas ir prisitaikomumas.
- 3 Mažos rinkimo jėgos ir didelis greitis.
- 4 Žema kaina ir vidutinis įrangos ir operacijos sudėtingumas.

Prieštaravimai tarp suformuluotų reikalavimų yra egzistuojančių techninių metodų, kurių dauguma yra specifiniai, įvairovės priežastis, todėl detalių tarpusavio orientavimas rinkimo pozicijoje vis dar yra aktualus tyrimų objektas.

Viena svarbiausių sąlygų, užtikrinanti detalių automatinį sutapdinimą ir sujungimą, yra tiksli jų tarpusavio padėtis rinkimo pozicijoje prieš sujungimą. Rinkimo pozicijoje detalių tarpusavio padėties tikslumas dėl jų formos nuokrypų, programuojamų judesių trajektorijos netikslumų ir kitų paklaidų dažniausiai būna nepakankamas. Detalių ašys būna persislinkusios ir persikreipusios. Todėl orientavimo mechanizmo sugebėjimas kompensuoti skersines ir kampines paklaidas tarp detalių lemia rinkimo metodo patikimumą

Detalių jungiamųjų paviršių sutapdinimo metodai skirstomi į tris grupes: (1).

- 1 Pasyvus metodas;
- 2 Aktyvus metodas;
- 3 Kombinuotas metodas.

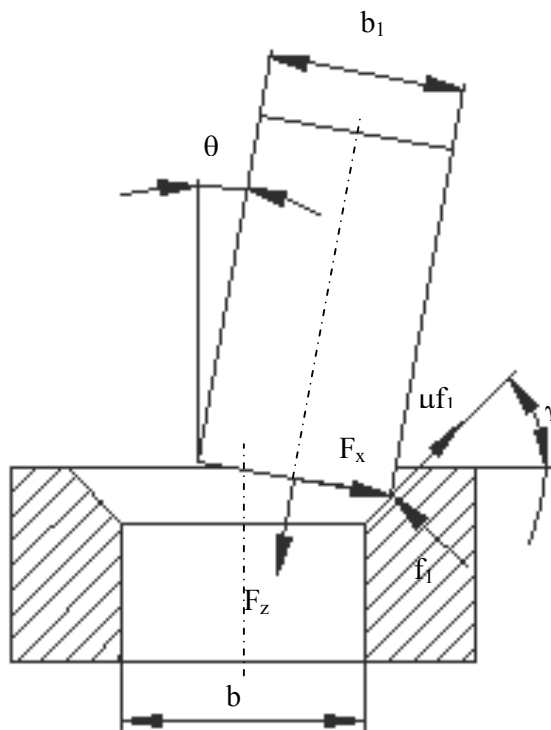
**Pasyvus metodas.** Šiuo metodu paslankiai bazuojama detalė, veikiant kontaktinėms jėgoms, gali pasislinkti kitos detalės atžvilgiu. Kai paslankiai bazuojamai detalei judant apibrėžtoje erdvėje jungiamieji paviršiai sutapdinami, detales galima nekliudomai sujungti.

Jungiant paslankiai bazuojamas detales su nuožulomis, ašių sutapdinimo kryptimi gali kryptingai pasislinkti viena arba abi detalės.(3) Toks kryptingas poslinkis pagal nuožulas, veikiant sujungimo jėgai, leidžia sutapdinti jungiamų detalių paviršius ir nekliudomai jas sujungti. Nuožulos kampas dažniausiai būna  $\alpha = 35 \dots 50^0$ . Esant mažoms kampo reikšmėms,

sutapdinimo poslinkis būna nedidelis. Dėl to automatiškai sujungti galima tik tiksliai išdėstytas rinkimo pozicijoje detales. Didinant nuožulos kampo reikšmes, detalių jungiamųjų paviršių sutapdinimo sąlygos blogėja, o rinkimo jėga smarkiai padidėja.(2)

Norint sujungti detales, kai jos rinkimo pozicijoje išdėstytos su didesne pozicionavimo paklaida, naudojami kreipiamieji elementai. Naudojant pastaruosius, kryptingas poslinkis sudaromas taip pat, kaip naudojant nuožulas, tik čia nėra kontakto tarp jungiamųjų detalių pradinėje rinkimo fazėje.

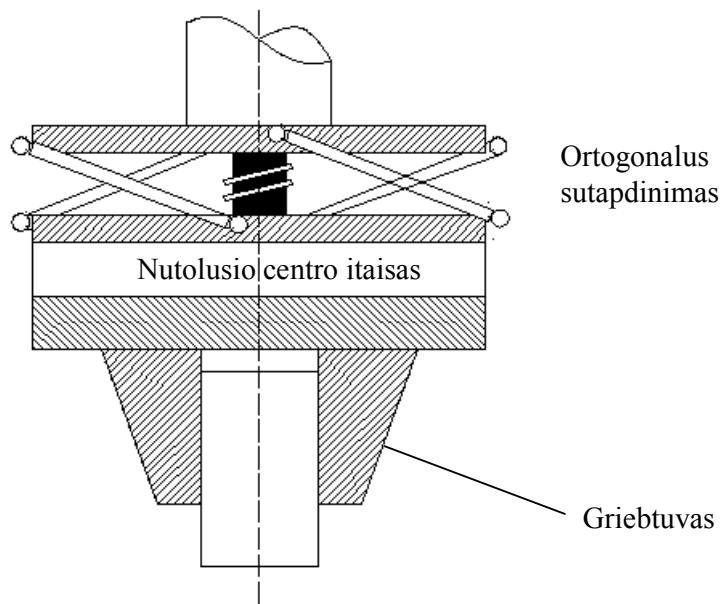
Kryptingą poslinkį galima suteikti pasukant vieną iš jungiamųjų detalių kitos atžvilgiu nustatytu kampu. Detalių jungiamųjų paviršių sutapdinimas vyksta dėl reakcijos jėgų, atsirandančių nuožulų susilietimo taškuose (3). (4 pav.)



4 pav. Sutapdinimas dėl reakcijos jėgų atsirandančių nuožulos taškuose

Šie jungiamųjų paviršių sutapdinimo metodai gali užtikrinti patikimą automatinį rinkimą tik tada, kai detalių tarpusavio padėties paklaida rinkimo pozicijoje nedidelė ir nedidelis sujungimo tikslumas.

Neapvalioms, su ašine asimetrija, detalėms automatiškai rinkti naudojami erdviniai nutolusio posūkio centro įtaisai (2). Tokį mechanizmą sudaro įprastinis nutolusio posūkio centro įtaisas ir horizontalioje plokštumoje išdėstytų ortogonalų sujungimo kontūro briaunų sutapdinimo mechanizmas, skirtas kampo tarp šių briaunų paklaidoms koreguoti.

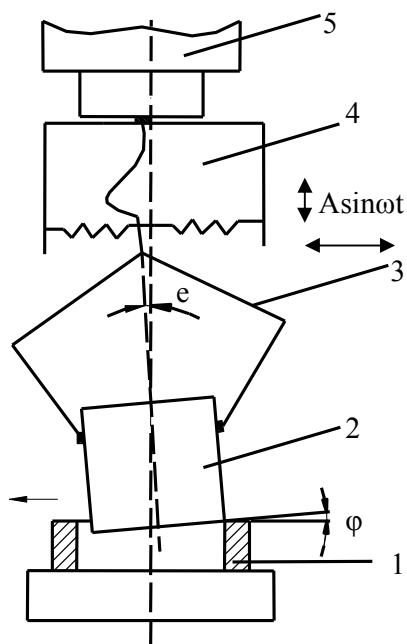


5 pav. Erdvinis nutulusio centro įtaisas

Žinomas pasyvus vibracinis automatinio rinkimo metodas, paremtas kryptingu vibraciniu poslinkiu.

Čia vibracinio poslinkio specifika ta, kad kryptingą poslinkį ir orientavimo judesius turi atlikti paslankiai bazuojama detalė.(6) Naudojant šį metodą, viena iš surenkamų detalių bazuojama paslankiai, o kitai suteikiamas vibracinis žadinimas. Tinkamai parinkus žadinimo dažnį, amplitudę bei kryptį ir bazuojamųjų elementų konstrukciją, pasireiškia kryptingas paslankiai bazuojamos detalės poslinkis ir posūkis, leidžiantis sutapdinti detalių jungiamuosius paviršius ir jas surinkti.(2) 6 paveiksle pateikta vibracinio surinkimo schema. Velenas 2 sujungtas su griebtuvu 3, kuris per griebtuvo laikiklio 4 tampriuosius sujungtas su roboto ranka 5. Prijungiamoji detalė 1 tvirtinama nejudamai bazavimo įtaise. Perstumiant vieną detalę vertikalia kryptimi ji prispaudžiama prie kitos tam tikro dydžio jėga. Jei jungiamųjų detalių ašys nesutampa, dėl pradinio detalių prisipaudimo paslankiai bazuojama detalė 2 pakrypsta kampu standžiai bazuojamos detalės atžvilgiu ir užima stabilios pusiausvyros padėtį. Veikiant tokią sistemą virpesiams, atsiranda paslankiai bazuojamos detalės kryptingas vibracinis poslinkis





6 pav. Vibracinio rinkimo schema

**Aktyvus metodas.** Aktyviojo orientavimo metodu detalės priverčiamos užimti reikiama padėtį panaudojant atramas, iškyšas ir kitus elementus.

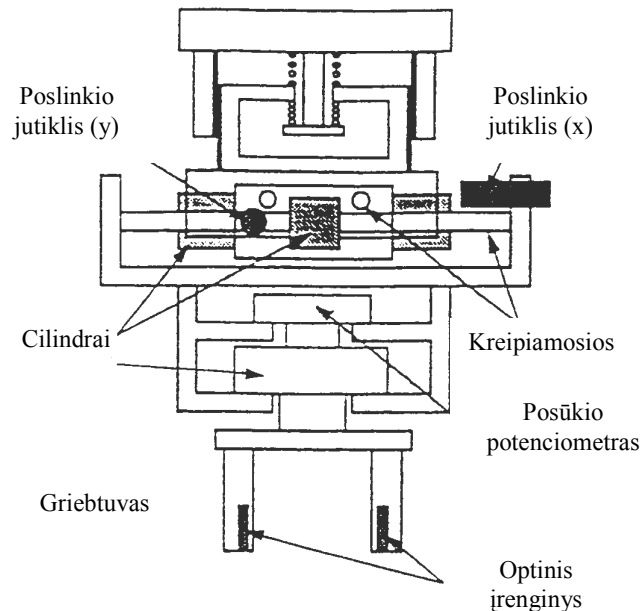
Taikant aktyvųjį automatinio rinkimo metodą, jungiamųjų detalių tarpusavio padėtis koreguojama valdymo algoritmais, naudojant jėginį ar regėjimo grįžtamąjį ryšį.

Naudojant aktyvų metodą, jėgos yra informacijos šaltinis, kuriuo remiantis yra nustatoma detalių tarpusavio padėtis. Rinkimo robotuose dažniausiai naudojami jėgos jutikliai (4), kuriais matuojamos sąveikos jėgos ir momentai, pvz., tenzometriniai jutikliai tamprųjų elementų deformacijoms matuoti, kai pastarosios proporcingos veikiančiais jėgais. Detalių paviršiams atpažinti gali būti naudojami taktiliniai ir regėjimo jutikliai. Atstumui nuo objekto iki griebtuvo nustatyti ar triukšmams, sklaidžiamiesiems rinkimo proceso metu, stebėti naudojami ultragarsiniai ir akustiniai jutikliai. Pastaruoju metu detalių tarpusavio padėčiai nustatyti vis plačiau naudojamos techninio regėjimo sistemos.

Grįžtamoju ryšiu pagal jėgą paremtu metodu detalės rinkimo pozicijoje pozicionuojamos tiksliau, be to, mažesnės rinkimo jėgos, lyginant su pasyviuoju metodu. Svarbiausi šio metodo trūkumai – rinkimo trukmės padidėjimas, grįžtamojo ryšio sistemų sudėtingumas bei matavimo sistemų brangumas.

**Kombinuotas metodas.** Kombinuoto veikimo metodas – tai aktyvaus ir pasyvaus metodų superpozicija. Toks metodas pasižymi lankstumu, greitu ir patikimu detalių be nuožulų sutapdinimu. Taikant kombinuotą vibracinio rinkimo metodą, jungiamųjų detalių kontūrai

sutapdinami atliekant atsitiktinės paieškos judesį. Norint sumažinti poslinkio neapibrėžtumą, naudojamos sudėtingos valdymo, kontrolės bei jutimo sistemos.(5) (7 pav.)



7 pav. Kombinuoto vibracinio rinkimo įtaiso schema

## 1.2 Detalių tarpusavio orientavimas pneumatiniiais rinkimo įtaisais

Norint detales automatiškai sujungti, reikia jas tarpusavyje orientuoti ir nustatyti tikslumu išdėstyti rinkimo pozicijoje. Detalių tarpusavio padėties paklaida prieš jų sujungimą negali viršyti leistinosios paklaidos, kai detales dar galima nekliudomai sujungti. Leistinąją pozicionavimo paklaidą lemia sujungimo tarpelis, detalių jungiamųjų paviršių matmenų bei formos nuokrypiai ir rinkimo įrenginių tikslumas. Renkamų detalių tarpusavio orientavimas ir jų jungiamųjų paviršių sutapdinimas – svarbiausias rinkimo proceso etapas. Diegiant efektyvesnius automatinio rinkimo procesus, atsisakoma standaus detalių bazavimo ir dažniausiai naudojamas paslankus bazavimas. Paprastai standžiai bazuojama tik viena iš jungiamųjų detalių, o kita laisvai juda ribotoje erdvėje, kol užima sujungimui reikiamą padėtį, t.y. įvyksta jungiamųjų paviršių sutapdinimas. Esant paslankiam bazavimui, detalių jungiamieji paviršiai sutapdinami autopaieškos metodu, ir vibraciniais kryptingo sutapdinimo metodais.

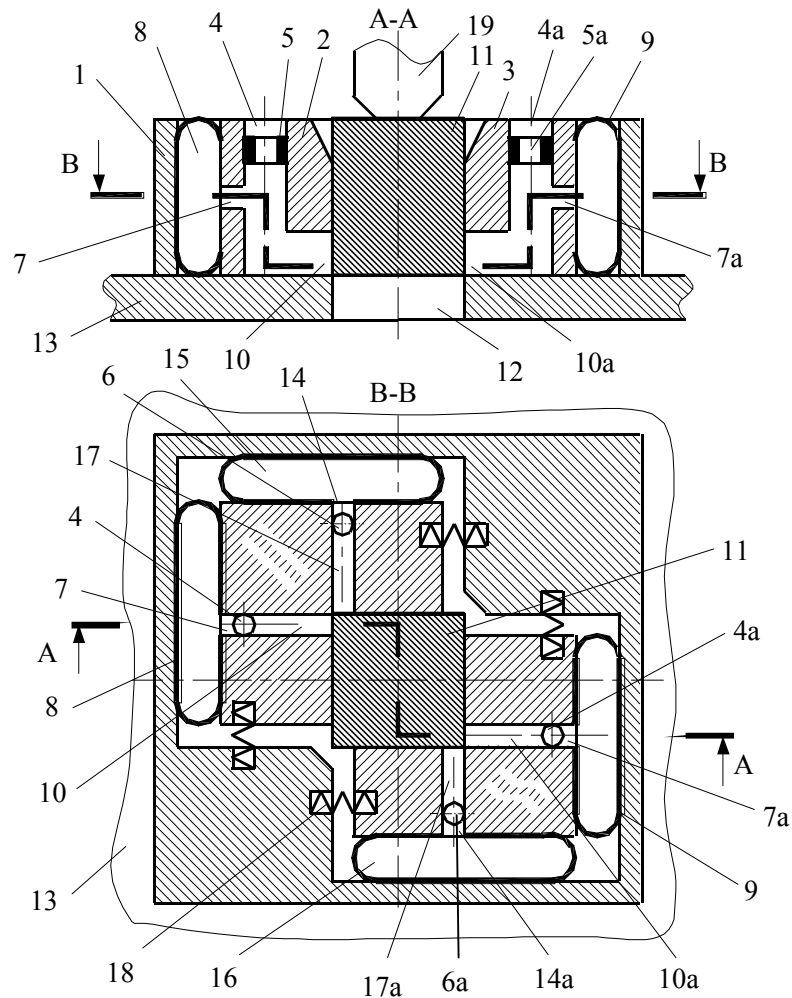
Yra sukurtas pneumatinis rinkimo įtaisas stačiakampio ar kvadratinio skerspjūvio detalėms rinkti.[8] Mechanizmą sudaro korpusas 1 (8 pav.) ir du kampainiai su kanalų

sistema: vertikalių 4 ir 4a su juose esančiais droseliais 5 ir 5a, bei taip pat vertikalių kanalų 6 ir 6a, kuriuose taip pat sumontuoti droseliai, 1.11 pav. neparodyti.

Vertikalūs kanalai 4 ir 4a per horizontaliuosius kanalus 7 ir 7a sujungti su lanksčiomis kameromis 8 ir 9. Šių kanalų apačioje ištekintos angos 10 ir 10a.

Vertikalūs kanalai 6 ir 6a per horizontalius kanalus 14 ir 14a sujungiami su lanksčiomis kameromis 15 ir 16. Kanalų 6 ir 6a apačioje, prie viršutinio detalės 13 paviršiaus, yra ištekintos angos 17 ir 17a. Tarp kampainių 2 ir 3 ir korpuso išdėstytos keturios spyruoklės 18.

Detalė 11 kartu su kampainiais 2 ir 3 gali pasislinkti horizontalioje plokštumoje ir pasisukti vertikaliaiosios atžvilgiu.



8 pav. Pneumatinis rinkimo įtaisas neapvalaus skerspjūvio detalėms rinkti

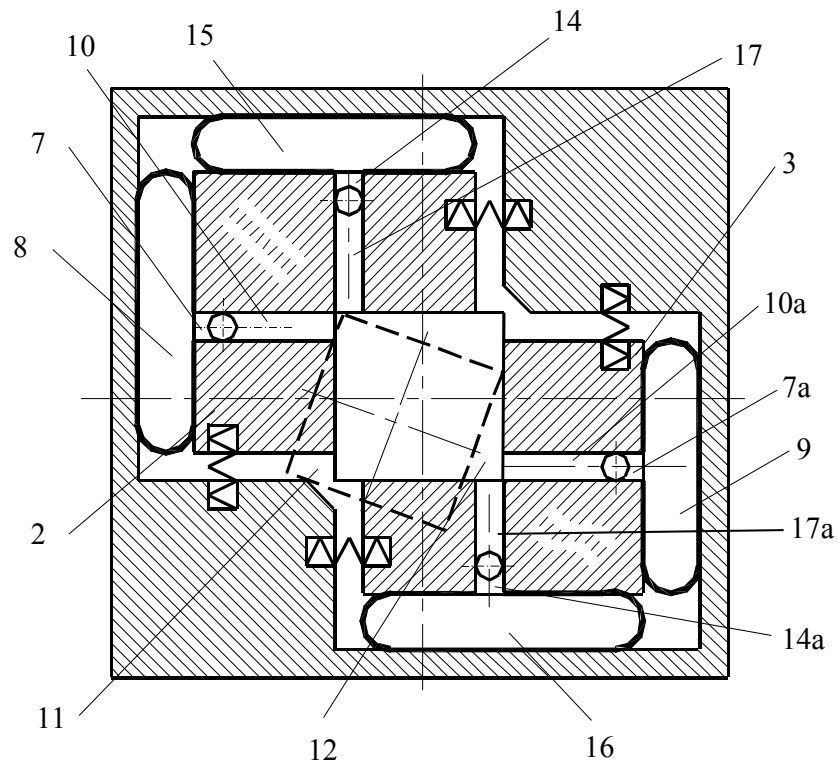
Nusklembimai kampainių 2 ir 3 viršutinėje dalyje palengvina detalės padavimą į įrenginį. Virš įrenginio yra stūmiklis 19.

Kad būtų galima detalę 11 įstatyti į skylę 12, kreipiantysis įtaisas pastatomas virš 13 detalės, kuri gali būti išdėstyta, pavyzdžiui, rinkimo mašinos planšaišos lizduose.

Detalė 11 pastatoma tarp kampainių 2 ir 3. Apatiniu paviršiumi ji remiasi į viršutinę detalės 13 plokštumą. Kai jungiamosios detalės 11 ir skylės 12 plokštumos sutampa, jos nekliudomai sujungiamos. Tačiau bendruoju atveju sujungimui atlikti būtina perslinkti 11 detalę 13 – tosios atžvilgiu.

Pučiant orą į kreipiantį įrenginį, kameros 8, 9 ir 15, 16 pripildomos oru. Kampainiai 2 ir 3, spausdami spyruokles 18, apgaubia detalę 11, pasukdami ją į reikiamą padėtį.

Tarkime, kad detalės padėtis pradinio momentu tokia, kaip pavaizduota 9 paveiksle.



9 pav. Neapvalaus skerspjūvio detalių rinkimo schema

Kad sutaptų detalių kontūrai, detalė 11 turi ne tik pasisukti tam tikru kampu, bet ir pasislinkti iki jos ir skylės ašių sutapimo.

Šiuo atveju ištekintos angos 10a ir 17a atviros, o 10 ir 17 uždaros. Kameroje 8 ir 15 slėgis bus didesnis negu kameroje 9 ir 16 dėl slėgio kritimo vertikalų kanalų 4a ir 6a droseliuose. Tai sukelia suminį detalės 11 poslinkį kartu su kampainiais 2 ir 3 iki jos kontūro sutapdinimo su skylės 12 kontūru. Stūmiklis 19 įstumia detalę 11 į skylę 12, tuo pat metu nutraukiamas oro tiekimas į korpusą 1. Po to spyruoklės 8 grąžina kampainius 2 ir 3 į pradinę padėtį, išstumdamas orą iš kamerų. Svarbiausias šio rinkimo metodo trūkumas – nedidelė greitaveika ir jautrumas.

Svarbu sukurti tokius pneumovibracinio rinkimo mechanizmus, kurie užtikrintų vienos iš jungiamųjų detalių kryptingą poslinkį ašių sutapdinimo kryptimi. Renkant detales šiuo

metodu, sutrumpėja renkamų detalių tarpusavio orientavimo laikas, padidėja rinkimo patikimumas.

## **1.3 Pramoniniai robotai**

### **1.3.1 Pramoninių robotų pagrindiniai parametrai**

Pramoninis robotas — tai automatiškai veikiantis, perprogramuojamas įrenginys, kurio manipulatoriaus pavidalo vykdymo įtaisas imituoja žmogaus rankos judesius. Nuo įprastinių automatizavimo priemonių pramoniniai robotai pirmiausia skiriasi judesių universalumu ir perdirinimo spartumu. Pramoniniai robotai, kaip universali gamybos automatizavimo priemonė, tinka automatizuoti procesams su didele gaminių nomenklatūra. Jie gali atlikti technologines operacijas (suvirinimą, dažymą, surinkimą ir kt.) ir pagalbines operacijas (detalių padavimą į technologinius įrengimus ir jų išėmimą, transportavimą tarp agregatų, įrankių keitimą, atliekų pašalinimą ir kt.).(8)

Aptarnavimo robotai 2—3 kartus (kartais 6—7 kartus) padidina darbo našumą ir technologinių įrengimų lankstumą, padeda kompleksiskai automatizuoti gamybą. Pramoninių robotų technologines galimybes ir konstrukciją apibūdina keli svarbiausi parametrai: keliamoji galia, judrumo laipsnių skaičius, darbo zona, mobilumas, greitaveika, pozicionavimo tikslumas, pavarų ir valdymo sistemos tipas.

Pramoninio roboto keliamoji galia — tai didžiausia objekto (detalės, įrankio, įtaiso) masė, su kuriuo jis gali manipuluoti darbo zonoje. Superlengvieji robotai, kurių keliamoji galia iki 1 kg, naudojami šampavimui ir detalių surinkimui. Tai dažniausiai ciklinio valdymo greitaveikiai dviejų trijų judrumo laipsnių pneumatiniai robotai. Lengvųjų robotų keliamoji galia iki 10 kg. Jie būna penkių šešių judrumo laipsnių, turi įvairių tipų pavaras ir valdymo sistemas. Vidutinės keliamosios galios (iki 100 kg) robotai būna specialūs, specializuoti ir universalūs. Manipulatoriaus poslinkių greitis būna apie 0,5 m/s. Parenkant pramoninius robotus pagal keliamąją galią, reikia žinoti, kad, didėjant manipulatoriaus eigai ir poslinkių greičiui, keliamoji galia mažėja.(1)

Judrumo laipsnių skaičius apibūdina pramoninio roboto judesių sudėtingumą darbo metu. Jis lygus manipulatoriaus slenkamųjų ir sukamųjų judesių skaičiui, neskaitant jo griebtuvo suspaudimo ir atleidimo judesių. Nuo judrumo laipsnių skaičiaus labai priklauso roboto universalumas. Technologinių įrengimų aptarnavimui pakanka robotų su penkiais šešiais judrumo laipsniais.

Darbo zona — tai erdvė, kurioje gali judėti roboto manipulatoriaus griebtuvas. Kai griebtuvas juda stačiakampės koordinatų sistemos ašių kryptimis, darbo zona yra gretasienio

formos. Tokie robotai paprasti, lengvai programuojami, bet ribotos jų technologinės galimybės. Griebtuvui judant cilindrinėje koordinačių sistemoje, darbo zona yra cilindro formos. Tokių robotų konstrukcija taip pat nesudėtinga, išsiplečia jų technologinės galimybės. Universaliausi yra robotai, kurių manipulatoriaus darbo zona yra sfera. Tokie robotai yra sudėtingos konstrukcijos, sunku programuoti jų darbą.(17)

Pramoninio roboto mobilumą apibūdina jo atliekami judesiai: perstatymo (transportavimo) judesiai tarp darbo pozicijų, nutolusių didesniu atstumu už manipulatoriaus darbo zonos matmenis; manipulatoriaus nustatymo judesiai darbo zonoje; griebtuvo orientavimo judesiai. Robotai būna stacionariniai ir kilnojamieji. Pirmuoju atveju roboto korpusas nejudrus ir tokie robotai montuojami prie aptarnaujamųjų technologinių įrengimų arba ant jų. Kilnojamieji robotai juda tarp technologinių įrengimų bėgiais arba automatiniiais vežimėliais.

Roboto greitimeika — tai didžiausi manipulatoriaus griebtuvo linijinių ir kampinių poslinkių greičiai darbo metu. Mašinų gamyboje dažniausiai naudojamų pramoninių robotų manipulatoriaus linijinis greitis būna 0,5—1,2 m/s, kampinis greitis — nuo  $\pi/2$  iki  $\pi$  rad/s.(19)

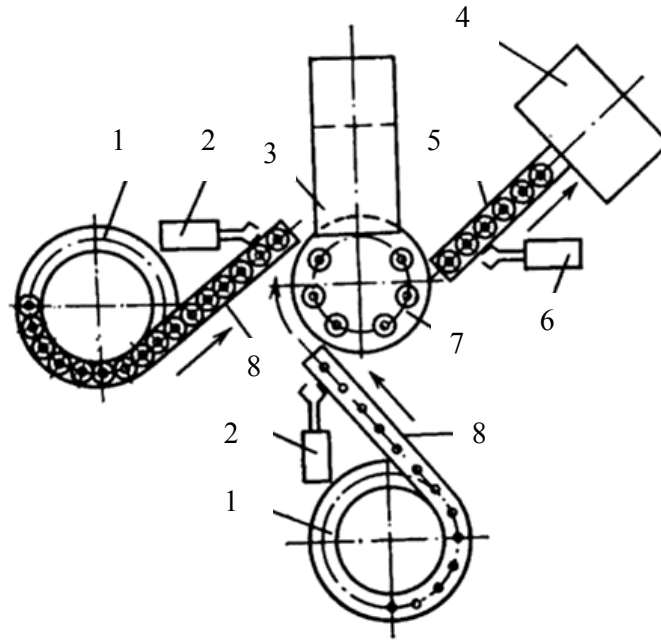
Pozicionavimo tikslumas — tai manipulatoriaus griebtuvo nustatymo tikslumas reikiamame darbo zonos taške ir griebtuvo judesio trajektorijos atitikimas. Pozicionavimo tikslumas yra vienas svarbiausių veiksnių, nuo kurio priklauso pramoninių robotų konstrukcija ir techninės charakteristikos. Roboto manipulatorius dažniausiai tvirtinamas konsoliškai. Dėl to, didėjant jo siekiui, didėja griebtuvo svyravimų amplitudė ir mažėja pozicionavimo tikslumas. Pozicionavimo tikslumas taip pat priklauso nuo manipulatoriaus poslinkių dydžio, greičio ir pagreičio, transportuojamo objekto masės ir gabaritų. Mažo pozicionavimo tikslumo pramoniniai robotai (pozicionavimo paklaida  $\pm 1,0$  mm), gali būti naudojami transportavimui, dažymui, suvirinimui. Tokio pozicionavimo tikslumo yra robotai su pneumatinėmis arba hidraulinėmis pavaromis. Technologinių įrengimų aptarnavimui dažniausiai naudojami vidutinio pozicionavimo tikslumo robotai (pozicionavimo paklaida nuo  $\pm 0,1$  iki  $\pm 1,0$  mm). Didelis pozicionavimo tikslumas reikalingas surinkimo robotams. Jų pozicionavimo paklaida neturi būti didesnė kaip  $\pm 0,1$  mm.(13)

Pramoniniuose robotuose naudojamos pneumatinės, hidraulinės, elektrinės ir kombinuotos roboto manipuliatorių pavaros. Pneumatinės pavaros naudojamos specialiuose, specializuotuose, kartais ir universaliuose robotuose, kurių keliamoji galia dažniausiai būna iki 10 kg. Tokios pavaros yra paprastos konstrukcijos, patikimos, pigios. Pneumatinės pavaros stumdo vykdymo mechanizmus nuo atramos iki atramos, t. y. dirba cikliniu režimu. Tarpiniam pozicionavimui (tarp atramų) reikalingos daug sudėtingesnės pavaros. Be to,

pneumatinėmis pavaromis negalima valdyti slinkimo greičio, reikalingi sudėtingi slopinimo įtaisai, kad vykdymo mechanizmas sklandžiai priartėtų prie standžios atramos. Dėl šių priežasčių robotų su pneumatinėmis pavaromis technologinės galimybės yra ribotos. Hidraulinės pavaros kompaktiškos, išvysto dideles jėgas, lengva reguliuoti vykdymo mechanizmų jėgas ir slinkimo greičius. Tokios pavaros dažniausiai naudojamos robotuose, kurių keliamoji galia didesnė kaip 5 kg.(17) Svarbiausi hidraulinių pavarų trūkumai: nedidelė greitaveika, alyvos klampumas priklauso nuo temperatūros, nestabilus roboto darbas dėl alyvos slėgio svyravimų. Nepaisant to, robotų su hidraulinėmis pavaromis technologinės galimybės yra didesnės negu robotų su pneumatinėmis pavaromis. Robotai su elektros pavaromis yra didelio technologinio lankstumo, patikimi, paprasta juos aptarnauti, lengva suderinti su aptarnaujamais įrengimais. Elektros pavarose naudojami nuolatinės, kintamosios srovės ir žingsniniai varikliai. Su elektros pavaromis gaminami įvairaus universalumo ir keliamosios galios robotai. Pramoniniai robotai būna su ciklinėmis, pozicinėmis ir kontūrinėmis programinio valdymo sistemomis. Programinio valdymo robotai dirba pagal nustatytą programą, atlieka paprastas pasikartojančias operacijas. Aplinka, kurioje dirba programinis robotas, turi būti iš anksto žinoma ir apibrėžta, o daiktai, kuriais jis manipuliuoja,— tiksliai orientuoti erdvėje. Perprogramavus roboto darbą, atliekamos kitos griežtai apibrėžtos operacijos. (10)

### **1.3.2 Detalių tarpusavio orientavimas pramoniniais robotais**

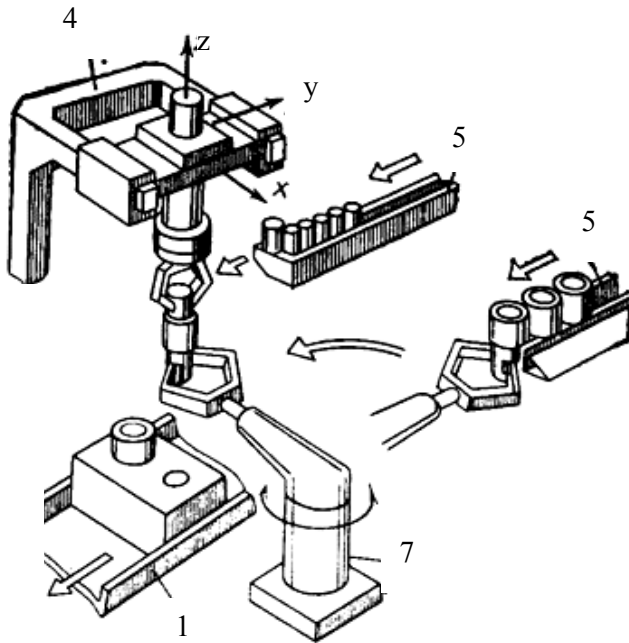
Pramoniniai robotai naudojami įvairioms surinkimo operacijoms automatizuoti. Robotai, dirbantys pagal iš anksto sudarytą programą, dažniausiai naudojami detalėms paduoti, orientuoti, sujungti, tvirtinti, transportuoti. Adaptyvieji robotai gali detales atpažinti, orientuoti tarpusavyje, kad sklandžiai susijungtų, kontroliuoti detalių matmenis ir sujungimo kokybę. Robotai dažniausiai naudojami renkant visiško pakeičiamumo metodu. Pagrindinis lanksčios gamybinės sistemos struktūrinis vienetas — robotizuotas technologinis kompleksas. Robotizuotą surinkimo kompleksą sudaro vienas arba keli pramoniniai robotai, įtaisai, įrankiai ir kiti automatiniai įrengimai, kuriais galima vykdyti vieną arba kelias surinkimo operacijas (1)



10 pav. Robotizuoto rinkimo komplekso schema

10 paveiksle parodytas robotizuotas kompleksas surinkimo vienetui, sudarytam iš dviejų užkniedijamų detalių, surinkti. Robotai 2 surenkamasias detales paduoda iš kaupiklių 8 kniedijamo automato 3 pasukamojo stalo 7 lizdus. Robotas 6 nuima surinktus gaminius nuo stalo ir pastato ant transporterio 5, kuris transportuoja juos į kaupiklį 4. Į kaupiklius 8 detalės paduodamos iš vibracinių bunkerių 1. Surinkimo kompleksuose naudojant adaptyviojo valdymo pramoninius robotus, galima kompensuoti surenkamųjų detalių ir komponentų tarpusavio padėties paklaidas. Dėl to yra ne tokios griežtos surinkimo sąlygos, keliami mažesni jungiamųjų paviršių ir įtaisų tarpusavio padėties tikslumo reikalavimai. Adaptyviojo valdymo roboto griebtuvuose įtaisomi informaciniai davikliai. Robotų universalumas ir jų techninės galimybės priklauso nuo šių daviklių kokybės, valdymo sistemų ir robotų valdymo programų. Kai robotas turi kontaktinius grįžtamojo ryšio daviklius, galima kontroliuoti jo manipulatoriaus prisilietimą prie objekto. Jėginiai davikliai matuoja jėgas ir momentus, veikiančius roboto griebtuvą. Davikliai siunčia signalus į kompiuterį arba roboto valdymo sistemą. Pagal daviklių teikiamą informaciją tikslinama roboto valdymo programa.





11 pav. Rinkimo operacijų automatizavimas adaptyviuoju robotu

Adaptyvusis robotas (11 pav.) surenka objektus iš dviejų arba trijų detalių. Ant pagrindo sumontuotas trijų laisvės laipsnių pagrindinis manipulatorius 4, vieno laisvės laipsnio pagalbinis manipulatorius 7, surenkamųjų detalių kaupikliai 5 ir 6, transporteris 1 su palydovais. Vietoj palydovo gali būti korpusas — trečioji surenkamojo objekto detalė. Pagrindinio manipulatoriaus griebtuvas kryžminėmis plokščiomis spyruoklėmis 2 sujungtas su stiebu 3, kuris spaudžia sujungiamąsias detales, ir spyruoklės deformuojasi. Ant spyruoklių įtaisyti tenzometriniai jėgos davikliai, kurie sukuria elektrinius signalus, proporcingus spyruoklės lakštų įlinkiams ašių  $x$ ,  $y$ ,  $z$  kryptimis,

Įstatant, detales pagal jėgos daviklių signalus kontroliuojama surinkimo jėga ir roboto manipulatoriaus osciliaciniai judesiai, kad jungiamosios detalės neįstrigtų. Roboto programinio valdymo sistema priartina detalę, formuoja jungiamųjų paviršių paieškos judesius ir, paviršiams sutapus, sujungia detales.

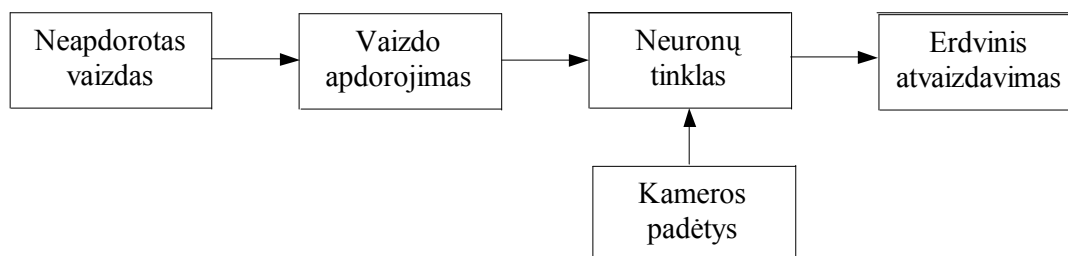
### 1.3.3 Intelektualus robotizuotas rinkimas

Rinkimo sistema turi turėti jutimo, protavimo, sprendimų priėmimo ir mokymosi sugebėjimus, kurie tam tikra prasme yra panašūs į žmogaus intelektualiąją veiklą. Intelektualioji sistema turi tobulą programinę įrangą, gali atpažinti detales pagal jų formą, spalvą, matmenis ar kitus parametrus.

Sistemos mokymosi sugebėjimams įgyvendinti naudojamas neuronų tinklas. Pastarasis gali būti naudojamas trimatės erdvės taškams pavaizduoti, kintant techninio regėjimo sistemos

elemento – videokameros padėčiai. Rinkimo robotai, kurie naudoja aktyvią kamerų sistemą su regėjimo grįžtamuju ryšiu, gali pasiekti didesnę lankstumą operuojant neapibrėžtoje, t.y. nežinomoje ar besikeičiančioje aplinkoje. Pagrindinė tokios sistemos problema – iš naujo apibrėžti kameros padėtį. Tam tikslui gali būti naudojamas naujas, atliekantis savireguliaciją neuronų tinklas, kuris mokosi pavaizduoti trimatės erdvės taškus, atitinkančius kameros padėtį.(8)

Invariantiško erdvinio pavaizdavimo principinė schema, kai aktyviai regėjimo sistemai naudojamas neuronų tinklas, pateikta 12 paveiksle.



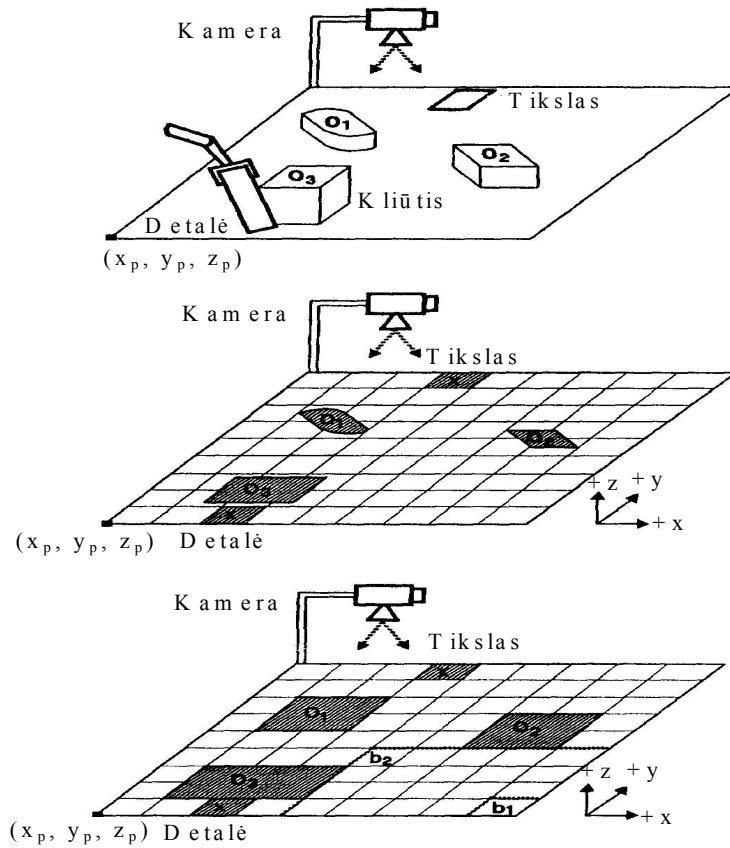
12 pav. Erdvinio pavaizdavimo, naudojant neuronų tinklą, pagrindinė schema

Detalių pernešimas judančiu robotu aplinkoje su nežinomomis kliūtimis, t.y. aprašytas neapibrėžtoje aplinkoje. Naudojama regos sistema. Pernešimo algoritmą galima apibūdinti taip: pirmiausia mašinos valdiklis su regėjimo sistema identifikuoja kliūčių pozicijas, pernešamą detalę ir detalės galutinę padėtį darbinėje rinkimo modulio srityje. Dėl to darbo sritis padengiama tiesialinijiniu tinkleliu. Kiekvienas objektas darbo srityje po to gali būti apksimuojamasis gretimų tinklelių blokų rinkiniu (13 pav.).

Kiekvieno bloko padėtis fiksuotos koordinatų sistemos atžvilgiu gali būti nustatoma sensorine sistema. Informacija apie kiekvieno bloko padėtį saugoma kompiuterio atmintyje. Nuėmus kliūtis dengiančius blokus, lieka blokų tinklelis, per kurį gali būti pernešama detalė. Srities padalinimo algoritmas po to sujungia šio tinklelio blokus į minimalų blokų rinkinį ir suvienyti blokai vadinami trajektorijos segmentais. Jais rinkimo objektas gali būti nekliudomai pernešamas.

Vienas iš ateities rinkimo sistemoms keliamų reikalavimų – lanksčių detalių rinkimo įgyvendinimas panaudotas guminio diržo sujungime su fiksuotais skriemuliais. Šis metodas taip pat paremtas regos sistema ir empirinėmis žiniomis apie juostą, analizuojant galimas jos būsenas. Paskutiniai tyrimai lanksčių objektų rinkimo srityje atlikti dviem kryptimis: sistemų su grįžtamuju ryšiu kūrimas ir lankstaus objekto analitinio modelio kūrimas. Pirmuoju atveju visiems rinkimo darbams atlikti būtina nauja įranga, sensoriai ir valdymo algoritmai. Tokių sistemų kūrimas reikalauja daug pastangų. Jungiamųjų detalių sutapdinimas naudojant

techninį regėjimą ir neuronų tinklus yra efektyvus ir leidžia kurti lanksčias rinkimo sistemas. Šio metodo trūkumai – sugaištama daug laiko trimačiams objektams atpažinti ir jų atvaizdams sudaryti, vaizdinė informacija jautri išorinės aplinkos poveikiams, pavyzdžiui, apšvietimo pokyčiams.



13 pav. Neapibrėžtos darbinės srities aproksimavimas linijiniu tinkleliu

## 1.4 Apibendrinimas

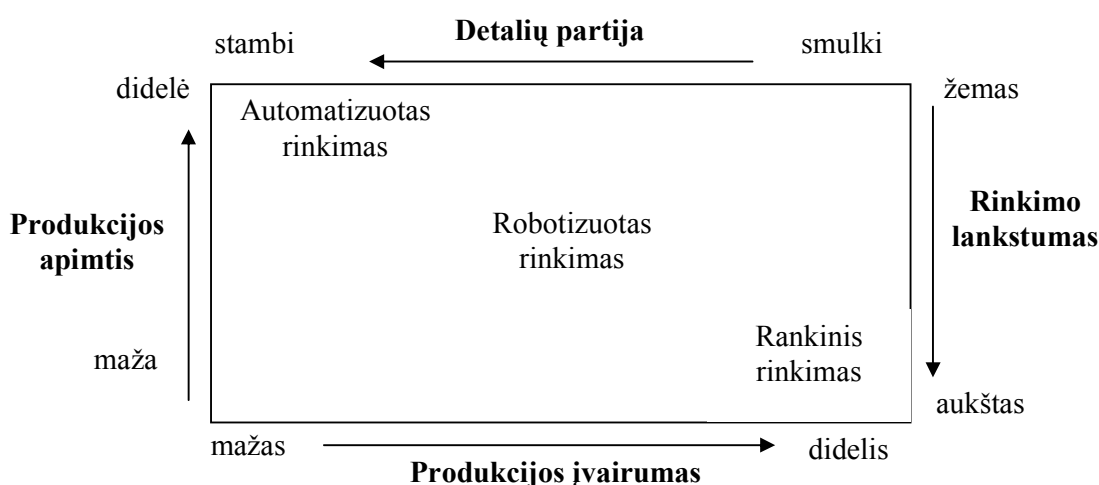
Plokščioms neapvalaus profilio detalėms rinkti geriausia naudoti pramoninį robotą nes:

- robotas yra programuojamas įrenginys ir jį galima greitai ir lengvai perprogramuoti pagal norimą trajektoriją.
- Robotai yra greitaiegiški. ir patikimi.
- Robotą galima pritaikyti ne tik rinkimo darbams, bet ir transportavimo dažymo ir kt.

## 2. PLOKŠČIŲ DETALIŲ SUJUNGIMO ANALIZĖ

### 2.1 Plokščių detalių automatinio rinkimo etapai

Rinkimas – atskirų detalių ar mazgų sujungimas į gaminį. Rinkimo procesą apibūdina detalių sujungimo būdas ir jų sujungimo į gaminį tvarka. Yra trys pagrindiniai rinkimo metodai: rankinis, automatizuotas ir robotizuotas. 14 paveiksle parodytas ryšys tarp rinkimo metodų produkcijos kiekio, jos įvairovės ir gamybos lankstumo.(15) Čia robotizuotas rinkimas apibrėžiamas kaip lankstus automatizuotojo rinkimo procesas, kurio metu orientavimo ir detalių sujungimo operacijas atlieka vienas ar daugiau robotų.



14 pav. Ryšys tarp rinkimo metodų, produkcijos kiekio, jos įvairovės ir gamybos lankstumo

Automatiškai renkamos detalės, nežiūrint jų konfigūracijos, įvairovės ir sujungimo tarpo, esant geometriniais parametrams tolerancijos ribose, turi būti nekliudomai sujungiamos. Rinkimo automatizavimas leidžia sumažinti gaminio kainą ir padidinti apimtis bei sutrumpinti gamybos ciklą. Automatinį rinkimą sudaro šie etapai:

- Jungiamųjų detalių padavimas į rinkimo poziciją.
- Jungiamųjų detalių tarpusavio orientavimas ir sujungimas.
- Sujungtų detalių tvirtinimas.
- Surinkto mazgo pašalinimas iš įrenginio arba jo transportavimas.

Į rinkimo poziciją sujungiamos detalės turi būti paduodamos atskirtos viena nuo kitos ir atitinkamai orientuotos. Nuo surenkamų detalių medžiagos, formos ar masės priklauso padavimo konstrukcija ir veikimo principas.

Detalės į rinkimo poziciją gali būti paduodamos gravitaciniu būdu priverstinai pernešamos pramoniniais robotais, manipulatoriais ar kitais įrenginiais.

Vienas svarbiausių automatinio rinkimo etapų yra jungiamųjų detalių tarpusavio orientavimas ir jungiamųjų paviršių sutapdinimas prieš sujungimą. Detalių orientavimui taikomi aktyvūs ir pasyvūs automatinio rinkimo metodai. Taikant aktyvius automatinio rinkimo metodus, jutiklių, grįžtamojo ryšio, valdymo algoritmų dėka koreguojami jungiamųjų detalių poslinkiai. Tačiau aktyvios rinkimo sistemos reikalauja sudėtingų valdymo algoritmų ir pavarų, kurios galėtų patikimai dirbti.

Taikant pasyvius metodus viena iš surenkamų detalių, judėdama apibrėžtoje erdvėje užima tokia padėtį, kai detalės gali susijungti. Tačiau jungiamųjų paviršių sutapdinimo procesas dažniausiai būna nestabilus.

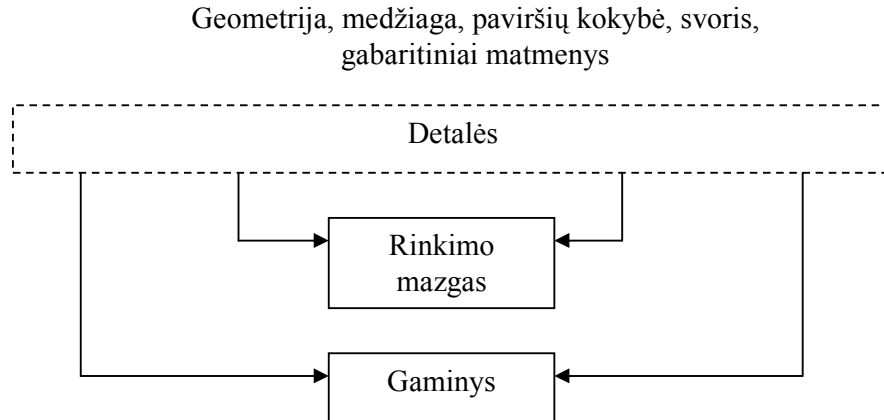
Šiuolaikinėje gamyboje vis plačiau naudojami robotizuoti rinkimo kompleksai (RSK), kurių sudėtyje yra vienas ar keli pramoniniai robotai. Jie gali atlikti renkamų detalių padavimą, transportavimą bei pagrindines rinkimo operacijas – detalių tarpusavio orientavimą, jų jungiamųjų paviršių sutapdinimą ir sujungimą. RSK būdinga tam tikra renkamųjų detalių poslinkių seka:

1. Padavimas į rinkimo zoną.
2. Tarpusavio orientavimas.
3. Sujungimas.
4. Fiksavimas.

Pradedant montavimą, reikia patikrinti detalių tarpusavio padėties tikslumą rinkimo įtaise. Dėl to reikalingi grįžtamieji ryšiai nuo surinkimo įrenginio ir įrangos iki komplekso valdymo sistemos. Kai rinkimo operaciją atlieka robotas, jo griebtuvas paima detalę iš kaupiklio ir transportuoja į sujungimo poziciją. Detalės padėtis griebtuve turi likti kontroliuojama. Detales sujungia roboto manipulatorius, kurio griebtuvas turi jutiklius. Kita kompleksinė detalė montuojama kitu robotu, arba tuo pačiu, kuriam automatiškai pakeičiamas griebtuvas. Sumontuotos detalės fiksuojamos ir tvirtinamos technologiniais įrenginiais ir įrankiais, kuriuos valdo ir jų darbą kontroliuoja RSK valdymo sistema. Surinktą mazgą iš rinkimo pozicijos pašalina transportavimo įrenginiai arba robotai.

## 2.2 Automatiškai renkamų plokščių detalių technologiškumo reikalavimai

Rinkimas – galutinis gaminio gamybos etapas, kurio metu formuojama gaminio kokybė. Automatinio rinkimo negalima nagrinėti atskirai nuo gaminio konstrukcijos. Galutinis automatinio rinkimo rezultatas yra gaminys arba jo dalis – mazgas, susidedantis iš įvairios formos, matmenų, masės. (15 pav.)



15 pav. Gaminio struktūra

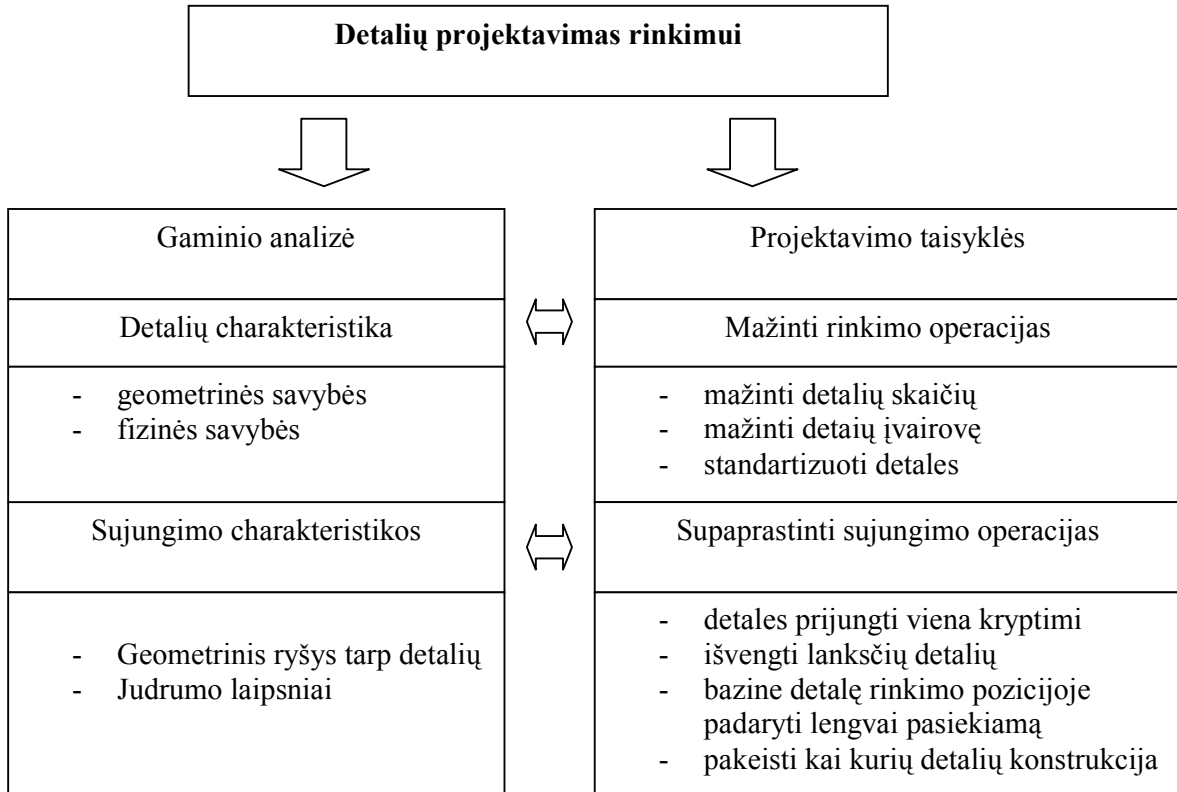
Gaminio konstrukcija, jo tikslumas, svoris, sujungiamųjų detalių gabaritiniai matmenys turi įtakos projektuojant ir naudojant automatinio rinkimo įrangą ir rinkimo patikimumui. Detales reikia konstruoti taip, kad jas būtų lengva rinkti. Maždaug 80% gaminio gamybos kainos nustatoma projektavimo stadijoje, dėl to produkto projektavimui reikia kreipti dėmesį (16). Projektuojant detales reikia atsižvelgti į tokius faktorius:

1. Detalių sujungimo tvarką.
2. Sujungimo kryptį.
3. Sujungimo būdą.

Norint supaprastinti rinkimo operacijas reikia:

- Renkamas detales bazuoti paslankiai, kad jos galėtų savaime nusistatyti.
- Konstruoti simetriškas detales, kad būtų galima lengviau orientuoti.
- Detales daryti su nuožulomis, kurios palengvina sujungimą.
- Panašias detales unifikuoti.
- Detales jungti vertikalia ašies kryptimi, rinkimą pradėti nuo pagrindinės detalės su didžiausia santykinė mase ir žemiausiu svorio centru iš visų prijungiamųjų detalių.

Projektuojant automatiniam rinkimui pritaikytas detales, reikia optimizuoti gaminio konstrukciją, kad būtų paprasčiau gaminį surinkti ir mažėtų jo kaina. Detales projektuojant rinkimui, reikia atlikti gaminio analizę, apimančią jį sudarančių detalių charakteristikas, rinkimo proceso ypatumus bei sujungimo būdus. Projektavimo taisyklės remiasi dviem principais – mažinti rinkimo operacijų skaičių ir kiek galima jas supaprastinti. (16 pav.)



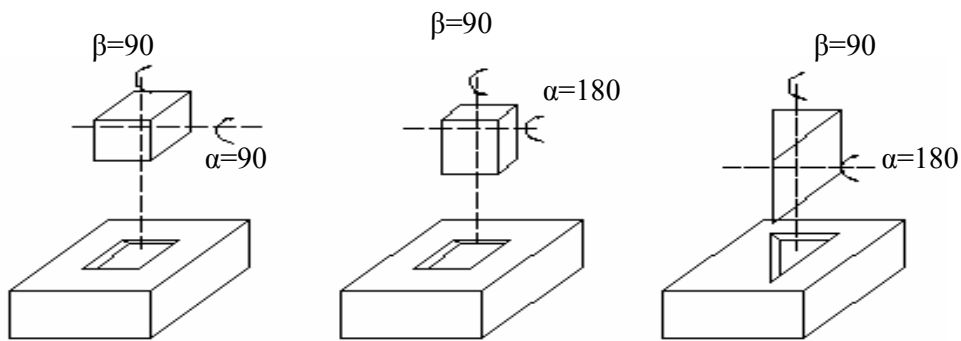
16 pav. Detalių projektavimo struktūra

Gaminį reikia konstruoti taip, kad būtų paprasti rinkimo įrenginiai ir įtaisai, mechanizmai judėtų tiesialinijinėmis trajektorijomis. Pageidautina, kad detalės būtų simetriškos ir paprastos, nes palengvėja detalių orientavimas.

Simetriškas detales lengviau orientuoti, paduoti į rinkimo poziciją ir sujungti. Detalės dažniausiai orientuojamos dviem kryptimis):

1. Aplink išilginę ašį, nukreiptą sujungimo ašies kryptimi ( $\beta$  simetriškas).
2. Aplink skersinę ašį, statmeną rinkimo kryptį ( $\alpha$  simetriškas).

Dydžiai  $\alpha$  ir  $\beta$  tai mažiausi kampai, kuriais reikia pasukti detalę, kad ji užimtų nustatytą padėtį rinkimo pozicijoje (17 pav.)



17 pav. Detalių orientavimo rinkimo pozicijoje kampai  $\alpha$ ,  $\beta$

Detalių automatinio orientavimo sudėtingumą lemia jų simetrijos ašių ir plokštumų kiekis. Orientavimui tinkamas detales galima suskirstyti į tris pagrindines grupes:

1. Detales, turinčias sukimosi ašį.
2. Detales turinčias simetrijos ašį.
  - 2.1 Detalės, turinčios tris simetrijos plokštumas.
  - 2.2 Detales, turinčias dvi simetrijos plokštumas.
  - 2.3 Detales turinčias vieną simetrijos plokštumą.
3. Detales, neturinčias simetrijos plokštumų.

Sunkiausia automatiškai orientuoti trečios klasės detales, kadangi didėja galimų detalės padėčių skaičius orientavimo įrenginiuose. Detalių orientavimas labai dažnai lemia automatinio rinkimo patikimumą.

Gaminys turi būti renkamas neperorientuojant bazines detales, prie jos prijungiamųjų detalių judesio trajektorijos turi būti paprastos. Bazavimo paviršiai turi būti tikslūs ir gerai apdirbti, o jų paviršiaus forma turi būti patogi detalės pastatymui surinkimo pozicijoje.

Pagal masę automatiškai renkamos detalės gali būti suskirstytos į šešias grupes:

- Pirmoji grupė – miniatiūrinės ir mikrominiatiūrinės detalės, šioje grupėje dažnai sutinkamos  $(3 - 8) \cdot 10^{-3}$  kg masės detalės, kurių gabaritiniai matmenys  $(1,5 \times 1,5 \times 0,3) \cdot 10^3$ ;
- Antroji grupė – iki 10g detalės;
- Trečioji grupė – 10 – 50 g masės detalės;
- Ketvirtoji grupė – 50 – 200g masės detalės;
- Penktoji grupė 200 g – 1 kg masės detalės;
- Šeštoji grupė – daugiau nei 1 kg masės detalės.



Apie 80% automatiškai renkamų detalių būna mažesnė už 1 kg. Stambios, didelės masės detalės dažniausiai būna paprastos konfigūracijos ir jas lengva orientuoti. Lengviausiai orientuoti detales, kurių masė neviršija (0,1 – 0,2) kg, o gabaritiniai matmenys 0,15 – 0,2m

### 2.3 Plokščių detalių rinkimo režimų skaičiavimas

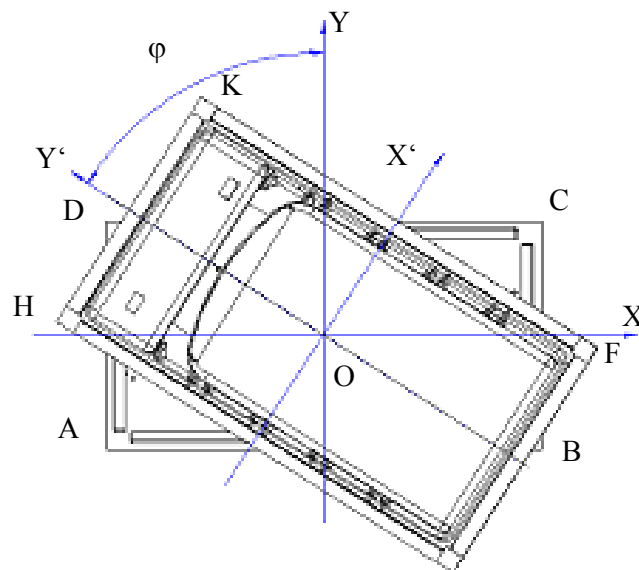
Renkant necilindrinės detales automatiškai reikalinga, sutaptinti kontūrus  $x$  ir  $y$  kryptimis ir pasukti kampą  $\varphi$  apie ašį  $Z$ .

Kad atliktume sujungimą reikia žinoti:

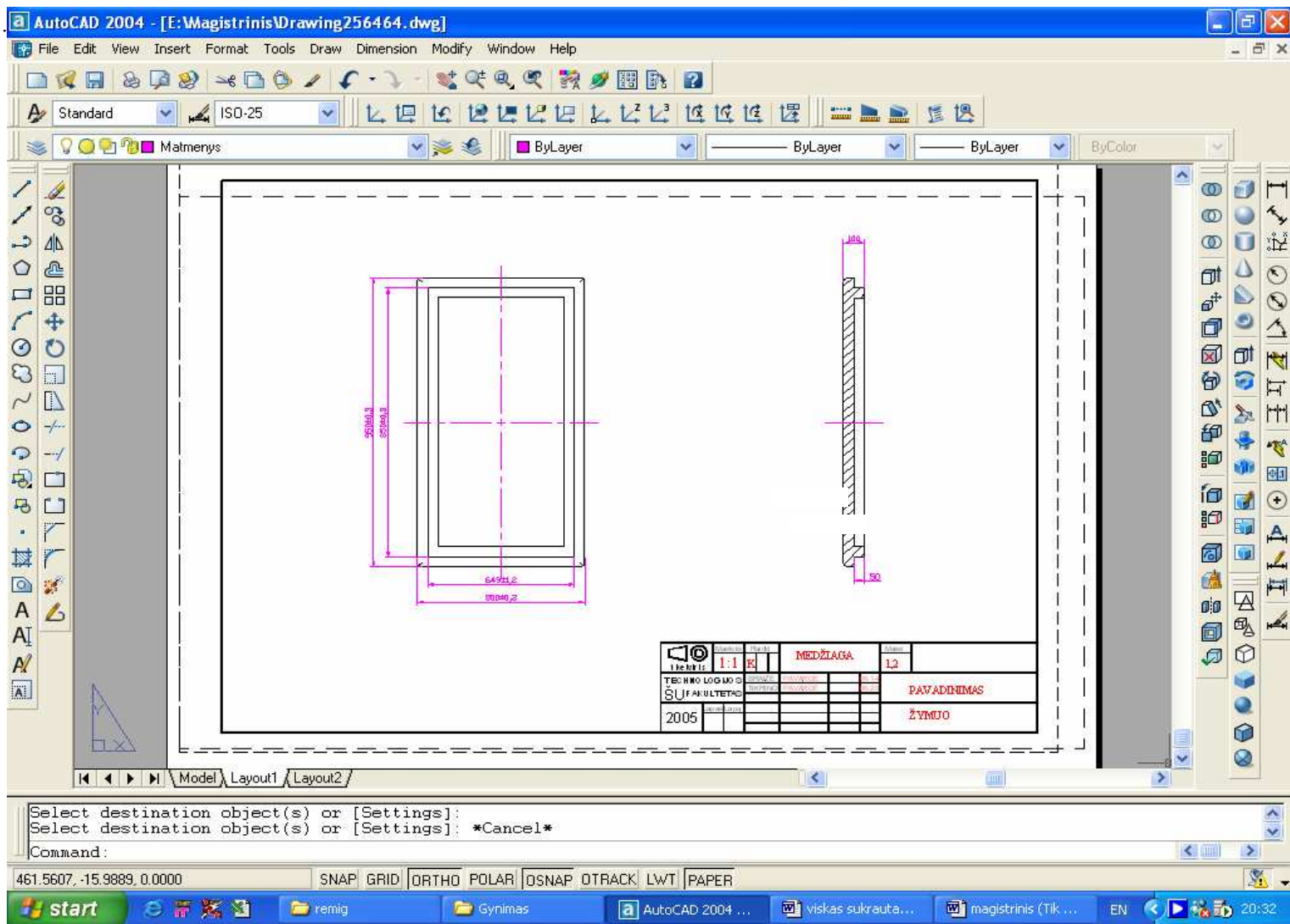
1.  $\Delta x$  – ašių nesutapimo  $x$  kryptimi paklaidą.
2.  $\Delta y$  – ašių nesutapimo  $y$  kryptimi paklaidą.
3.  $\varphi$  – kontūrų kampinio nesutapimo kampinę paklaidą.
4.  $\varphi_{leist}$  – leistinąją ašių nesutapimo paklaidą, kuriai esant dar galimas kontūrų sutapimas.
5.  $\Delta x_{leist}$  – leistinąją  $x$  kryptimi paklaidą.
6.  $\Delta y_{leist}$  – leistinąją  $y$  kryptimi paklaidą.

Automatinio plokščių detalių rinkimo patikimumas priklauso nuo pasirinktų darbo režimų. (18 pav.):

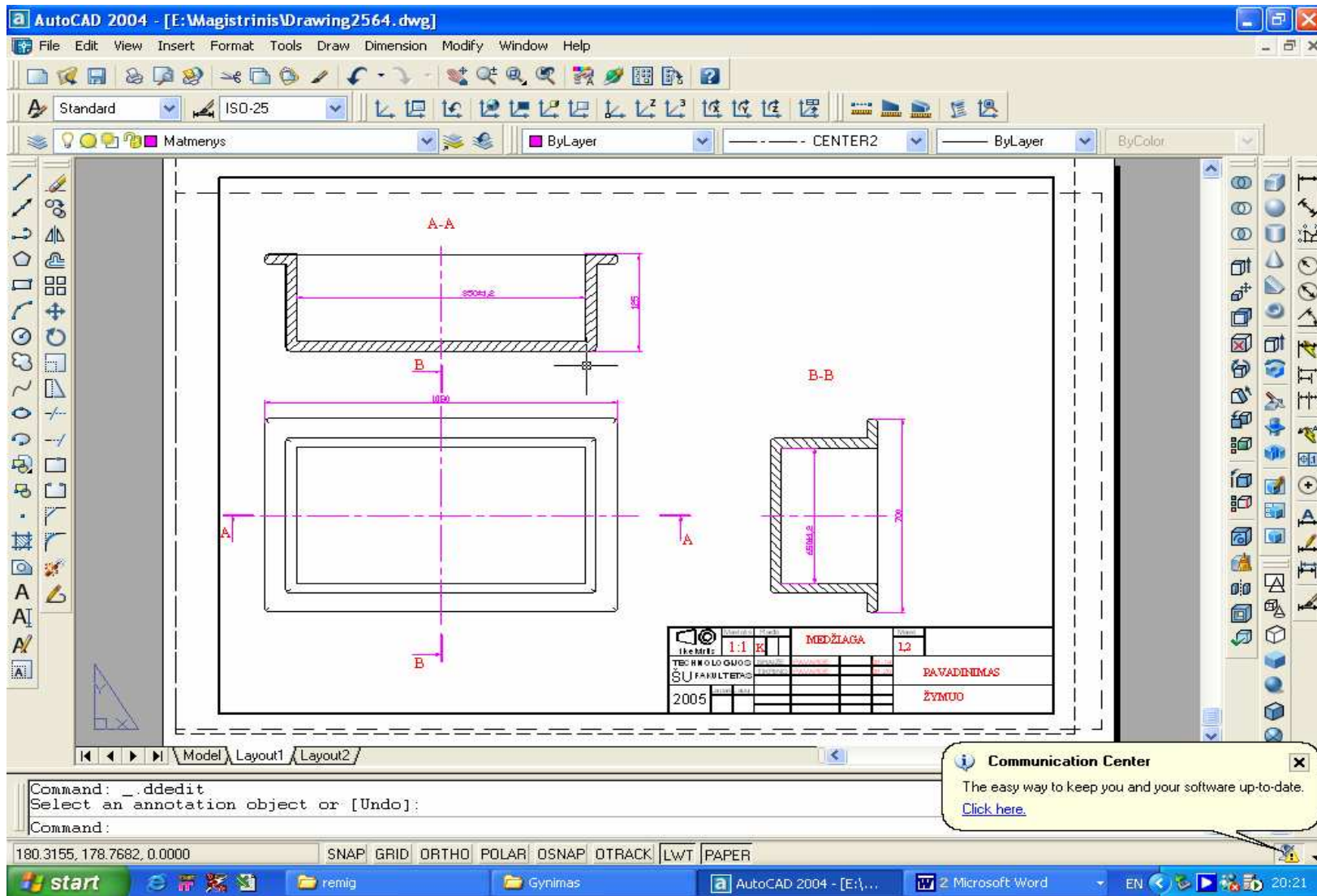
Čia  $XOY$  – nejudamos detalės padėties koordinatės. Judama detalė aprašoma koordinatėmis  $X'O'Y'$  ir juda  $\dot{x}$  ir  $\dot{y}$  greičiais bei atlieka sukamuosius judesius.



18 pav. Rinkimo schema<sup>E</sup>



19 pav. Apatinės plokštės brėžinys atliktas AutoCad 2004 terpėje



20 pav. Viršutinio dantelio brėžinys atliktas AutoCad2004 terpėje

Renkant plokščias detales prisideda dar vienas žingsnis t.y. posūkis apie ašį Z, ko nėra surenkant cilindrinės detales. Renkant detalės viena detalė juda pastoviu greičiu, o kita užtvirtinama nejudamai. Rinkimas vykdomas Z ašies kryptimi.

Turime dvi plokščias neapvalaus profilio detales, kurias reikia sujungti viena su kita.

Detalių duomenys paimti 19 ir 20 paveiksle pateiktų brėžinių

Vidinės spintos ilgis  $l=850$  mm ir plotis  $b=650$  mm Apkirtimo šablono ilgis  $l_1=849$ mm ir plotis  $b_1=649$  mm

Apskaičiuojame leistinąsias paklaidas x ir y kryptimis (11)

$$\Delta x_{leist.} = (l - l_1) / 2 = (850 - 849) / 2 = 0.5mm \quad (1)$$

$$\Delta y_{leist.} = (b - b_1) / 2 = (650 - 649) / 2 = 0,5mm \quad (2)$$

Kampą  $\varphi$  leistiną galima apskaičiuoti pagal šia formulę (12):

$$\arcsin \varphi_{leist.} = 2a / b \quad [3]$$

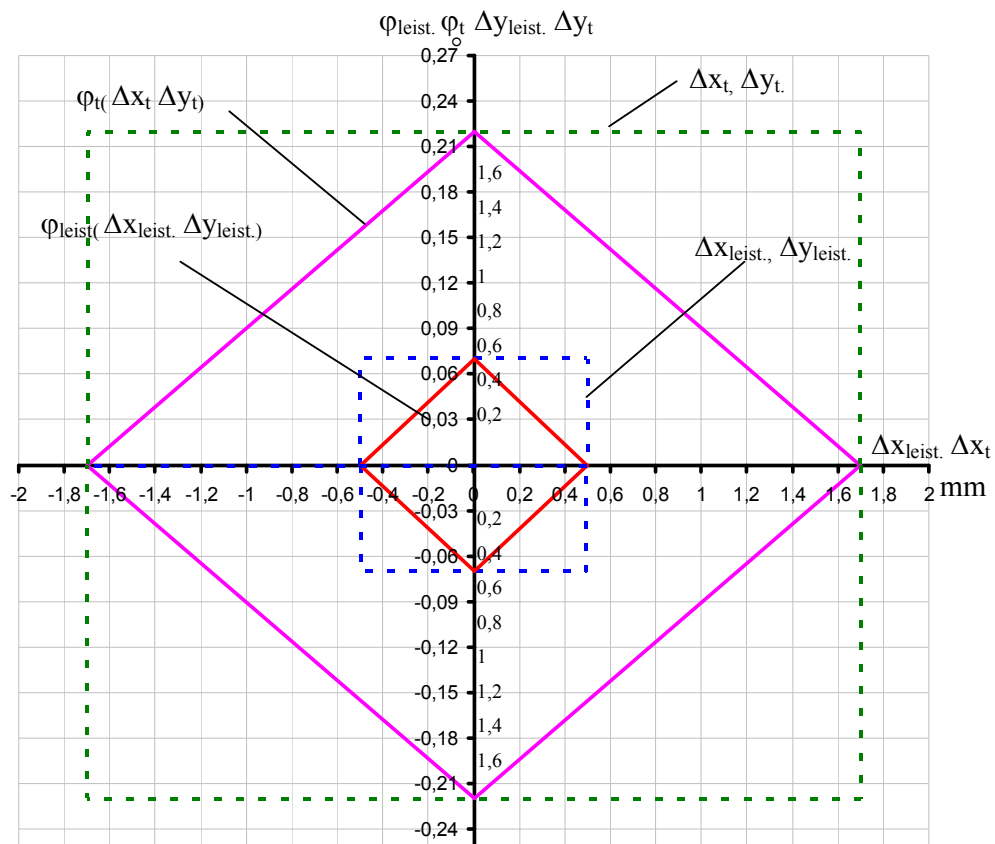
kur  $a$  – mažiausias tarpelis;  $b$  – sujungiamos detalės kraštinės ilgis;

$$\arcsin \varphi_{leist.} = (2 * 0,5 / 849) = 0,0012 \quad \varphi = 0,07^\circ$$

Apskaičiuosime ribas, kuriomis galimas susijungimas pagal duotas tolerancijas

$$\Delta x_t = (851,2 - 847,8) / 2 = 1,7mm \quad \Delta y_t = (651,2 - 647,8) / 2 = 1,7mm$$

$$\varphi = 0,22^\circ$$



21 pav. Paklaidų skaičiavimo grafikas, kurioms esant galimas kontūrų sutapimas

Rinkimo laikas priklauso nuo detalės ašinių nesutapimo paklaidų dydžio ir greičio.

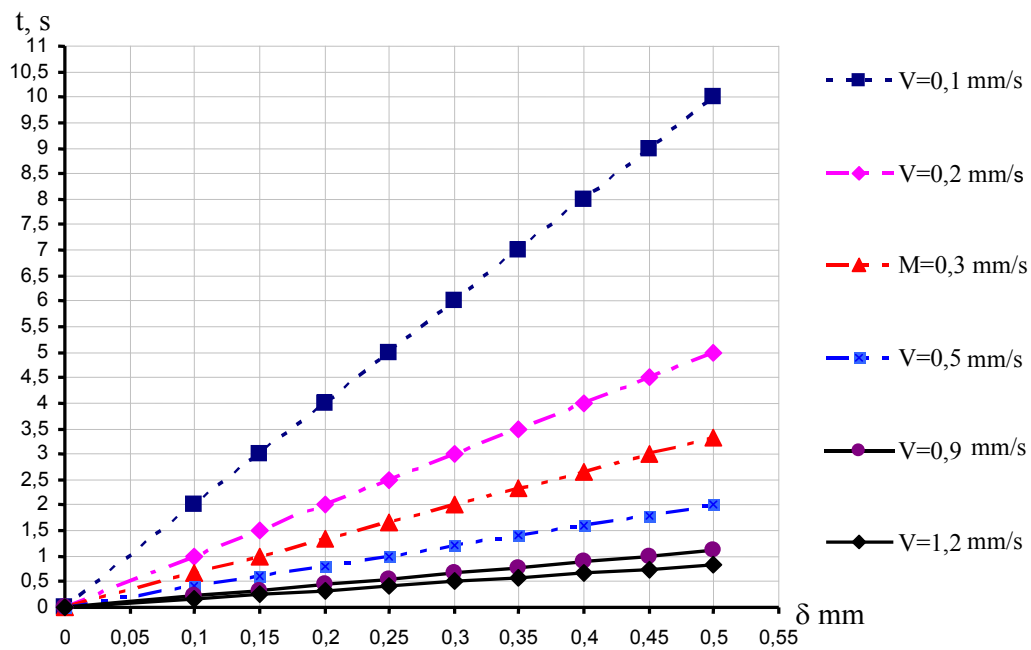
Renkamų detalių kontūrų sutapimo laiką galime apskaičiuoti pagal 4 išraišką (12):

$$t = \frac{2\Delta}{v} \quad (4)$$

Skaičiavimo rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Renkamų detalių kontūrų sutapimo laiko rezultatai.

$\Delta$ mm \ V mm/s	0,10	0,20	0,30	0,50	0,90	1,20
0,1	2,00	1,00	0,667	0,40	0,22	0,17
0,15	3,00	1,50	1,00	0,60	0,33	0,250
0,20	4,00	2,00	1,33	0,80	0,44	0,33
0,25	5,00	2,50	1,67	1,00	0,56	0,41
0,30	6,00	3,00	2,00	1,20	0,67	0,50
0,35	7,00	3,50	2,33	1,40	0,78	0,58
0,40	8,00	4,00	2,67	1,60	0,89	0,67
0,450	9,00	4,50	3,00	1,00	1,00	0,75
0,50	10,00	5,00	3,33	2,00	1,11	0,83



22 pav. Renkamų detalių sutapimo laiko priklausomybė nuo laiko ir paklaidų ir greičio

Renkant detalės yra nagrinėjami šie atvejai:

- 1) Didžiausia suminė paklaida keičiasi nuo:  $\Delta x = -\Delta_{leist}$  iki  $\Delta_{leist} = 0$ ;
- 2) Didžiausia suminė paklaida keičiasi nuo:  $\Delta x = 0$  iki  $\Delta x = -\Delta_{leist}$ .

Šiuo atveju leistinas kampo posūkis kinta nuo 0 iki  $\varphi_{leis\ max}$  (kai  $\Delta x = 0$ ) ir nuo  $\varphi_{leis\ max}$  iki  $\varphi_{leis} = 0$  kai ( $\Delta x = -\Delta_{leist}$ ). Renkamų detalių kontūrų sutapimo laika galime apskaičiuoti pagal 4 formulę.

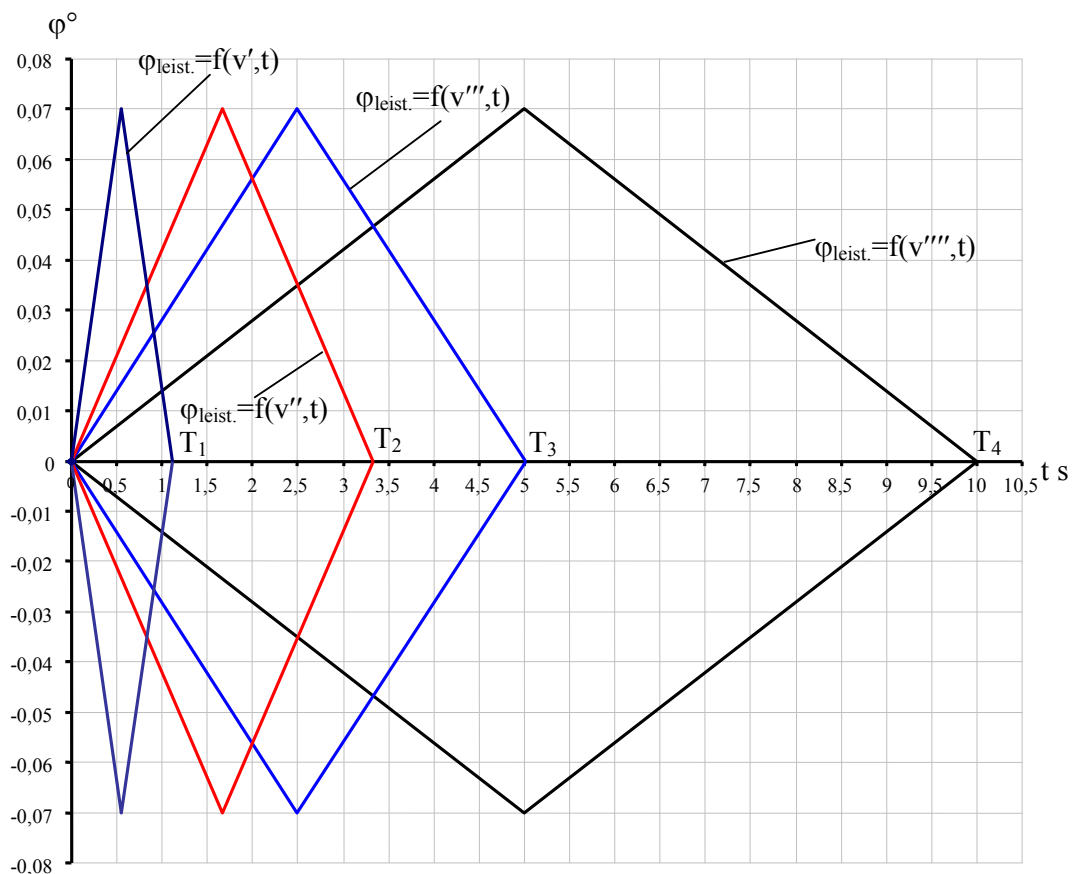
Renkant neapvalaus profilio detalės reikia atlikti renkamų detalių ašių ir kontūrų sutapimą.

Žinodami didžiausią kontūrų nesutapimo kampinę paklaidą laiko momentu  $t_0$  kai  $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{leist}$  galime apskaičiuoti rinkimo laiką  $t_s$ .

Detalėms sujungti reikia, kad esant  $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\Sigma\ max}$ , per laiką  $t=t_0$  pakeisti kampą dydžiu (12):

$$\varphi = -\varphi_{\Sigma} \cos(\omega t) \quad (5)$$

Pradiniu laiko momentu priimame, kad  $t=t_0=0$  Rinkimas įvyksta per laiką  $t_{01}$  kai  $\varphi_{\Sigma} \leq \varphi_{leist}$ .

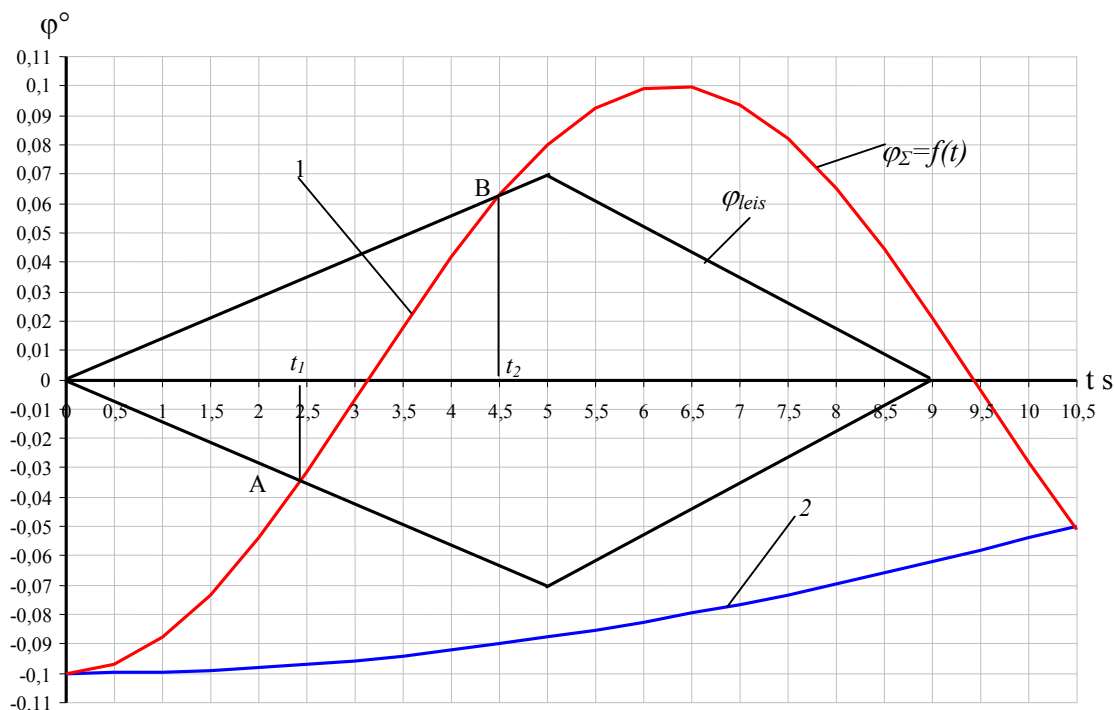


23 pav.  $\varphi_{leist}$ . Skaičiavimas

Iš grafiko (23 pav.) vaizdžiai matyti, kad laikas  $T$  per kurį gali įvykti detalės susijungimas, keičiasi keičiantis greičiui.

Čia greitis  $v'=0,9$  mm/s;  $v''=0,3$  mm/s;  $v'''=0,2$  mm/s;  $v''''=0,1$  mm/s;

.Sujungimo laiką  $t_s$  galime rasti grafiniu būdu. Tuo tikslu sutapdiname funkcijų  $\varphi_{leist} = f(t)$  ir  $\varphi_{\Sigma} = f(t)$  grafikus viename paveiksliuke (24 pav.).



24 pav. Kontūrų sutapdinimo grafikas

Iš 24 paveiksle. pateikto grafiko matome, kad detalių sujungimas įvyks kai grafiko funkcija  $\varphi_{\Sigma} = f(t)$  randasi viduje kreivės  $\varphi_{leist} = f(t)$  t.y tarpe tarp taškų A ir B.

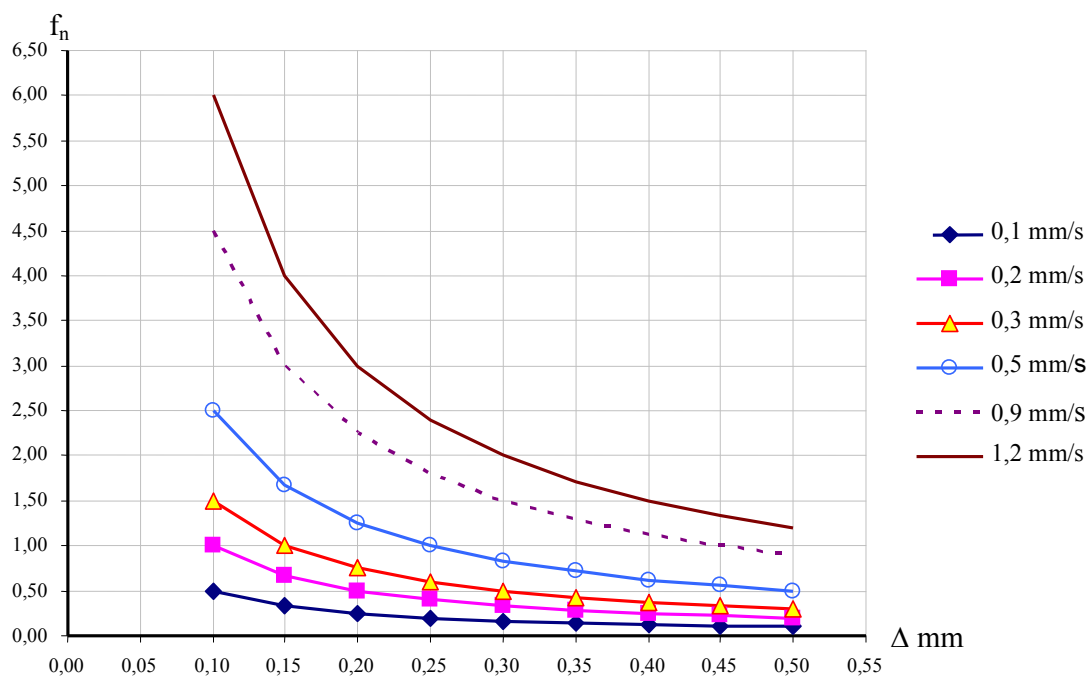
Rinkimas įvyksta per laiko tarpą  $t_s = t_2 - t_1$ . Mažinant dažnį surinkimas gali neįvykti (2 kreivė), todėl reikia žinoti optimalų dažnio režimą, kurį galime apskaičiuoti taip (12):

$$f_n = \frac{V}{2\Delta_{leist}} \quad (6)$$

Apskaičiuotos optimalios dažnio reikšmės kintant greičiui ir paklaidoms pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė Optimalios dažnio reikšmės

$V$ mm/s $\Delta$ mm	0,10	0,20	0,30	0,50	0,90	1,20
0,10	0,50	1,00	1,50	2,50	4,50	6,00
0,15	0,33	0,67	1,00	1,67	3,00	4,00
0,20	0,25	0,50	0,75	1,25	2,25	3,00
0,25	0,20	0,40	0,60	1,00	1,80	2,40
0,30	0,17	0,33	0,50	0,83	1,50	2,00
0,35	0,14	0,29	0,43	0,71	1,29	1,71
0,40	0,13	0,25	0,38	0,63	1,13	1,50
0,45	0,11	0,22	0,33	0,56	1,00	1,33
0,50	0,10	0,20	0,30	0,50	0,90	1,20



25 pav. Optimalaus dažnio priklausomybė nuo greičio

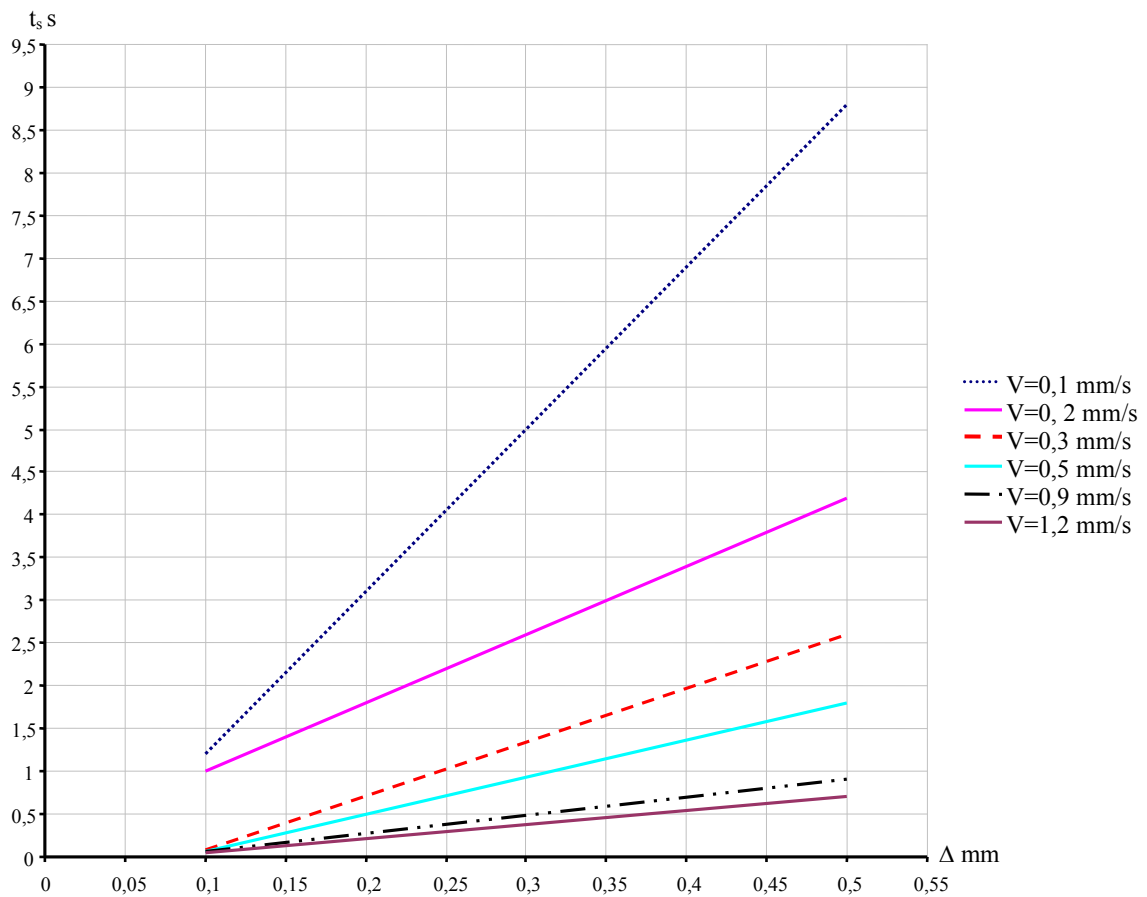
Rinkimo laikas  $t_s$  buvo apskaičiuotas analitiškai. Apskaičiuoti rinkimo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Rinkimo laiko skaičiavimo programa pateikta priede. (Priedas 2)



3 lentelė Rinkimo laiko rezultatai.

$V$ mm/s \ $\Delta$ mm	0,10	0,20	0,30	0,50	0,90	1,20
0,10	1,1	0,9	0,28	0,15	0,11	0,09
0,15	2,0625	1,325	0,57	0,3563	0,1838	0,1637
0,20	3,025	1,75	0,86	0,5625	0,2575	0,2375
0,25	3,9875	2,175	1,15	0,7687	0,3312	0,3113
0,30	4,59	2,6	1,44	0,975	0,4050	0,385
0,35	5,9125	3,025	1,73	1,1812	0,4787	0,4588
0,40	6,875	3,45	2,02	1,3875	0,5525	0,5325
0,45	7,8375	3,875	2,31	1,5938	0,6263	0,6063
0,50	8,8	4,3	2,6	1,8	0,712	0,68



26 pav. Rinkimo laiko priklausomybės nuo greičio ir paklaidų

Pagal apskaičiuotus parametrus priimu, plokščias detales sujungti pramoniniu robotu AR – W200 (150) CL – SR 300, kurio pozicionavimo tikslumas nuo 0,5mm iki 2 mm, ir maksimalus greitis 1,2 mm/s, keliamoji galia iki 5 kg , keturių laisvumo laipsnių[20].

### **Išvados**

1. Greitėjant greičiui rinkimo laikas trumpėja, bet didėjant rinkimo paklaidoms rinkimo laikas didėja.
2. Plokščių detalių rinkimas yra sudėtingesnis, nes reikia detales sutaptinti dvejose koordinačių ašyse x ir y ir taip pat pasukti kampu apie ašį Z.

### 3. ROBOTO JUDĖJIMO TRAJEKTORIJS SKAIČIAVIMAS

Norint paspartinti gamybą reikia automatizuoti rinkimo etapus. Šiuolaikinėje technikoje labai efektyvus rinkimo darbų automatizavimas pramoninio roboto pagalba. Robotas – tai automatiškai veikiantis, perprogramuojamas įrenginys, imituojantis žmogaus rankos judesius ir intelektualines funkcijas. Plačiai paplitę manipuliaciniai robotai, kurių vykdymo organas yra manipulatorius. Be jo, manipuliacinis robotas turi valdymo įrenginį, kurį sudaro jautrieji įtaisai (sensoriai), informacijos apdorojimo ir saugojimo įrenginiai, ir manipulatoriaus pavarų bei roboto pervežimo pavarų valdymo įrenginiai.

Manipulatorius mechanikos požiūriu – tai sudėtingas, erdvinis, kelių judrumo laipsnių valdomas mechanizmas, sudarytas iš kinematinų porų. Manipulatoriaus gale yra roboto darbo įtaisas. Judesiai manipulatoriui suteikiami pavaromis, kurios montuojamos ant judamųjų grandžių arba ant nejudamo pagrindo. Variklių judesiai manipulatoriaus grandims perduodami įvairiais perdavimo mechanizmais. Kai varikliai montuojami ant pagrindo perdavimo mechanizmo sistema būna sudėtinga.

Manipulatoriaus judrumo laipsniai skirstomi į perkėlimo ir orientavimo. Perkėlimo judrumo laipsniais atliekamas manipuluojamo objekto pernešimas darbo zonoje, o orientavimo judrumo laipsniais – darbo įtaiso orientavimas.

Robotai yra valdomos sistemos, jie turi būti tikslūs ir greitaeigiai, atliekant reikalingus objekto manipuliavimo veiksmus. Roboto darbo įtaisas privalo judėti numatyta trajektorija tam tikrais greičiais ir pagreičiais, atlikti reikalingus orientavimo judesius  $x$ ,  $y$  ir  $z$  kryptimis.

Manipuliatorių konstravimo procesas yra iteracinio pobūdžio: pradžioje, remiantis techniniais reikalavimais, konstruktorius parenka kinematinę schemą ir svarbiausius geometrinius parametrus. Po to sprendžiami atvirkštiniai kinematikos ir dinamikos uždaviniai, nustatomi reikalavimai pavaroms ir valdymo sistemai, konstruojamos pavaros.

Tiesioginis manipulatoriaus padėčių uždavinys sprendžiamas norint nustatyti išėjimo grandies (griebtuvo) padėtis duotosios absoliutinės koordinačių sistemos atžvilgiu. Apibendrintosios grandžių koordinatės t.y. posūkiai ar poslinkiai turi būti žinomi. Pagal žinomas apibendrintąsias koordinates, nustatomos griebtuvo ar kito manipulatoriaus grandies taško padėtys. Tokio pobūdžio uždaviniai dažniausiai sprendžiami vektorinės algebros pagalba. Kiekvienai manipulatoriaus grandžiai yra nustatoma su ja susieta koordinačių sistema. Sprendžiant tiesioginį padėčių uždavinį apskaičiuojama transformavimo matrica, nustatanti ryšį tarp absoliutinės ir susietųjų koordinačių sistemų.

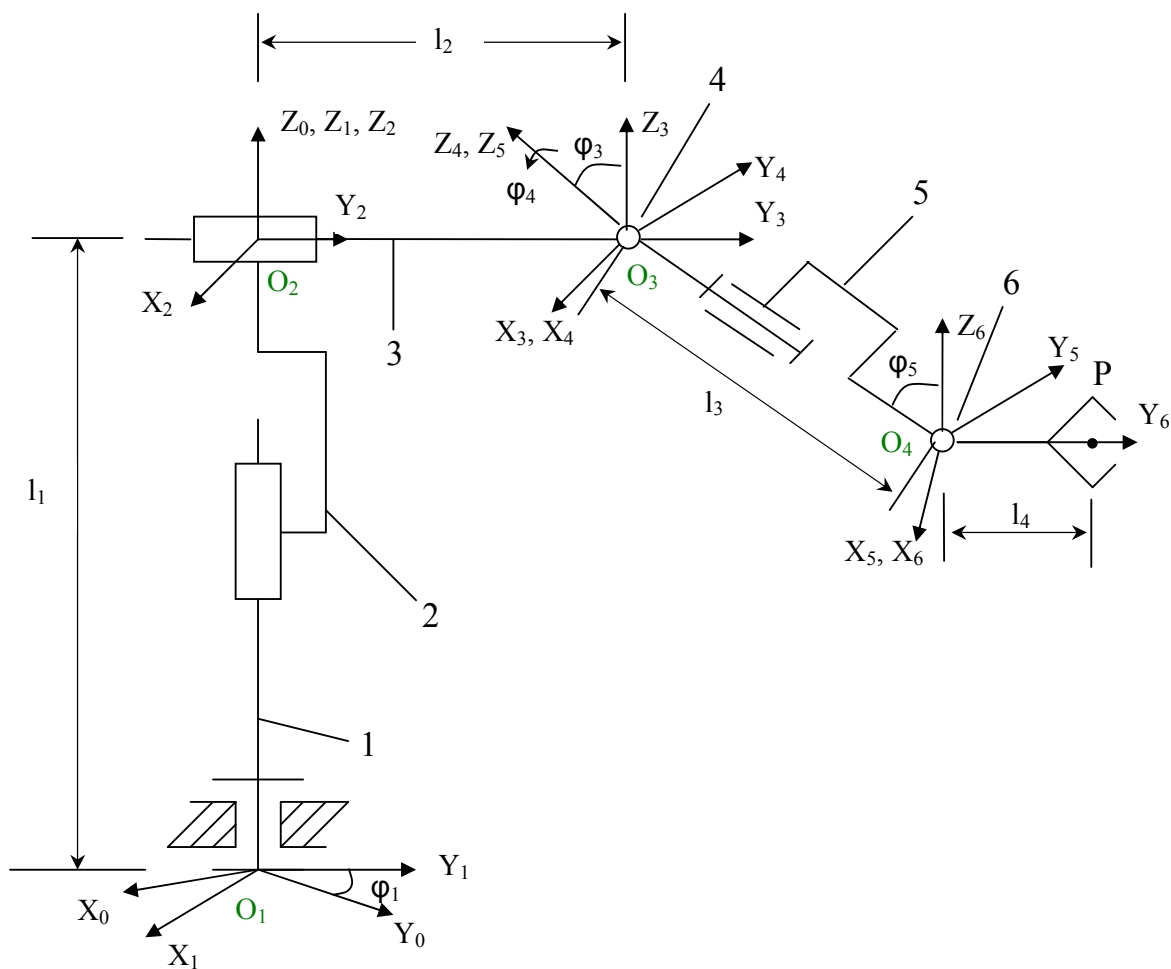
Šis uždavinys išskyla projektuojant manipulatorius, nustatant jo griebtuvo darbo zoną. Tiesioginis manipulatoriaus padėčių uždavinys leidžia nustatyti manipulatoriaus

kinematinų porų ir grandžių ašių vienetinių vektorių projekcijas (koordinates) absoliutinėje koordinacių sistemoje pagal manipulatoriaus grandžių apibendrintųjų koordinacių reikšmes.

### 3.1 Roboto judėjimo trajektorijos skaičiavimas vektoriniu būdu

#### 3.1.1 Manipulatoriaus struktūrinė analizė

Judrumo laipsni nustatymas, konstrukcinės schemos nubraižymas ir grandžių sužymėjimas, koordinacių sistemų susiejimas su manipulatoriaus grandimis. (27 pav.)



27 pav. Roboto grandžių koordinacių nustatymas

#### 3.1.2 Manipulatoriaus analizė

Manipuliatorių sudaro dvi slenkamosios ir keturios sukamosios grandys. Su nejudamu pagrindu susiejama nejudama koordinacių sistema  $O_1 x_0 y_0 z_0$ .

Su grandimi 1 susiejama sistema  $O_1x_1y_1z_1$ , kuri yra  $O_1x_0y_0z_0$  atžvilgiu pasukta kampu  $\varphi_1$  apie  $z_0$  ašį.

Su grandimi 2 siejama sistema  $O_2x_2y_2z_2$ , kurios pradžia sistemos atžvilgiu yra perstumta atstumu  $O_1O_2$

$$O_1O_2^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Su grandimi 3 siejama sistema  $O_3x_3y_3z_3$ , kurios pradžia sistemos atžvilgiu yra perstumta atstumu  $O_2O_3$

$$O_2O_3^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 \\ l_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Su grandimi 4 siejama sistema  $O_3x_4y_4z_4$  ir pasukta  $O_3x_3y_3z_3$  atžvilgiu kampu  $\varphi_3$  apie  $x_3$  ašį.

Su grandimi 5 siejama sistema  $O_4x_5y_5z_5$ , kurios pradžia sistemos atžvilgiu yra perstumta atstumu  $O_3O_4$  ir pasukta  $O_3x_4y_4z_4$  atžvilgiu kampu  $\varphi_4$  apie  $z_4$  ašį.

$$O_3O_4^{(4)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -l_3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Su grandimi 6 siejama sistema  $O_4x_6y_6z_6$ , kuri pasukta  $O_4x_5y_5z_5$  atžvilgiu kampu  $\varphi_5$  apie  $x_5$  ašį.

Griebtuvo taško P koordinatės  $O_4x_p y_p z_p$  sistemoje

$$O_4P^{(6)} = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix}, y_p = l_4 \rightarrow O_4P^{(6)} = \begin{bmatrix} x_p \\ l_4 \\ z_p \end{bmatrix} \quad (10)$$

### 3.1.3 Judančių su roboto grandimis koordinatinių sistemų posūkio matricų apskaičiavimas absoliutinės koordinatinių sistemos atžvilgiu

Judančių koordinatinių sistemų posūkio matricos absoliutinės koordinatinių sistemos atžvilgiu.

Koordinatinių sistema  $O_1x_1y_1z_1$  pasukta sistemos  $O_1x_0y_0z_0$  atžvilgiu kampu  $\varphi_1$  apie  $z_0$  ašį:

$$\bar{R}_{01} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (11)$$

Koordinačių sistemų  $O_2x_2y_2z_2$  ir  $O_1x_1y_1z_1$  ašys yra lygiagrečios:

$$\bar{R}_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \bar{I}; \quad (12)$$

Koordinačių sistemų  $O_2x_2y_2z_2$  ir  $O_3x_3y_3z_3$  ašys yra lygiagrečios:

$$\bar{R}_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \bar{I}; \quad (13)$$

Koordinačių sistema  $O_3x_4y_4z_4$  pasukta sistemos  $O_3x_3y_3z_3$  atžvilgiu kampu  $\varphi_3$  apie  $x_3$  ašį:

$$\bar{R}_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{bmatrix}; \quad (14)$$

Koordinačių sistema  $O_4x_5y_5z_5$  pasukta sistemos  $O_3x_4y_4z_4$  atžvilgiu kampu  $\varphi_4$  apie  $z_4$  ašį:

$$\bar{R}_{45} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_4 & -\sin \varphi_4 & 0 \\ \sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (15)$$

Koordinačių sistema  $O_4x_6y_6z_6$  pasukta sistemos  $O_4x_5y_5z_5$  atžvilgiu kampu  $\varphi_5$  apie  $x_5$  ašį:

$$\bar{R}_{56} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_5 & -\sin \varphi_5 \\ 0 & \sin \varphi_5 & \cos \varphi_5 \end{bmatrix}; \quad (16)$$

Taigi posūkio matricos absoliutinės koordinačių sistemos atžvilgiu yra tokios:

$$R_{01}; \quad R_{02} = R_{01} \cdot R_{12}; \quad R_{03} = R_{01} \cdot R_{12} \cdot R_{23}; \quad R_{04} = R_{01} \cdot R_{12} \cdot R_{23} \cdot R_{34}; \\ R_{05} = R_{01} \cdot R_{12} \cdot R_{23} \cdot R_{34} \cdot R_{45}; \quad R_{06} = R_{01} \cdot R_{12} \cdot R_{23} \cdot R_{34} \cdot R_{45} \cdot R_{56} \quad (17)$$

$$\bar{R}_{01} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (18)$$

$$\bar{R}_{02} = \bar{R}_{01} \cdot \bar{R}_{12} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\bar{R}_{03} = \bar{R}_{01} \cdot \bar{R}_{12} \cdot \bar{R}_{23} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$\bar{R}_{04} = \bar{R}_{01} \cdot \bar{R}_{12} \cdot \bar{R}_{23} \cdot \bar{R}_{34} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\bar{R}_{05} = \bar{R}_{01} \cdot \bar{R}_{12} \cdot \bar{R}_{23} \cdot \bar{R}_{34} \cdot \bar{R}_{45} =$$

$$\begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \cos \varphi_4 & -\sin \varphi_4 & 0 \\ \sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (22)$$

$$R_{06} = R_{01} \cdot R_{12} \cdot R_{23} \cdot R_{34} \cdot R_{45} \cdot R_{56} =$$

$$\begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \cos \varphi_4 & -\sin \varphi_4 & 0 \\ \sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_5 & -\sin \varphi_5 \\ 0 & \sin \varphi_5 & \cos \varphi_5 \end{bmatrix}; \quad (23)$$

### 3.1.4 Griebtuvo taško P koordinačių absoliutinėje koordinačių sistemoje apskaičiavimas

Nustatysime griebtuvo P absoliutines koordinates  $O_1x_0y_0z_0$ . Šio taško koordinatės lokalinėje sistemoje  $O_4x_6y_6z_6$  žinomos. Taško P vektorius  $r_p=OP$

Taigi taško P absoliutinėse koordinatėse vektorius yra lygus

$$\bar{r}_p = \bar{O}_1P = \bar{O}_1\bar{O}_2^{(0)} + \bar{O}_2\bar{O}_3^{(0)} + \bar{O}_3\bar{O}_4^{(0)} + \bar{O}_4P \quad (24)$$

$$\bar{O}_1\bar{O}_2^{(0)} = \bar{R}_{01} \cdot \bar{O}_1\bar{O}_2^{(1)} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l_1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\bar{O}_2\bar{O}_3^{(0)} = \bar{R}_{03} \cdot \bar{O}_2\bar{O}_3^{(2)} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ l_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$\bar{O}_3\bar{O}_4^{(0)} = \bar{R}_{04} \cdot \bar{O}_3\bar{O}_4^{(3)} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -l_3 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\bar{O}_4P^{(0)} = \bar{R}_{06} \cdot \bar{O}_4P^{(4)} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi_4 & -\sin \varphi_4 & 0 \\ \sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_5 & -\sin \varphi_5 \\ 0 & \sin \varphi_5 & \cos \varphi_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_p \\ l_4 \\ z_p \end{bmatrix} \quad (28)$$



Vektoriaus  $\overline{r}_p = O_1P$  koordinatės absoliutinėje sistemoje yra tokios:

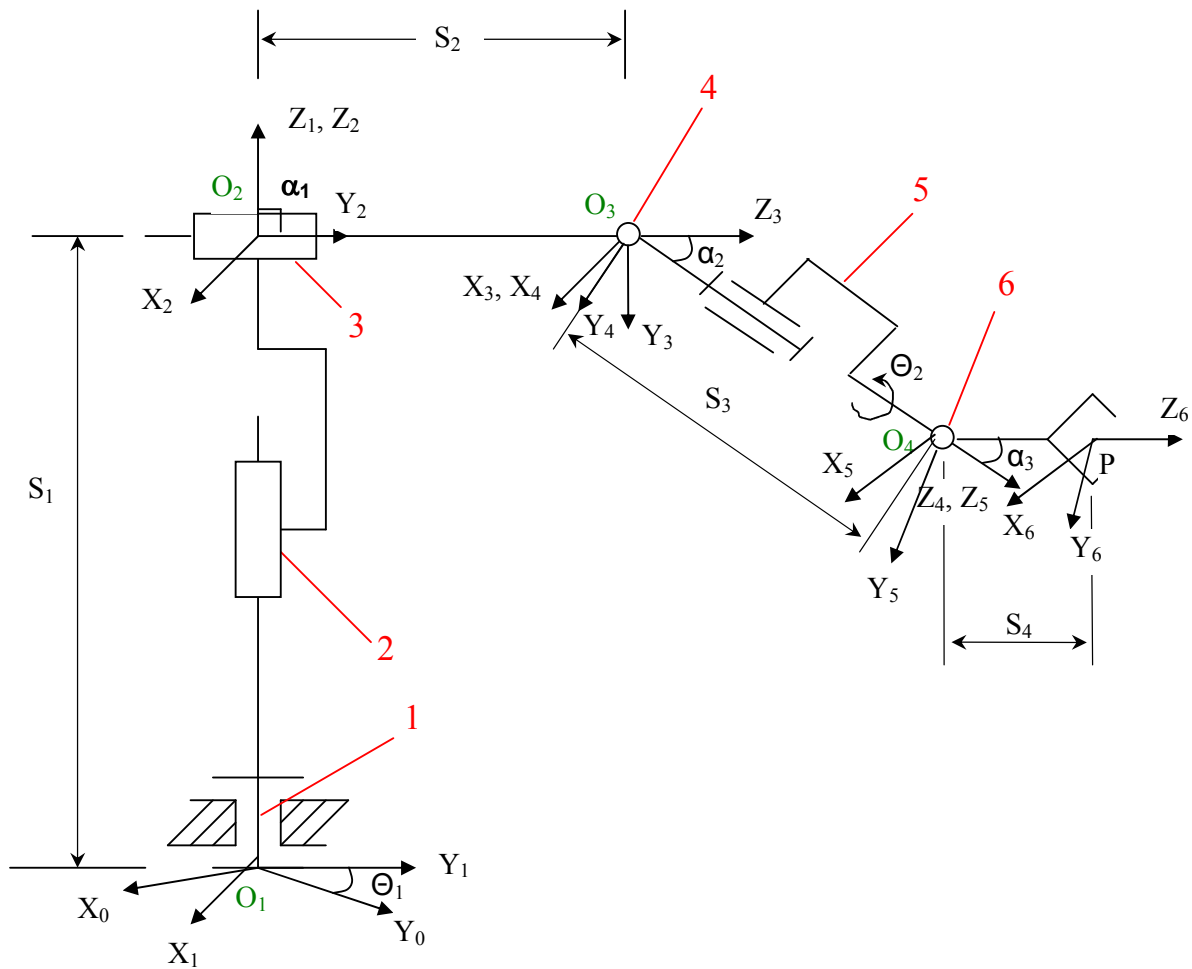
$$\begin{aligned}
 \overline{r}_p &= \overline{O_1P} = \overline{O_1O_2}^{(0)} + \overline{O_2O_3}^{(0)} + \overline{O_3O_4}^{(0)} + \overline{O_4P}^{(0)} = \\
 &\begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ l_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ l_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \\
 &\begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -l_3 \end{bmatrix} + \\
 &\begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & -\sin \varphi_3 \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{bmatrix} \\
 &\cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi_4 & -\sin \varphi_4 & 0 \\ \sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_5 & -\sin \varphi_5 \\ 0 & \sin \varphi_5 & \cos \varphi_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_p \\ l_4 \\ z_p \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(29)

## 3.2 Roboto judėjimo trajektorijos skaičiavimas homogeniniu koordinatinių pagalba

### 3.2.1 Manipulatoriaus struktūrinė analizė

Judrumo laipsnių nustatymas, konstrukcinės schemos nubraižymas ir grandžių sužymėjimas, koordinatinių sistemų susiejimas su manipulatoriaus grandimis. (28 pav.)



28 pav Roboto grandžių koordinatinių nustatymas

Kinematinė pora	Kinematinės poros tipas	Grandies numeris	Parametrai			
			$\Theta$	$\alpha$	S	a
0,1	Posūkio	1	$\Theta_1$	0	0	0
1,2	Poslinkio	2	0	0	$S_1$	0
2,3	Poslinkio	3	0	$\alpha_1$	$S_2$	0
3,4	Posūkio	4	0	$\alpha_2$	0	0
4,5	Posūkio	5	$\Theta_2$	0	$S_3$	0
5,6	Posūkio	6	0	$\alpha_3$	$S_4$	0

### 3.2.2 Manipulatoriaus analizė

Remiantis sudaryta lentelė parašysime  ${}^{i-1}\bar{A}_i$  tipo matricas:

${}^0A_1$  – matricą sudaro: posūkis apie  $z_0$  ašį kampu  $\Theta_1$

$${}^0\bar{A}_1 = \begin{bmatrix} \cos(\Theta_1) & -\sin(\Theta_1) & 0 & 0 \\ \sin(\Theta_1) & \cos(\Theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

${}^1A_2$  – matricą sudaro: poslinkis atstumu  $S_1$  ašimi  $z_1$

$${}^1\bar{A}_2 = \bar{T}_{z_1, S_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (31)$$

${}^2A_3$  – matricą sudaro: poslinkis atstumu  $S_2$  ašimi  $z_2$  ir posūkis apie  $x_3$  ašį kampu  $\alpha_1$

$${}^2\bar{A}_3 = \bar{T}_{z_2, S_2} \cdot \bar{T}_{x_3, \alpha_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_1) & -\sin(\alpha_1) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (32)$$

${}^3A_4$  – matricą sudaro: posūkis apie  $x_4$  ašį kampu  $\alpha_2$

$${}^3\bar{A}_4 = \bar{T}_{x4,\alpha_2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_2) & -\sin(\alpha_2) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (33)$$

${}^4A_5$  — matricą sudaro: posūkis apie  $z_4$  ašį kampu  $\Theta_2$  poslinkis atstumu  $S_3$  ašimi  $z_4$

$${}^4\bar{A}_5 = \bar{T}_{z4,\Theta_2} \cdot \bar{T}_{z4,S_3} = \begin{bmatrix} \cos(\Theta_2) & -\sin(\Theta_2) & 0 & 0 \\ \sin(\Theta_2) & \cos(\Theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (34)$$

${}^5A_6$  — matricą sudaro: poslinkis atstumu  $S_4$  ašimi  $z_5$  ir posūkis apie ašį  $x_6$  kampu  $\alpha_3$

$${}^5\bar{A}_6 = \bar{T}_{z5,S_4} \cdot \bar{T}_{x6,\alpha_3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_3) & -\sin(\alpha_3) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

$${}^0T_6 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5\bar{A}_6 = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

$${}^0T_6 = \begin{bmatrix} \cos(\Theta_1) & -\sin(\Theta_1) & 0 & 0 \\ \sin(\Theta_1) & \cos(\Theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_1) & -\sin(\alpha_1) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_2) & -\sin(\alpha_2) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\Theta_2) & -\sin(\Theta_2) & 0 & 0 \\ \sin(\Theta_2) & \cos(\Theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_3) & -\sin(\alpha_3) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (37)$$

## 4 ROBOTO VALDYMO PROGRAMA

Norint robotą patikimai valdyti turime žinoti roboto grandžių ilgius ir reikiama pasisukimo kampus.

Programinė įranga skirta roboto valdymui šiuo metu dar nėra populiari, todėl roboto valdymo programa sukursiu savo jėgomis. Programinės įrangos kūrimas savo jėgomis turi tokius privalumus:

- Sutaupomos lėšos. Priklausomai nuo organizacijos veiklos, kartais neverta įsigyti labai daug kainuojantį programinį paketą turintį daug galimybių, jei bus išnaudojama tik nedidelė dalis programinės įrangos galimybių;
- Programinę įrangą galima maksimaliai pritaikyti savo reikmėms, taip supaprastinant programinės įrangos naudojimą, minimizuojant laiko sąnaudas;
- Galima panaudoti kompiuterius naudojančius skirtingas operacines sistemas, kas leidžia naudoti ir tas operacines sistemas, kurioms trūksta komercinės programinės įrangos skirtos inžineriniams darbams. Dauguma alternatyvų Windows operacinei sistemai yra nemokamos.

Šiuo metu yra didelis programavimo aplinkų pasirinkimas. Šiuo metu populiariausia yra Windows operacinė sistema, todėl programas patogiau rašyti būtent šiai sistemai pasinaudojus vaizdinėm (visual) programavimo aplinkomis, kuriose realizuoti vaizdiniai vartotojo sąsajų kūrimo metodai, objektiškai orientuotas programavimas leidžia paprastai ir greitai kurti sudėtingą programinę įrangą. Tokiomis aplinkomis kaip Visual Basic, Delphi, Visual C++, galima greitai kurti programinę įrangą skirtą Windows operacinei sistemai. Žinoma tokie galingi programavimo įrankiai turi gana didelę kainą, tačiau šiuo metu yra platus pigios įrangos pasirinkimas, o taip pat ir visiškai nemokamos kaip Dev-C++.[14]

Programos tekstas pateiktas priede. (Priedas 1)

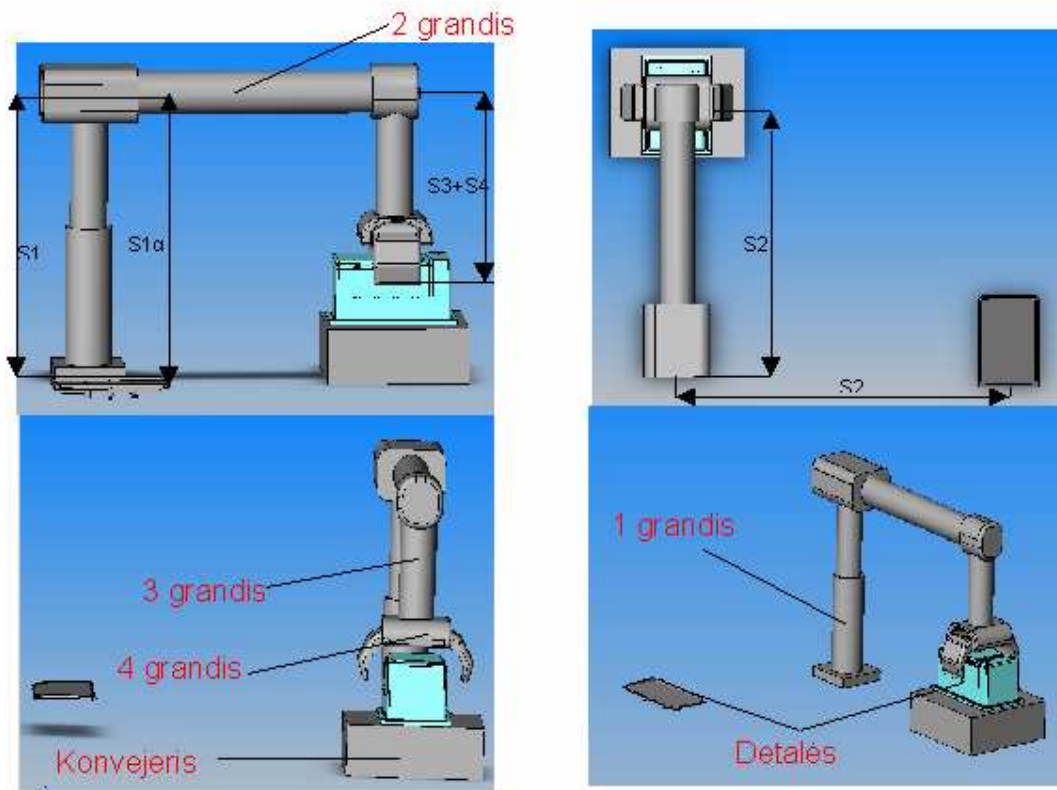
### 4.1 Roboto judėjimo trajektorijos skaičiavimas

Pradėdami skaičiavimą įvedame pradinius parametrus (29 pav.) pagal (30 pav.) pavaizduota rinkimo schemą ir spaudžiame skaičiuoti įvedus visus skaičiavimus gauname rezultatus. (31 pav.)

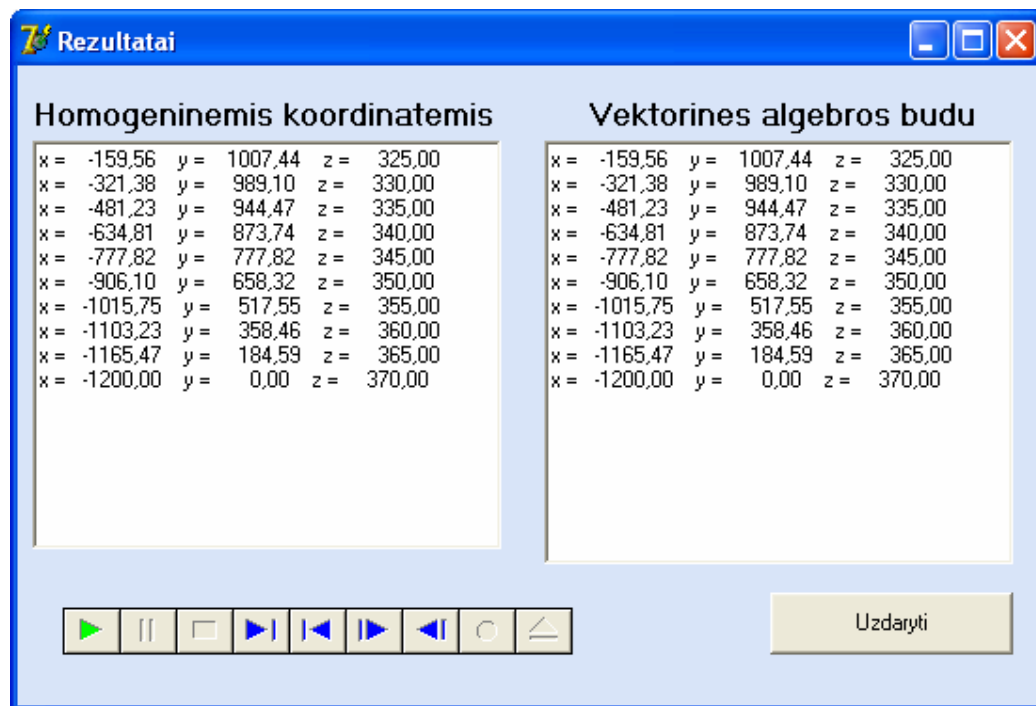
**7 Roboto valdymo programa**

Pirmos grandies ilgis 'S1'	870	Skaiciuoti	
Galinis ilgis 'Sg1' 'Sg1> S1'	920		
Antros grandies ilgis 'S2'	1000		Pagalba
Galinis ilgis 'S2g' 'Sg2> S2'	1200		Apie
Trecios grandies ilgis 'S3'	100	Uzdaryti	
Ketvirtos grandies ilgis 'S4'	450		
Kampas apie asi z	90		
kampas apie asi z1	90		
Zingsnis	10		

29 pav. Roboto trajektorijos skaičiavimo pradiniai duomenys



30 pav. Rinkimo schema



31 pav. Programos rezultatai

## IŠVADOS

1. Rezultatai gauti vektorinės algebros būdu ir homogeninėmis koordinatėmis sutampa, su apskaičiuotomis kritinėmis ribomis, todėl roboto valdymo programa sudaryta teisingai ir robotas judės pagal norimą trajektoriją.
2. Roboto valdymo programa buvo sudaryta Delphi aplinkoje. Jos pagalba galima valdyti robotą rinkimo darbuose, nepriklausomai nuo detalės gabaritų.
3. Taikyti šiuolaikinius kompiuterinius skaitinius analizės metodus labai efektyvu, tai užima nedaug laiko, rezultatai yra labai tikslūs, sutaupoma daug laiko ir lėšų.
4. Robotus tikslinga naudoti rinkimo darbuose kai detalių surinkimas vyksta pavojingoje žmogui aplinkoje.
5. Rinkimas plokščių detalių yra sudėtingesnis, nes neužtenka ašis sutapdinti dvejose  $x$  ir  $y$  ašyse, bet reikia pasukti kampu apie ašį  $Z$ .



## **SUMMARY**

This work analyses orientation and assembly methods for not cylindrical elements. Models of two assembly elements was created using Auto Cad 2004 software. Taking advantages and disadvantages of assembly methods into consideration, it was chosen to assemble components with industrial robot, because it is high speed, programmable device. Trajectory of robot movement was calculated using vector algebra and homogenous coordinates methods to ensure control reliability. The program was developed for robot control, using Delphi 7. The program can be applied not only for these two components.

## LITERATŪRA

1. B. Bakšys, H. Medekšas Mašinų gamybos automatizavimas – Vilnius „Mokslas“ 1988 320 psl
2. N. Puodžiūnienė. Vibracinio poslinkio tyrimas ir jo taikymas automatiniam surinkimui. – Kaunas: Technologija, 2002. – 143p
3. Яхимович В. А. Ориентирующие механизмы сборочных автоматов. Ориентирование методом поиска . Москва, 1975,. No.–5,с. 19 – 53
4. Ke Lin Du, Xinhan Huang, Min Wang Jianyuan Hu. Assembly robotics research a survey. International Journal of Robotics and Automation, Vol 14, No 4 1999, p 171 – 183
5. E.S. Kang and H.Z. Cho. Vibratory assembly of prismatic parts using neural networkbased positioning error estimation. Robotica (1995) volume 13 pp 185 – 193
6. Bronius Bakšys, Kęstutis Pilkauskas. Usage of vibrations for automatic assembly/ ISMM'97 international symposium "Machines and Mechanisms": September, 2-5, 1997, Belgrade, Yugoslavia. Belgrade IFToMM, 1997. p.4-7.
7. Thoben Rait. Parallelroboter fuer die automatisierte Mikromontage. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 8 Nr 758 Dueseldorf:VDI Verlag 1999.
8. А.с. СССР No. 248475. Устройство для сборки деталей некруглого поперечного сечения. /А. Н. Рабинович, О. Н. Вертоградов, В. А. Яхимович. – Опубликовано 10.07.1969//Б.И. - No. 23.
9. B. Bakšys, Henrikas Medekšas. Mechaninio apdirbimo ir surinkimo automatizavimas Mokymo priemone Vilnius 1984 – 78 psl
10. B. Bakšys Robotų mechanika
11. Mašinų gamybos technologinių procesų automatizavimas Laboratoriniai darbai Kaunas KPI 1985 – 85 psl
12. Я К Шопс Автоматизация сборочних процессов рига 1978 69 – 87
13. Gamal Lashin Rechnerunterstützte Bereitstellung von ungeordneten Kleinteilen für die automatisierte Montage - München [u.a.] : Hanser, 1993
14. Antanas Vidžiūnas. Delphi 6 Programavimas ir vaizdiniai komponentai Kaunas 2002 276 psL
15. G. Linß, Training Qualitätsmanagement Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag © 2003 Carl Hanser Verlag München Wien

16. Qualitätsmanagement für Ingenieure : mit 109 Tabellen sowie einer CD-ROM, u.a. mit "Qualitätsmanagement-Handbuch", Glossar, zahlreichen Audit-Checklisten, Tools und Funktionen Gerhard Linß. - München [u.a.] : Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl., 2002

17. Bronius Bakšys Robotų projektavimo pagrindai : mokymo priemonė; Kauno technologijos universitetas. Mašinų projektavimo katedra. Kaunas : Technologija, 1993. 138 p

18. <http://vmc.ppf.ktu.lt>

19. [www.hirata.de/produkte](http://www.hirata.de/produkte)

## PRIEDAI

### Priedas 1. Roboto judėjimo trajektorijos skaičiavimo programa

```
unit robotas;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls;
type
t = array [1..4,1..4] of real;
t_1 = array [1..3,1..3] of real;
t_3 = array [1..3] of real;
t2 = array of real;
TForm1 = class(TForm)
Button1: TButton;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Button2: TButton;
```

```

Button4: TButton;
Apie: TButton;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure ApieClick(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure MatricuDaugyba(a, b: t; VAR D: t);
procedure Matrica (ip : t2; VAR iss : t);
private
s1, //pirmos grandies ilgis
s2,
s3,
s4,
s11,
s12,
kampasz,
kampasz1 : real;
ss1,
ss2,
//s1, s2,
a1, a2, a3, a4,
q1, q2,
alpha1,
alpha2, alpha3 : real;
tq1, //pasukta apie z0 asi
talpha1, // apie z asi
ts1, //poslinkis z kryptimi
ts2, //poslinkis z kryptimi
talpha2, //pasukta apie x asi
ts3,
ts4,
talpha3,
tq2 : t;
tt : t2;

```

```

AA1, AA2, AA3, AA4, AA5, AA6, T : t;
BB1, BB2, BB3, BB4 : t;
a : integer;
r01, r02,r12, r23, r34, r45, r56, r03, r04, r05, r06, rp, T2 : t_1;
o1o2_, o2o3_, o3o4_ : t_3;
o1o2, o2o3, o3o4, o4p : t_3;
public
{ Public declarations }
end;
var
Form1: TForm1;
implementation
uses Unit2, Unit4, Unit3, Unit5;
{$R *.dfm}
procedure Matrica ( ip1,ip2,ip3,ip4,
ip5,ip6,ip7,ip8,
ip9,ip10,ip11,ip12,
ip13,ip14,ip15,ip16 : real; VAR iss : t);
begin
iss [1,1] := ip1; iss [1,2] := ip2; iss [1,3] := ip3; iss [1,4] := ip4;
iss [2,1] := ip5; iss [2,2] := ip6; iss [2,3] := ip7; iss [2,4] := ip8;
iss [3,1] := ip9; iss [3,2] := ip10; iss [3,3] := ip11; iss [3,4] := ip12;
iss [4,1] := ip13; iss [4,2] := ip14; iss [4,3] := ip15; iss [4,4] := ip16;
end;
procedure Matrica2 ( ip1,ip2,ip3,
ip5,ip6,ip7,
ip9,ip10,ip11 : real; VAR iss : t_1);
begin
iss [1,1] := ip1; iss [1,2] := ip2; iss [1,3] := ip3;
iss [2,1] := ip5; iss [2,2] := ip6; iss [2,3] := ip7;
iss [3,1] := ip9; iss [3,2] := ip10; iss [3,3] := ip11;
end;
procedure Matrica3 ( ip1,ip2,ip3 : real; VAR iss : t_3);
begin
iss [1] := ip1; iss [2] := ip2; iss [3] := ip3;

```

```

end;
procedure MatricuDaugyba(a, b: t; VAR D: t);
var EiSkC, StSkC, StSkA, i, j, l : integer;
S : real;
begin
EiSkC:=4; StSkC:= 4; StSkA:= 4;
for i:=1 to EiSkC do //Eiluciu skaicius C
for j:=1 to StSkC do //Stulpeliu skaicius C
begin
S:=0;
for l:=1 to StSkA do // %Stulpeliu skaicius A do
begin
S:=S+A[i,l]*B[l,j];
D[i,j]:=S;
end;
end;
end;
procedure MatricuDaugyba2(a, b: t_1; VAR D: t_1);
var EiSkC, StSkC, StSkA, i, j, l : integer;
S : real;
begin
EiSkC:=3; StSkC:= 3; StSkA:= 3;
for i:=1 to EiSkC do //Eiluciu skaicius C
for j:=1 to StSkC do //Stulpeliu skaicius C
begin
S:=0;
for l:=1 to StSkA do // %Stulpeliu skaicius A do
begin
S:=S+A[i,l]*B[l,j];
D[i,j]:=S;
end;
end;
end;
procedure MatricuDaugyba3(a, b, t_1; VAR D: t_1);
var EiSkC, StSkC, StSkA, i, j, l : integer;

```

```

S : real;

begin
EiSkC:=3; StSkC:= 1; StSkA:= 3;
for i:=1 to EiSkC do //Eiluciu skaicius C
for j:=1 to StSkC do //Stulpeliu skaicius C
begin
S:=0;
for l:=1 to StSkA do // %Stulpeliu skaicius A do
begin
S:=S+A[i,l]*B[l,j];
D[i,j]:=S;
end;
end;
end; }
procedure MatricuSudetis(a, b, c, d0: t_1; VAR D: t_1);
var EiSkC, StSkC, StSkA, i, j, l : integer;
S : real;
begin
for i:=1 to 3 do //Eiluciu skaicius C
for j:=1 to 3 do //Stulpeliu skaicius C
begin
S:=0;
for l:=1 to StSkA do // %Stulpeliu skaicius A do
begin
S:=S+A[i,l]+B[l,j]+c[l,j]+d0[l,j];
D[i,j]:=S;
end;
end;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var i, j, c: integer; ss : string;
begin
Form2.Memo1.Clear;
Form2.Memo2.Clear;

```



```

s1 := strtfloat (Edit1.Text);
s11 := strtfloat (Edit2.Text);
if Edit2.Text < Edit1.Text then
begin
ShowMessage (' Sg1 Įvedimo klaida');
Edit1.SetFocus;
exit;
end;
s2 := strtfloat (Edit3.Text);
s12 := strtfloat (Edit4.Text);
if Edit4.Text < Edit3.Text then
begin
ShowMessage (' Sg2 Įvedimo klaida');
Edit1.SetFocus;
exit;
end;
s3 := strtfloat (Edit5.Text);
s4 := strtfloat (Edit6.Text);
kampasz := strtfloat (Edit7.Text)*pi/180;
kampasz1 :=strtfloat (Edit8.Text)*pi/180;
a := strtoint (Edit9.Text);

//-----
alpha1 :=-pi/2;
q1 := 0;
alpha2 :=-pi/2;
alpha3 := 0;
q2 := 0;
ss1 := s11 - s1;
ss2 := s12 - s2;
a1 := ss1/a;
a2 := ss2/a;
a3 := kampasz/a;
a4 := kampasz1/a;
for c:=1 to a do begin

```

```

q1 := q1+a3;
s1 := s1+a1;
s2 := s2+a2;
alpha2 := alpha2;
alpha3 := alpha3;
q2:=q2+a3;
Matrica (cos (q1), -sin(q1), 0, 0,
sin (q1), cos(q1), 0, 0,
0, 0, 1, 0,
0, 0, 0, 1,
tq1);
Matrica (1, 0, 0, 0,
0, cos (alpha1), -sin(alpha1), 0,
0, sin (alpha1), cos(alpha1), 0,
0, 0, 0, 1,
talpha1);
Matrica (1, 0, 0, 0,
0, 1, 0, 0,
0, 0, 1, s1,
0, 0, 0, 1,
ts1);
Matrica (1, 0, 0, 0,
0, 1, 0, 0,
0, 0, 1, s2,
0, 0, 0, 1,
ts2);
Matrica (1, 0, 0, 0,
0, cos (alpha2), -sin(alpha2), 0,
0, sin (alpha2), cos(alpha2), 0,
0, 0, 0, 1,
talpha2);
Matrica (1, 0, 0, 0,
0, 1, 0, 0,
0, 0, 1, s3,
0, 0, 0, 1,

```

```

ts3);
Matrica (1, 0, 0, 0,
0, 1, 0, 0,
0, 0, 1, s4,
0, 0, 0, 1,
ts4);
Matrica (1, 0, 0, 0,
0, cos (alpha3), -sin(alpha3), 0,
0, sin (alpha3), cos(alpha3), 0,
0, 0, 0, 1,
talpha3);
Matrica (cos (q2), -sin(q2), 0, 0,
sin (q2), cos(q2), 0, 0,
0, 0, 1, 0,
0, 0, 0, 1,
tq2);
AA1 := tq1;
AA2 := ts1;
MatricuDaugyba (talpa1, ts2, AA3);
AA4 := talpa2;
MatricuDaugyba (tq2, ts3, AA5);
MatricuDaugyba (talpa3, ts4, AA6);
MatricuDaugyba (AA1, AA2, BB1);
MatricuDaugyba (BB1, AA3, BB2);
MatricuDaugyba (BB2, AA4, BB3);
MatricuDaugyba (BB3, AA5, BB4);
MatricuDaugyba (BB4, AA6, T);
Form2.Memo1.Lines.Add( 'x = '+ format ('%10.2f', [T [1, 4]])+
' y = '+ format ('%10.2f',[T [2, 4]])+
' z = '+ format ('%10.2f,[T [3, 4]]));
{ for i := 1 to 4 do
begin
for j := 1 to 4 do
begin
ss := ss + ' ! '+ floattostr (T [i, j]);

```

```

end;
Form2.Memo1.Lines.Add(ss);
ss := "";
end; }
Form2.Memo2.Lines.Add( 'x = '+ format ('%10.2f', [T [1, 4]])+
' y = '+ format ('%10.2f',[T [2, 4]])+
' z = '+ format ('%10.2f,[T [3, 4]]));
end;
//-----
alpha1 :=-pi/2;
q1 := 0;
alpha2 :=-pi/2;
alpha3 := 0;
q2 := 0;
ss1 := s11 - s1;
ss2 := s12 - s2;
a1 := ss1/a;
a2 := ss2/a;
a3 := kampasz/a;
a4 := kampasz1/a;
for c:=1 to a do begin
q1 := q1+a3;
s1 := s1+a1;
s2 := s2+a2;
alpha2 := alpha2;
alpha3 := alpha3;
q2:=q2+a3;
Matrica2 (cos (q1), -sin(q1), 0,
sin (q1), cos(q1), 0,
0, 0, 1,
r01);
Matrica2 (1, 0, 0,
0, 0, 1,
0, 0, 1,
r12);

```

```

Matrica2 (1, 0, 0,
0, 1, 0,
0, 0, 1,
r23);
Matrica2 (1, 0, 0,
0, cos (alpha2), -sin(alpha2),
0, sin (alpha2), cos(alpha2),
r34);
Matrica2 (cos (q2), -sin(q2), 0,
sin (q2), cos(q2), 0,
0, 0, 1,
r45);
Matrica2 (1, 0, 0,
0, cos (alpha3), -sin(alpha3),
0, sin (alpha3), cos(alpha3),
r56);
Matrica3 (0, 0, s1, o1o2);
Matrica3 (0, s2, 0, o2o3);
Matrica3 (0, 0, -s3, o3o4);
MatricuDaugyba2 (r01, r12, r02);
MatricuDaugyba2 (r02, r23, r03);
MatricuDaugyba2 (r03, r34, r04);
MatricuDaugyba2 (r04, r45, r05);
MatricuDaugyba2 (r05, r56, r06);
{MatricuDaugyba3 (r01, o1o2_, o1o2);
MatricuDaugyba3 (r03, o2o3_, o2o3);
MatricuDaugyba3 (r04, o3o4_, o3o4);
MatricuDaugyba3 (r06, o4p_, o4p);}
MatricuSudetis (o1o2, o2o3, o3o4, o4p, T2)
end;
Form2.Visible := true;
end;
procedure TForm1.ApieClick(Sender: TObject);
begin
Form5.Visible :=true;

```

```
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Form3.Visible := true;
end;
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
begin
form1.Close;
end;
procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
begin
form3.Visible:=true;
end;
end.
```

## Priedas 2 Rinkimo laiko skaičiavimas

```
clc
X=[0 1 2 1 0]
Y=[0 -0.022 0 0.022 0]
X1=[0 2.25 4.5 2.25 0]
Y1=[0 -0.022 0 0.022 0]
X2=[0 1.5 3 1.5 0]
Y2=[0 -0.022 0 0.022 0]
X3=[0 0.9 1 0.9 0]
Y3=[0 -0.022 0 0.022 0]
X4=[0 0.5 1 0.5 0]
Y4=[0 -0.022 0 0.022 0]
X5=[0 0.375 0.75 0.375 0]
Y5=[0 -0.022 0 0.022 0]
a=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15]
% x1=[-4 8 17 21 ]
% y1=[-0.202 0.727 1.244 1.177]
clc
%Ivedame X reiksme
% Skaiciuojama tiesine interpoliacija
xxx=input('Iveskite reiksme X=');
k=1
while X(k) < xxx
    k=k+1;
end
yd=Y(k-1)+(xxx-X(k-1))/(X(k)-X(k-1))*(Y(k)-Y(k-1))
XX=xxx
YY=yd
w=0.13
fie=pi/360
t=[0 0.5 1 1.5 2 ]
n=5
for j=1:n
    fi(j)=-fie*cos(w*t(j))
end
```

```

fie=pi/1125
wk=0.17
t1=[0 1 2 3 4 4.5]
k1=6
for j1=1:k1
fik(j1)=-fie*cos(w*t1(j1))
end
fie2=pi/1200
w2=0.33
t2=[0 1 2 2.5 3]
k2=5
for j2=1:k2
fi2(j2)=-fie*cos(w2*t2(j2))
end
fie3=pi/1200
w3=0.56
t3=[0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.6 1.8 ]
k3=9
for j3=1:k3
fi3(j3)=-fie*cos(w3*t3(j3))
end
fie4=pi/1200
w4=1
t4=[0 0.55 1]
k4=3
for j4=1:k4
fi4(j4)=-fie*cos(w4*t4(j4))
end
fie5=pi/1200
w5=1.33
t5=[0 0.22 0.44 0.75]
k5=4
for j5=1:k5
fi5(j5)=-fie*cos(w5*t5(j5))
end

```



```
fi3
figure(1);
hold on
figure(2);
hold on
plot(X1,Y1,'-',t1,fi1,'-')
hold off
figure(3);
hold on
plot(X2,Y2,'-',t2,fi2,'-')
hold off
figure(4);
hold on
plot(X3,Y3,'-',t3,fi3,'-')
hold off
figure(5);
hold on
plot(X4,Y4,'-',t4,fi4,'-')
hold off
figure(6);
hold on
plot(X5,Y5,'-',t5,fi5,'-')
hold off
figure(1);
hold on
plot(X,Y,'-',t,fi,'-')
hold off
```