



ŠIAULIŲ  
UNIVERSITETAS

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

Mindaugas Pocius

**DETALIŲ SUJUNGIMO TYRIMAI**

Magistro darbas

Darbo vadovas: doc. dr. A. Povilionis

Šiauliai, 2006

# TURINYS

<b>Summary .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Įvadas.....</b>	<b>4</b>
1.1 Darbo aktualumas .....	4
1.2 Tyrimo tikslai .....	5
1.3 Tyrimo objektas.....	5
1.4 Tyrimo metodai .....	5
<b>2. Rinkimo automatizavimas .....</b>	<b>6</b>
2.1 Automatinio rinkimo reikšmė ir ypatumai .....	6
2.2 Jungiamųjų detalių tarpusavio orientavimas .....	10
2.3 Detalių sujungimo valdymas .....	15
<b>3. Detalių sujungimo kvazistatinis modelis .....</b>	<b>20</b>
3.1 Cilindrinų detalių sujungimo matematinis modelis.....	21
3.2 Sujungimo proceso patikimumas .....	25
3.3 Sėkmingo sujungimo sąlygos .....	29
<b>4. Detalių sujungimo modeliavimas .....</b>	<b>30</b>
4.1 Strypo judėjimo sujungimo metu tyrimas .....	30
4.2 Paslankumo centre veikiančių jėgų tyrimas .....	32
4.3 Optimalių sujungimo parametrų nustatymas siekiant sumažinti rinkimo įrangos apkrovas.....	33
4.4 Sujungimo patikimumo tyrimas .....	36
<b>5. Išvados .....</b>	<b>39</b>
<b>LITERATŪRA .....</b>	<b>40</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>41</b>

## **Summary**

### **„Researches of part joints“**

Process of peg and hole connection for automatic assembly is analyzed in the work. Mathematical model of the parts connection was formed. Programs for simulation of the connection process were written using MatLab software. Characteristics of connecting forces variation and movement of the peg were determined. Parameters influencing lower loading of the assembly equipment and values of these parameters were determined. It was determined that probability of the connection process can be increased by selecting particular values of correspondent parameters of the connection process. Results of the analysis can be used for designing of new, economic, high performance and reliable assembly equipment.

# 1. Įvadas

## 1.1 Darbo aktualumas

Kokybiškumas tai galutinis išbaigto gaminio rezultatas, kurį nori matyti užsakovas. Didžiąją dalį gaminio kokybės lemia jo rinkimas. Rinkimas tai baigiamasis mašinų ir kitų gaminių gamybos proceso etapas. Per šį etapą dažniausiai atsiranda tokios problemos: nekokybiškas sujungimas, detalių nesutapimas viena kitos atžvilgiu, įvairios paklaidos kur visa tai galutiniame rezultate yra vadinama broku.

Šiuo laikotarpiu stipriai plečiantis pramonei auga įvairių gamyklų ir įmonių skaičius, kuriose gaminamos mašinos, prietaisai, aparatūros. Visų šių gaminių gamyboje vyrauja rankinis darbas kurio gaminių rinkimo darbų sąnaudos sudaro apie 30% bendrų gaminių gamybos sąnaudų. Tobulėjant mechaninio apdirbimo procesams ir mažėjant jų apimčiai, dar labiau didėja rinkimo darbų apimtis, darbininkų skaičius rinkimo cechuose didėja greičiau negu mechaninio apdirbimo cechuose. Rinkimas užima ~ 20% ÷ 50% gaminio gamybos laiko.

Žvelgiant į ateitį ir tobulėjant technikai, stengiamasi išvengti monotoniško darbo prie konvejerių įdiegiant automatizavimą ir kitus efektyvius technologinius rinkimo procesus, kurie sumažintų gaminio savikainą, darbų sąnaudas, pagerintų kokybę.

Jungiamųjų detalių rinkimas automatinio būdu atrodo išsprendžia nemažai problemų, tačiau dar daugiau reikia jų įveikti, kaip nepakankamas detalių tikslumas, detalių ašių nesutapimas, įrangos derinimo paklaidos, norint pilnai automatizuoti surinkimą. Šiuos uždavinius tyrinėja daugelis užsienio ir Lietuvos mokslininkų kaip B.Bakšys, A.Fedaravičius, N.Puodžiūnienė ir kiti. Automatinio rinkimo priemonės naudojamos automobilių, elektrotechnikos, radioelektronikos bei kitose pramonės šakose, esant masinei arba serijinei gamybai.

Svarbiausi automatinio rinkimo etapai – jungiamųjų paviršių sutapdinimas ir detalių sujungimas. Neteisingai parinkus sujungimo parametrus, sujungimo procesas gali sutrikti, dėl to renkamos detalės ir rinkimo įrengimai gali būti sugadinami. Todėl svarbu gerai iširti sujungimo procesą, kad būtų išvengta panašių padarinių ir būtų galima suprojektuoti patikimą, ilgaamžišką ir efektyvią rinkimo įrangą.

## **1.2 Tyrimo tikslai**

Detalių sujungimas yra sudėtingas procesas įtakojamas daugelio parametru. Nustatant optimalias sujungimo parametru reikšmes galima užtikrinti detalių sujungimo patikimumą ir efektyvumą. Šiuo metu detalių sujungimo procesas nėra visiškai ištirtas, jaučiamas darbų nagrinėjančių sujungimo procesą trūkumas. Detalių sujungimo proceso išanalizavimas yra būtinas projektuojant šiuolaikinę rinkimo įrangą. Atsižvelgiant į tai, šio darbo tikslas – ištirti detalių sujungimo procesą ir jo patikimumą, nustatyti kokie sujungimo proceso parametrai lemia jo patikimumą, bei mažesnę rinkimo įrangos apkrovimą.

## **1.3 Tyrimo objektas**

Tyrimo objektas – cilindrinų detalių sujungimo procesas, kai paslankiai bazuojamas strypas įstatomas į nejudamai bazuojamos įvorės skylę. Nagrinėjamas strypo ir įvorės sujungimas, atsižvelgiant į svarbiausias sujungimo stadijas: komponentų suartinimo sąlytį su įvorės nuožula, jungiamųjų paviršių lietimąsi su vienu ir dviem taškais.

## **1.4 Tyrimo metodai**

Remiantis kvazistatine cilindrinų detalių sujungimo analize sudarytas matematinis dviejų detalių sujungimo modelis. Remiantis matematinio sujungimo modeliu MatLab terpėje sudaryta sujungimo proceso modeliavimo programa.

## 2. Rinkimo automatizavimas

### 2.1 Automatinio rinkimo reikšmė ir ypatumai

Rinkimas – galutinis gamybos proceso etapas. Tobulėjant mechaninio apdirbimo procesams ir mažėjant jų apimčiai, dar labiau didėja rinkimo darbų apimtis; darbininkų skaičius rinkimo cechuose didėja greičiau negu mechaninio apdirbimo cechuose. Ši tendencija ryškėja todėl, kad rinkimo darbai mechanizuojami ir automatizuojami lėtai ir nepakankamai efektyviai [2].

Rinkimo operacijos daugiausia atliekamos rankomis, nes šiuo metu tik apie 25% rinkimo darbų mechanizuota ir apie 6—7% automatizuota. Dažniausiai automatizuojamos ir mechanizuojamos masinės gamybos rinkimo operacijos. Automatizuoti surinkimą trukdo renkamų gaminių konstrukcijos netechnologiškumas, nepakankamas gaminių unifikavimas ir jų gamyba nedidelėmis serijomis, automatinų specializuotų ir perderinamų rinkimo įrengimų trūkumas, nepakankamai gera surenkamų detalių kokybė. Rinkimo automatizavimą apsunkina individuali rinkimo įrenginių konstravimo ir gamybos praktika. Dėl šios priežasties jie yra brangūs, negreitai įdiegiami. Šį trūkumą galima pašalinti centralizuotai gaminant specializuotose įmonėse standartinius mechanizmus ir rinkimo vienetą, iš kurių agregavimo principu būtų komponuojami automatiniai rinkimo įrenginiai. Perspektyvi kryptis – perderinamų rinkimo įrengimų kūrimas. Tai programiniai rinkimo robotai, kurie gali būti naudojami kaip nepriklausomi rinkimo įrengimai ir kaip srautinių rinkimo linijų sudedamoji dalis. Automatizavus rinkimo procesus, pagerėja gaminių kokybė, nes iš dalies arba ir visiškai išvengiama subjektyvių veiksnių įtakos, padidėja darbo našumas (kai kuriais atvejais iki dešimt kartų), išžalsvinami gamybos plotai ir pagerinamos darbo sąlygos. Automatiškai surenkami tokie gaminiai, kurių rankomis surinkti neįmanoma (pvz. vakuume, sveikatai kenksmingoje aplinkoje). Automatiniam rinkimui reikalingas sudėtingas patikimai veikiančiu įrengimu ir mechanizmu kompleksas:

1. Bunkeriniai surenkamųjų detalių orientavimo ir padavimo į rinkimo poziciją įrenginiai. Sudėtingesnės konfigūracijos detalės gali būti orientuotos sudedamos į kasetes arba magazinus.

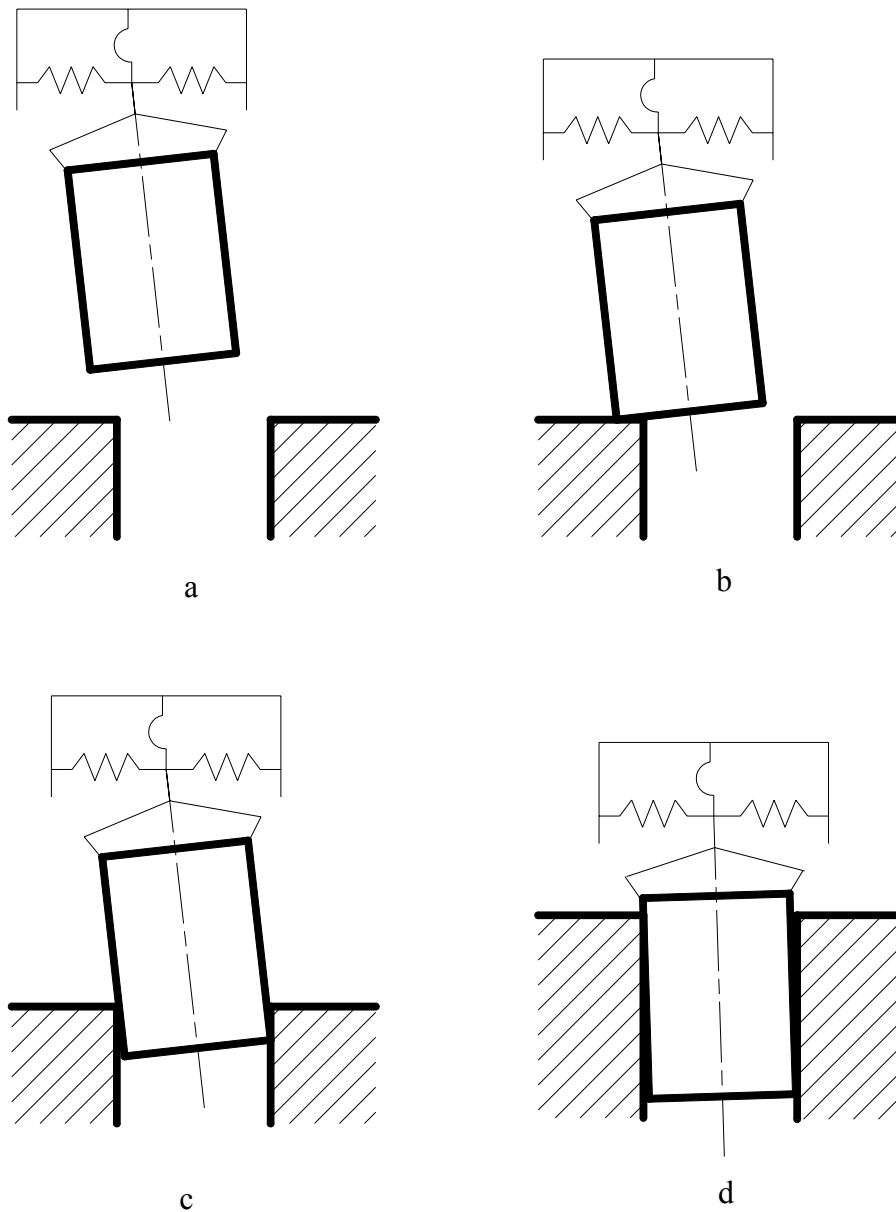
2. Kaupikliai sujungiami su bunkeriniais įrenginiais atvirais arba uždariais latakais. Kaupikliuose sudaroma orientuotų detalių atsarga. Jie taip pat išlygina bunkerinių įrenginių našumą.
3. Atskyrikliai ir tiekikliai, išduodantys į automato rinkimo poziciją po vieną detalę.
4. Surenkamųjų detalių sujungimo ir tvirtinimo mechanizmai (presavimo, suveržimo varžtais ir sraigtais, kniedijimo, valcavimo, litavimo, suvirinimo, užlenkimo ir kitoms tvirtinimo operacijoms atlikti).
5. Mechanizmai specialioms operacijoms atlikti (tepimui, apiputimui oru ir kt.).
6. Kontrolės mechanizmai detalių sujungimų kokybei, jų tarpusavio padėčiai, geometrinei formai, surenkamojo gaminio perdavimo iš vienos pozicijos į kitą taisyklingumui kontroliuoti.
7. Surinkto gaminio arba atskirų jo elementų pašalinimo iš rinkimo pozicijos ir transportavimo mechanizmai. Jie išima iš automato surinktą gaminį ir įdeda į tarą, surinktą gaminio elementą transportuoja į kitą automato rinkimo poziciją arba į kitą automata.

Surenkamosios detalės turi būti taip išdėstytos viena kitos atžvilgiu, kad rinkimo mechanizmas jas nekliudomai sujungtu (kai jų matmenys yra tolerancijos lauko ribose). Todėl surenkamosios detalės automatiškai įstatomos į rinkimo mechanizmų bazavimo įtaisus. Detales arba atskiri elementai jungiami sferiniais, cilindriniais, plokščiais ir srieginiais paviršiais. Sujungimai gali būti judamieji ir nejudamieji. Automatizuotai surenkamų gaminių detalės turi būti geros kokybės ir tikslios. Prastos kokybės detalės — svarbiausia rinkimo įrengimų darbo sutrikimo (apie 80%) priežastis. Rinkimo įrengimų negendamumo tikimybe lygi atskirų jų mechanizmų negendamumo tikimybių ir surenkamųjų detalių kokybiškumo tikimybių sandaugai.

Jeigu automatu surenkamas gaminys susideda iš nedaug detalių, tai bus nedaug ir rinkimo pozicijų, o automato patikimumas bus didesnis, bet detalėms keliami mažesni kokybės reikalavimai. Nerekomenduojama, kad daugiapoziciniuose rinkimo automatuose ir pusautomačiuose būtų daugiau kaip dvylika pozicijų. Rinkimo įrenginių darbo patikimumas būna didesnis, kai kontroliuojama visų surenkamųjų detalių kokybė.

Automatizuoto rinkimo proceso pagrindas – gerai sudaryta ir patikrinta technologija. Neverta kopijuoti rankinio rinkimo judesių. Automatizuojant rinkimo procesus, dažnai reikia pakeisti renkamųjų detalių ir gaminių konstrukciją. Efektyvūs sprendimai pasirenkami remiantis moksliniais automatinio rinkimo principais.

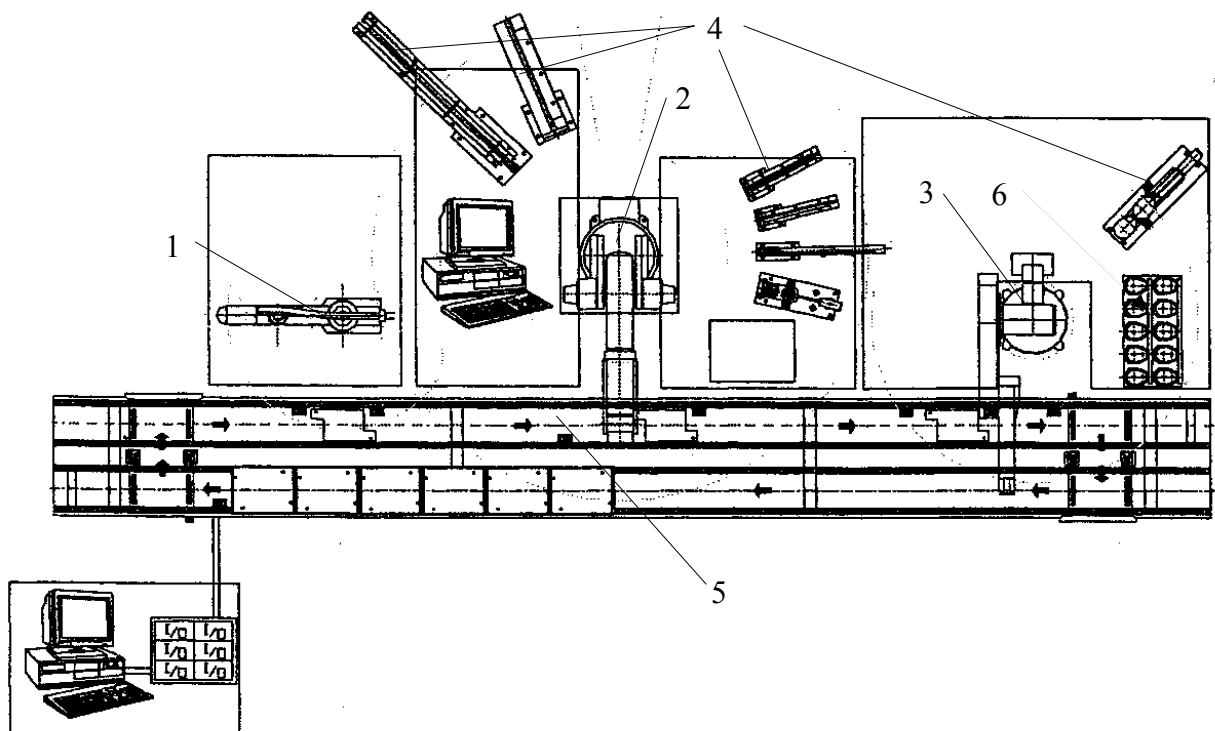
Automatizuoto rinkimo procesą galima suskirstyti į keturis pagrindinius etapus (2.1 pav.). Iš pradžių detales reikia paduoti į rinkimo poziciją (2.1 pav., a). Renkamoms detalėms susilietus prasideda paieškos etapas (2.1 pav., b). Paieškos stadijoje jungiamosios detalės perstumiamos viena kitos atžvilgiu, kol suminė jungiamųjų paviršių tarpusavio padėties paklaida pasidaro mažesnė už leistinąją sujungimo paklaidą. Sutapdinus jungiamuosius paviršius, prasideda sujungimo procesas (2.1 pav., c). Rinkimas baigiamas kai pasiekiamas reikalingas sujungimo gylis (2.1 pav., d).



2.1 pav. Automatinio rinkimo etapai: a – sujungimo pradžia; b – paieška; c – sujungimas; d – sujungimo pabaiga



Rinkimo darbai vis dažniau automatizuojami pramoniniais robotais. Tada surenkamųjų detalių tarpusavio padėties paklaidos atsiranda dėl roboto griebtuvo pozicionavimo paklaidų ir dėl detalių bazavimo roboto griebtuve, bei tvirtinimo įtaise paklaidų. Paprasčiausi pramoniniai robotai (be sensorinių sistemų) gali pozicionuoti surenkamas detales tik milimetrų tikslumu, o automatinio surinkimo vidutinės leistinosios pozicionavimo paklaidos ne didesnės kaip 0.01— 0.13 mm. Todėl surinkimo operacijos, kurioms reikia didelio detalių pozicionavimo tikslumo, automatizuojamos adaptyviaisiais robotais.



2.2 pav. Moderni robotizuota rinkimo linija: 1, 2, 3 – pramoniniai robotai; 4 – detalių kaupikliai; 5 – konvejeris; 6 – surinktų gaminių dėžė

Šiuolaikinėje robotizuotoje rinkimo linijoje (2.2 pav.) rinkimo operacijos atliekamos robotais 1, 2, 3. Detales robotams tiekia detalių kaupikliai 4. Renkamieji komponentai iš vienos rinkimo operacijos pozicijos į kitą transportuojamos konvejeriu 5. Kompiuterinės sistemos valdo visą gaminio rinkimo procesą pagal paruoštas programas, bei atlieka rinkimo kokybės kontrolę. Surinkti gaminiai kaupiami dėžėje 6 [3].

## 2.2 Jungiamųjų detalių tarpusavio orientavimas

Rinkimo mechanizmai sklandžiai sujungia detales tada, kai suminė jų sujungimo paviršių tarpusavio padėties paklaida yra mažesnė už leistinąją paklaidą. Suminė detalių padėties orientavimo paklaida priklauso nuo bazavimo būdo, surenkamųjų detalių tikslumo ir rinkimo mechanizmų tikslumo. Leistinosios paklaidos dydis priklauso nuo tarpelio tarp jungiamųjų detalių, jungiamųjų paviršių tikslumo ir jų nuožulų dydžio [2].

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.

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.

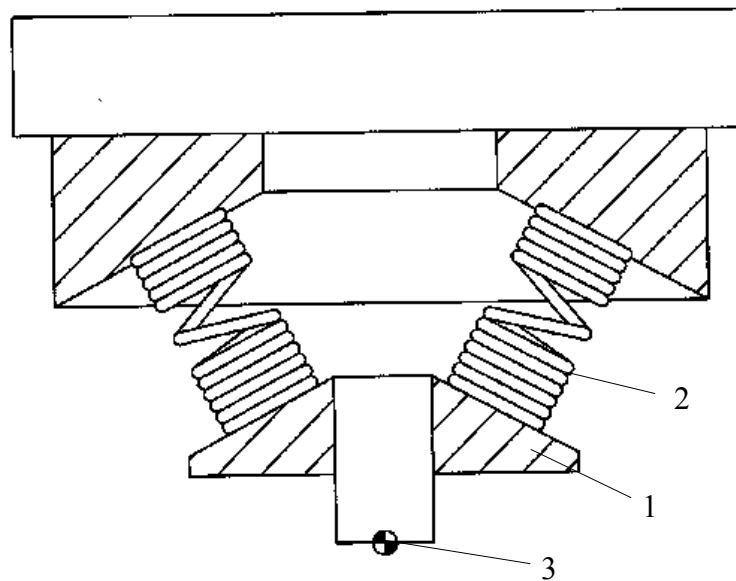
Detalių jungiamųjų paviršių sutapdinimo metodai skirstomi į tris grupes.

1. Pasyvieji metodai.
2. Aktyvieji metodai.
3. Kombinuotieji metodai.

**Pasyvieji metodai.** Šiais metodais renkant detales, 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.

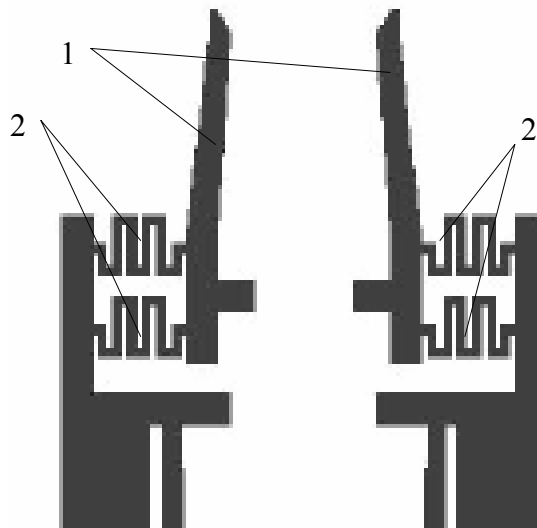
Jungiant paslankiai bazuojamas detales su nuožulomis, ašių sutapdinimo kryptimi gali kryptingai pasislinkti viena arba abi detalės. Toks kryptingas poslinkis pagal nuožulas, veikiant sujungimo jėgai, leidžia sutapdinti jungiamųjų detalių paviršius ir nekliudomai jas sujungti. sutapdinimo poslinkis būna 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.

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. Pasyvieji jungiamųjų detalių sutapdinimo metodai gali užtikrinti patikimą sujungimo procesą tik tada, kai detalių tarpusavio padėties paklaida rinkimo pozicijoje nedidelė ir nedidelis sujungimo tikslumas. Labiausiai paplitęs pasyviojo metodo įrenginys yra įtaisas su nutolusiu paslankumo centru [4]. Viena iš galimų šio įtaiso konstrukcijų pavaizduota (2.3 pav.). Jungiamoji detalė – strypas, laikoma griebtuve 1, kuris paslankiai bazuojamas spyruoklių 2 pagalba, kurios išdėstytos tam tikru kampu. Dėl tokios įtaiso konfigūracijos paslankumo centras 3 gaunamas ant apatinio strypo paviršiaus, kas palengvina sujungimo procesą.



2.3 pav. Nutolusio paslankumo centro įtaiso konstrukcija

Paveiksle (2.4 pav.) pavaizduotas miniatiūrinių detalių pasyvusis rinkimo įtaisas galintis surinkti  $300 \times 100 \mu\text{m}$  dydžio detales [5]. Detalės bazuojamos pirštuose 1. Pozicionavimo paklaidos kompensuojamos deformuojantis tampriesiems elementams 2.



2.4 pav. Miniatiūrinių detalių rinkimo įtaisas

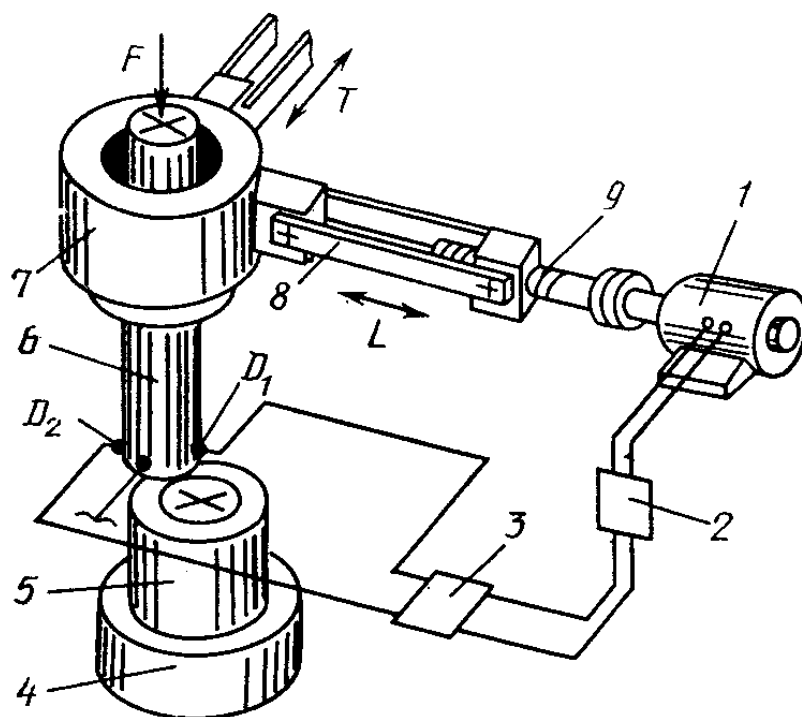
**Aktyvieji metodai.** Taikant aktyviuosius automatino rinkimo metodus, jungiamųjų detalių tarpusavio padėtis koreguojama valdymo algoritmais, naudojant jėginį ar regėjimo grįžtamąjį ryšį

Naudojant aktyvų metodą, jėgos yra informacijos šaltinis, kuriuo remiantis yra nustatoma detalių tarpusavio padėtis. Rinkimo robotuose dažniausiai naudojami jėgos jutikliai, kuriais matuojama sąveikos jėgos ir momentai, pvz., tenzometriniai jutikliai tamprių elementų deformacijoms matuoti, kai pastarosios proporcingos veikiančiam jėgai. Detalių paviršiams atpažinti gali būti naudojami taktikiniai ir regėjimo jutikliai. Atstumui nuo objekto iki griebtuvo nustatyti ar triukšmams, skleidžiamiems rinkimo proceso metu, stebėti naudojami ultragarsiniai ir akustiniai jutikliai. Pastaruoju metu detalių tarpusavio padėčiai nustatyti vis plačiau naudojamos techninio regėjimo sistemos [6].

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

Aktyviojo rinkimo mechanizmuose panaudojami reguliavimo pagal nuokrypą ir trikdi principai [2].

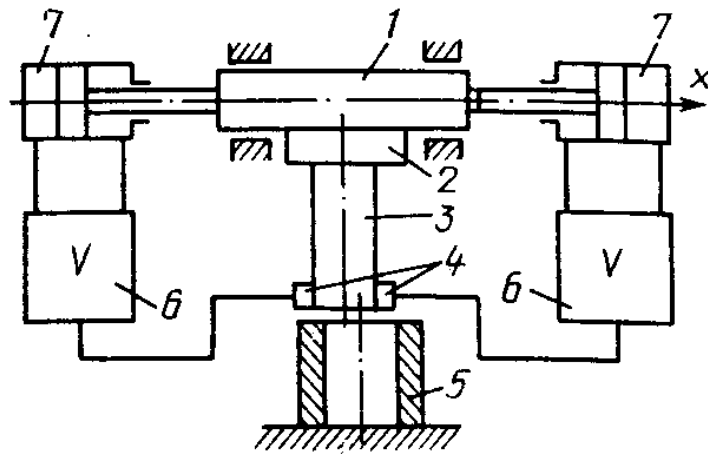
Mechanizmuose, veikiančiuose reguliavimo pagal nuokrypą principu, sutapus detalių jungiamiesiems paviršiams, atjungiamas vykdymo įtaisas. Reguliavimo pagal trikdi mechanizmuose, sutapus jungiamiesiems paviršiams, veikianti judamąją detalę atstojamoji jėga pasidaro lygi nuliui.



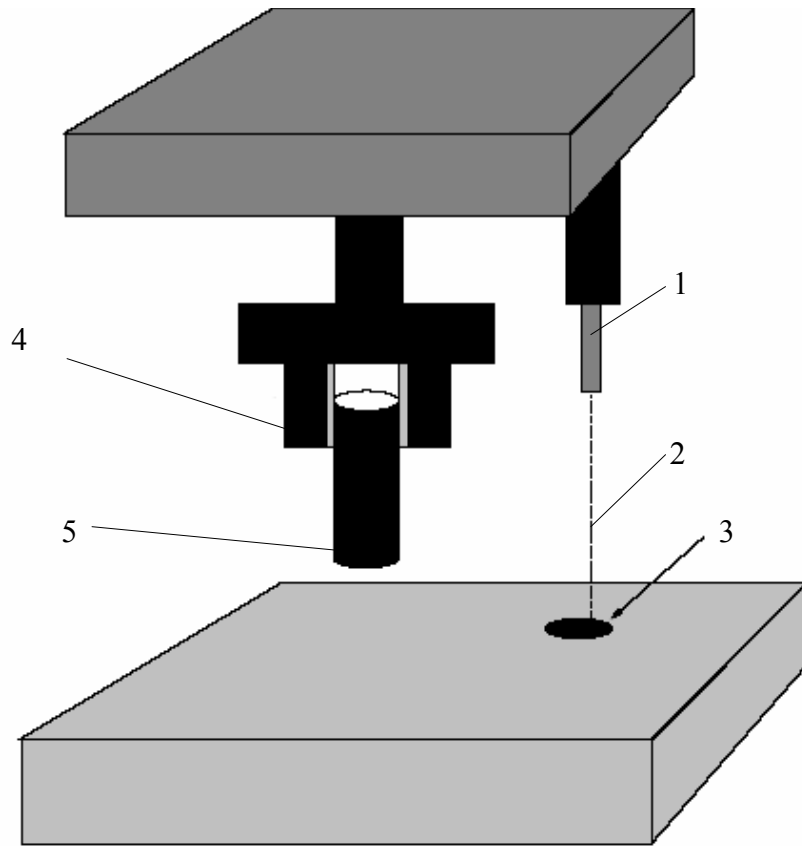
2.5 pav. Orientavimo mechanizmas veikiantis reguliavimo pagal nuokrypą principu

Orientavimo mechanizmą, veikiantį reguliavimo pagal nuokrypą principu, sudaro elektros variklis 1 (2.5 pav.), kuris per sraigtinę pavara 9 ir plokščias spyruokles 8 stumdo galvutę 7 rodyklės  $L$  kryptimi. Galvutėje įtvirtinamas strypas 6, surenkamas su įvore 5. Įvorė įtvirtinta ant staliuko 4. Variklis 1 per stiprintuvą 2 ir sumatorių 3 sujungtas su jutikliais  $D_1$  ir  $D_2$  (induktyviniais, fotoelektriniais arba kitokiais). Kai strypo ir įvorės ašys pasislinkusios į kairę rodyklės  $L$  kryptimi, jutikliai  $D_1$  ir  $D_2$  formuoja skirtingus signalus. Šiuos signalus palygina sumatorius. Signalų skirtumas, sustiprintas stiprintuvo, valdo variklį, kad stumtų galvutę surenkamųjų detalių ašių sutapdinimo kryptimi. Kai strypas pasislinkęs į dešinę rodyklės  $L$  kryptimi, variklis reversuojamas ir strypas su galvute stumiamas į priešingą pusę. Poslinkiams rodyklės  $T$  kryptimi reguliuoti reikalinga analogiška pavara. Kai strypo ir įvorės ašys sutampa, jutiklių signalų skirtumas pasidaro lygus nuliui ir variklis sustabdomas. Jėga  $F$  strypas įstumiamas į įvorės skylę.

Orientavimo mechanizmą, veikiantį reguliavimo pagal trikdį principu, sudaro du pneumatiniai cilindrai 7 (2.6 pav.), stumdantys platformą 1 su griebtuve įtvirtintu strypu 3. Įvorės 5 atžvilgiu  $x$  koordinatės kryptimi. Kitos koordinatės kryptimi platformą stumdo analogiškas mechanizmas. Platformos poslinkio kryptis priklauso nuo jėgų, išvystomų kairiojo ir dešiniojo pneumatinio cilindro. Šių jėgų dydis priklauso nuo jutiklių 4 valdymo signalų, kuriuos sustiprina stiprintuvai 6. Sutapus strypo ir įvorės ašims, pneumatinių cilindrų atstojamoji jėga pasidaro lygi nuliui ir platforma sustoja.



2.6 pav. Orientavimo mechanizmas veikiantis reguliavimo pagal trikdį principu

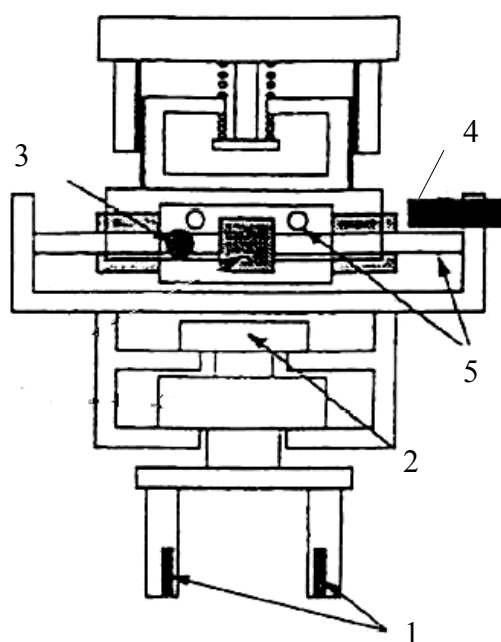


2.7 pav. Aktyvus rinkimo metodas panaudojant optinį jutiklį

Schemoje (2.7 pav.) pavaizduota aktyvus kontūrų sutapdinimo įrenginys su optiniu jutikliu [7]. Optinio jutiklis *1*, spindulio *2* pagalba nustato tikslią skylės *3* padėtį. Remiantis

šia informacija, apskaičiuojama trajektorija kuria reikia perstumti griebtuvą 6. Perstūmus griebtuvą į reikiamą surinkimo poziciją, strypas 5 sėkmingai įstatomas į skylę 3.

**Kombinuotieji metodai.** Kombinuoto veikimo metodas – tai aktyvaus ir pasyvaus metodų superpozicija. Toks metodas pasižymi lankstumu, greitu ir patikimu detalių be nuožulų sutapdinimu. Šiuo atveju pasyvus įtaisas naudojamas greitam pozicionavimui paklaidų kompensavimui, tuo tarpu aktyvioji mechanizmo dalis skirta matavimui ir kontroliavimui. Tokio įrenginio schema pavaizduota (2.8 pav.). Šiame įtaise remiantis informacija gauta iš optinių 1, posukio 2, poslinkio 3 ir 4 jutiklių įtaiso padėtis gali būti pakoreguota judant kreipiančiosiomis 5.



2.8 pav. Kombinuoto veikimo metodo įtaiso schema.

### 2.3 Detalių sujungimo valdymas

Detalių sujungimo valdymas – tai procesas, kai, sujungiant detales, automatiškai reguliuojamas vienas iš valdymo parametrų taip, kad rinkimo procesas būtų optimalus ir surenkamos detalės nesugadintos. Automatinis rinkimas gali būti valdomas pagal šiuos valdymo parametrus: pagal rinkimo jėgą  $F_s$  arba jos dedamąsias, pagal surenkamųjų detalių arba rinkimo įrenginio elementų deformacijas; pagal jungiamųjų paviršių tarpusavio poslinkius; pagal surenkamųjų detalių mechanines savybes. Rinkimo procesas dažniausiai

valdomas pagal tą valdymo parametą, kuris surenkant daugiausia keičiasi ir kuri lengva išmatuoti. Tai priklauso nuo surenkamųjų detalių savybių ir jų bazavimo būdo [2].

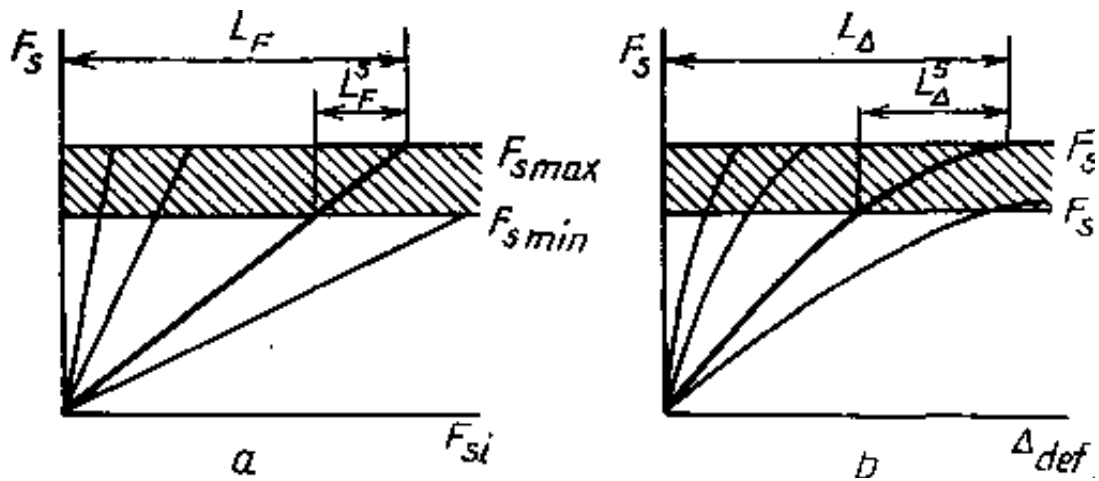
**Valdymas pagal rinkimo jėgą.** Sujungiant kai kurias detales, sujungimo jėga ir jos dedamosios labai keičiasi ir gali pasiekti ribines leistinas reikšmes, o kiti parametrai (detalių tarpusavio padėtis, deformacijos, jungiamųjų paviršių matmenys) mažai keičiasi ir pagal juos negalima nustatyti rinkimo jėgos. Pavyzdžiui, standžios, nejudamai bazuojamos detalės surenkant nesideformuoja, bet kai kuriuose jungiamųjų paviršių taškuose gali atsirasti per didelės jėgos, sukeliančios didesnius už leistinuosius kontaktinius įtempimus. Dėl to detalės įstringa arba pažeidžiami jų jungiamieji paviršiai. Taip gali atsitikti surenkant lietas korpusines detales su standžiais velenais, strypais, įvorėmis, diskais ir kitomis detalėmis. Standžios, mažai plastiškos detalės taip pat surenkant nesideformuoja, bet, padidėjus rinkimo jėgai, jos gali suirti (metalo keramikos, stiklinės, kai kurios plastmasinės ir kitokių medžiagų detalės). Rinkimo jėgos gali viršyti leistinas ir tais atvejais, kai detalių tarpusavio poslinkiai ir deformacijos rinkimo procesui beveik nedaro įtakos. Kartais per didelė jėga presuojant veleną į skylę, per smarkiai spaudžiant klijuojamas detales arba per dideliu momentu sukant sriegines detales, gali suirti konstrukcija arba būti sugadinami jungiamieji paviršiai ir dėl to sutrikti rinkimo procesas. Sujungimo proceso valdymui pagal jėgą reikia nustatyti leistiną ją rinkimo jėgą  $F_{smax}$ , dažniausiai veikiančią vieną objektą ir tos jėgos dedamasias  $F_{s1}$ ,  $F_{s2}$ , ...,  $F_{sn}$ , veikiančias kitus objektus įvairiomis kryptimis. Rinkimo jėgos dedamosios proporcingos leistinajai jėgai:

$$F_{smax} \geq \xi_1 F_{s1} \geq \xi_2 F_{s2} \geq \dots \geq \xi_n F_{sn} \quad (2.1)$$

čia  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  proporcingumo koeficientai.

Rinkimo jėgos ir jų dedamosios kiekvienu konkrečiu atveju apskaičiuojamos arba nustatomos eksperimentiškai. Ordinačių ašyse atidėjus rinkimo jėgos reikšmes, o abscisių – veikiančių atskirus objektus jos dedamųjų reikšmes, gaunami šių dedamųjų kitimo grafikai (2.9 pav., a). Limituojančiojo objekto leistosios jėgos  $F_{smax}$  linijos susikirtimo su  $F_{si}$  taškai rodo leistinas kiekvieną objektą veikiančių jėgų kitimo ribas  $L_F$ . Kai nustatyta limituojančiojo objekto rinkimo jėgos kitimo viršutinė riba  $F_{smax}$  ir apatinė riba  $F_{smin}$ ,  $F_{si}$  kitimo ribas rodo atkarpa  $L_F^S$ , kuri yra rinkimo jėgos  $F_s$  kitimo zonoje. Dydžių  $L_F$  ir  $L_F^S$  kitimo ribos apibūdina reikalingą valdymo sistemos jautrumą: kuo mažesnė rinkimo jėgos dedamosios kitimo riba  $L_F^S$ , tuo jautresnė turi būti valdymo sistema. Maksimalios dydžių  $L_F$  ir  $L_F^S$  matavimo ribos priklauso nuo jutiklių jautrumo.



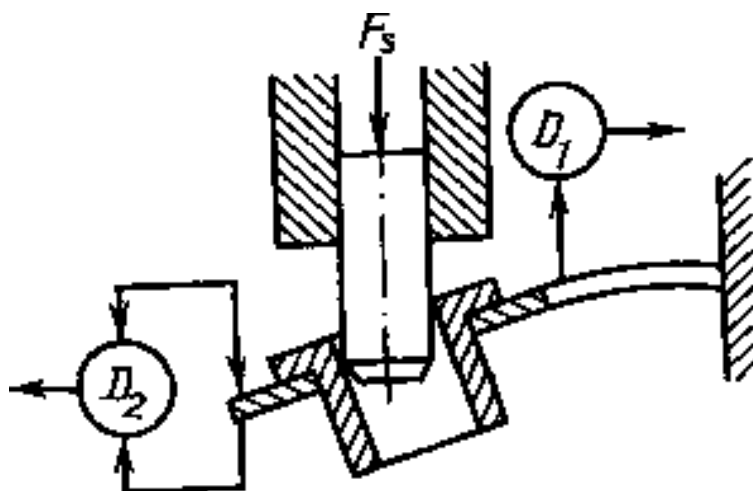


2.9 pav. Sujungimo proceso valdymas: a — pagal rinkimo jėgą; b — pagal deformaciją

**Valdymas pagal deformacijų pokyčius.** Surenkami, pavyzdžiui, plonasieniai gaubtai, plokštelės, tamprios guminės, plastmasinės ir kitokios nestandžios detalės smarkiai deformuojasi, o rinkimo jėga dėl to nedaug padidėja. Šios deformacijos paprastai būna mažesnės už leistinąsias ir surenkamųjų detalių kokybei įtakos nedaro, bet dėl didelių deformacijų persiskirsto detalių tarpusavio sąveikos jėgos, padidėja jungiamųjų paviršių poslinkiai, ir rinkimo procesas sutrinka. Tokių rinkimo procesų valdymui reikia išmatuoti detalių deformacijas  $\Delta_{def}$  (2.10 pav.) ir palyginti su leistinosiomis deformacijomis  $\Delta_{def}^0$ . Rinkimo sąlyga užrašoma taip:

$$\Delta_{def}^0 \geq \Delta_{def} \quad (2.2)$$

Sujungiant gali deformuotis abi detalės. Šiuo atveju jų tarpusavio padėtis bus neapibrėžta, nes sunku nustatyti detalių poslinkius pagal deformuotus jų paviršius. Tokiais atvejais matuojamos abiejų detalių deformacijos arba vienos detalės vieno paviršiaus deformacija pastovių (bazinių) detalės arba įtaiso paviršių atžvilgiu. Kai kurios detalės į rinkimo poziciją paduodamos deformuotos. Tokios detalės dėl pirminės deformacijos pradiniu momentu netenkina rinkimo sąlygų. Jas galima surinkti tik valdant sujungimo procesą pagal deformacijas. Tokio rinkimo pavyzdžiais gali būti plonasienių gaubtų pastatymas ant standžių korpusinių detalių, plonų plokštelių paketų įstatymas į išdrožas, spyruoklinių fiksavimo žiedų, manžetų pastatymas.



2.10 pav. Jutiklių  $D_1$  ir  $D_2$  išdėstymas deformacijoms matuoti

Sujungimo proceso valdymui pagal deformacijas reikia nustatyti leistinąsias detalių (objektų) deformacijas, pagal jas nustatyti limituojančiojo objekto leistinąją rinkimo jėgą  $F_{smax}$  ir jos dedamųjų sukeliamas kitų objektų deformacijas:

$$F_{smax} \geq \xi_1 j_1 \Delta_{def1} \geq \xi_2 j_2 \Delta_{def2} \geq \dots \geq \xi_n j_n \Delta_{defn} \quad (2.3)$$

čia  $j_1, j_2, \dots, j_n$  – atskirų objektų standumas.

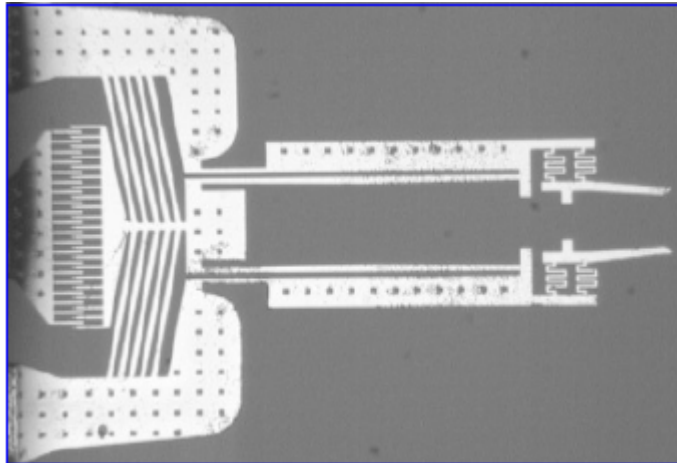
Pagal skaičiavimo rezultatus arba eksperimentiškai sudaromi priklausomybių  $F_{si} = \varphi(\Delta_{def})$  grafikai (2.9 pav., b), nustatomos jų kitimo ribos  $L_{\Delta}$ ,  $L_{\Delta}^S$  ir parenkama detalė (objektas), pagal kurios deformacijas bus valdomas sujungimo procesas.

**Pagal jungiamųjų paviršių tarpusavio padėtį rinkimo procesas valdomas tada,** kai negalima leisti labai padidėti rinkimo jėgai, o detalių deformacijos sujungimo metu yra nedidelės ir pagal jas negalima valdyti proceso. Taip būna surenkant precizines detales, surenkant neplastiškas ir nestiprias konstrukcijas, sujungiant glotniai apdirbtas detales.

Griebtuvas skirtas miniatiūrinių detalių sujungimui kurio konstrukcijoje įdiegta jėgos jutikliai kurių veikimas pagrįsti tenzoefektu pavaizduotas (2.11 pav.). Esant tokiai griebtuvo konstrukcijai ir remiantis informacija gauta iš konstrukcijoje įdiegtų jutiklių miniatiūrinės detales galima sujungti esant minimaliai jų suspaudimo [5].

Kai jungiamieji paviršiai nėra gaubiamieji ir gaubiantieji detalių paviršiai, jų tarpusavio padėtis surinktame gaminyje priklauso tik nuo rinkimo mechanizmų tikslumo. Tokio rinkimo pavyzdys – detalės pastatymas reikiamu tikslumu kitos detalės matavimo bazės atžvilgiu, kai nefiksuoja pirmosios detalės padėtis šia kryptimi. Tokiais atvejais rinkimo procesą valdyti galima tik pagal detalių tarpusavio padėtį.

Sujungimo proceso valdymui pagal detalių paviršių tarpusavio padėtį reikia žinoti leistinųjų poslinkių sujungiant detales kitimo dėsnį, kuris priklauso nuo bazavimo schemos ir rinkimo būdo. Surenkant gaminius, matuojami detalių tarpusavio poslinkiai ir lyginami su leistinaisiais. Pagal poslinkių palyginimo rezultatus valdymo sistema taip reguliuoja detalių tarpusavio padėtį, kad jos susijungtų.



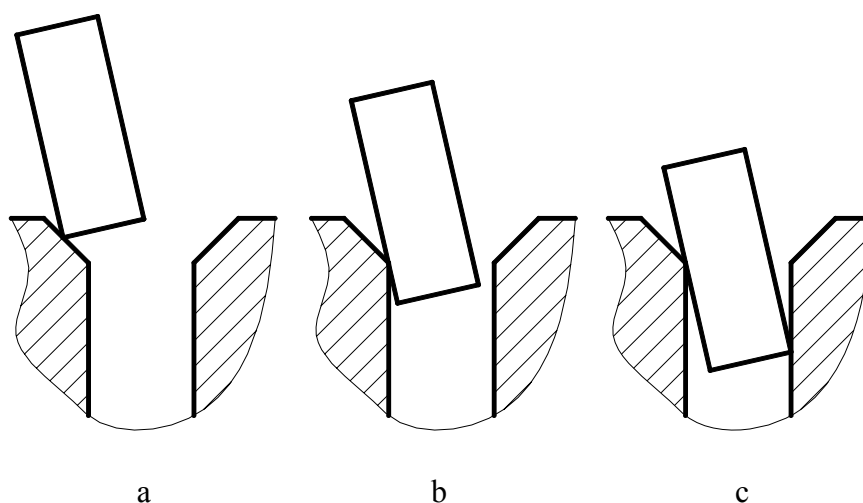
2.11 pav. Griebtuvas su sujungimo jėgos jutikliais skirtas miniatiūrinių detalių sujungimui

**Valdymas pagal detalių savybes.** Technologinės jėgos, termodinaminiai ir fiziniai bei cheminiai poveikiai gali pakeisti surenkamųjų detalių savybes: temperatūrą, mechaninį atsparumą, talpumą, virpesių dažnį, mikrostruktūrą, kietumą. Norint valdyti rinkimo procesą pagal šiuos parametrus, reikia juos išmatuoti ir nustatyti parametru ir technologinių poveikių tarpusavio ryšį. Kiekvienam objektui parenkamas koks nors vienas dominuojantis parametras ir nustatoma jo priklausomybė nuo technologinio poveikio. Pagal šį parametru valdomas rinkimo procesas. Taip valdomas įkaitintų detalių sujungimas, detalių iš feromagnetinių lydinių presavimas, objektų, kuriems iš anksto nustatytas talpumas, elektrinis laidumas ar kiti parametrai, rinkimas.

### 3. Detalių sujungimo kvazistatinis modelis

Vienas svarbiausių automatinio rinkimo etapų – renkamų detalių sujungimas. Neteisingai parinkus sujungimo parametrus, sujungimo procesas gali sutrikti, taip sugadindamas detales ir rinkimo įrangą. Todėl svarbu gerai iširti sujungimo procesą, kad būtų išvengta panašių padarinių ir būtų galima suprojektuoti patikimą ir efektyvią rinkimo įrangą. Sujungimo tyrimui patogiu sudaryti matematinį modelį ir atlikti skaitmeninius eksperimentus modeliuojančius strypo ir įvorės sujungimą.

Dviejų detalių sujungimo procese galima išskirti tris stadijas: kontaktavimas su nuožula (3.1 pav., a), vieno taško kontaktas (3.1 pav., b), dviejų taškų kontaktas (3.1 pav., c) .



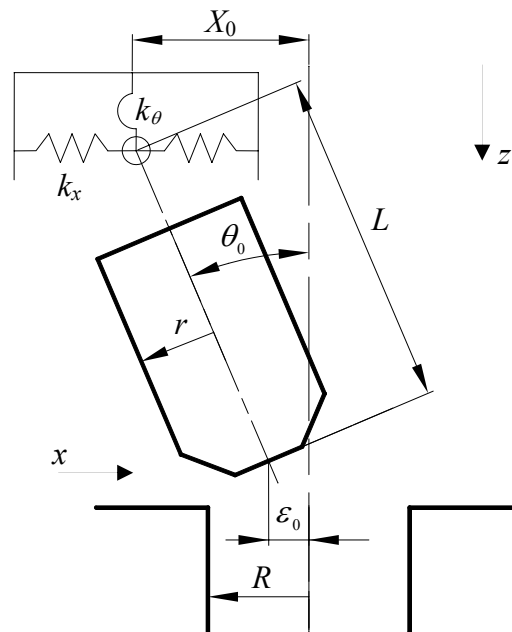
3.1 pav. Detalių sujungimo stadijos: a – kontaktavimas su nuožula, b – vieno taško kontaktas, c – dviejų taškų kontaktas

Prie tam tikrų sąlygų, dviejų taškų kontakto gali ir nebūti. Kartais vieno taško arba linijinis kontaktas gali įvykti po dviejų taškų kontakto stadijos.

Kiekvienoje sujungimo stadijoje galioja skirtingos strypo judėjimo priklausomybės ir geometriniai sąryšiai. Sudarant matematinį modelį reikalinga į tai atsižvelgti ir nustatyti geometrines priklausomybes bei judesio charakteristikas galiojančias kiekvienoje sujungimo proceso stadijoje, be to reikia nustatyti kiekvienos sujungimo stadijos galiojimo ribas t. y. kokiomis sąlygomis pereinama iš vienos sujungimo proceso stadijos į kitą.

### 3.1 Cilindrinio detalių sujungimo matematinis modelis

Nagrinėjamas strypo ir įvorės sujungimas, atsižvelgiant į svarbiausias sujungimo stadijas: komponentų suartinimo sąlygtį su įvorės nuožula, jungiamųjų paviršių lietimąsi su vienu ir dviem taškais. Norint kompensuoti jungiamųjų komponentų tarpusavio padėties rinkimo pozicijoje paklaidas, reikia juos pasukti ir perstumti vieną kito atžvilgiu [1]. Dėl to bazavimo įtaisai turi užtikrinti kokius nors vieno jungiamojo komponento poslinkius. Tariama, kad kampas  $\theta$  tarp strypo ir įvorės ašių gana mažas, o vykdymo įtaisas stumia griebtuvą su jame įtvirtintu strypu lygiagrečiai su skylės ašimi (3.2 pav.). Skylės ir strypo spinduliai yra  $R$  ir  $r$ . Strypo judėjimą lemia skrituliui pažymėto paslankumo centro tiesinis  $k_x$ , ir kampinis  $k_\theta$  standumas [5]. Sudarant matematinį modelį daroma prielaida, kad pozicionuojamas komponentas paslankumo centre standžiai sujungtas su griebtuvu ir šis centras yra strypo ašyje. Strypui palietus nuožulą, paslankumo centre atsiranda jėgos  $x$  ir  $z$  ašių kryptimis  $F_x, F_z$  (3.3 pav.).

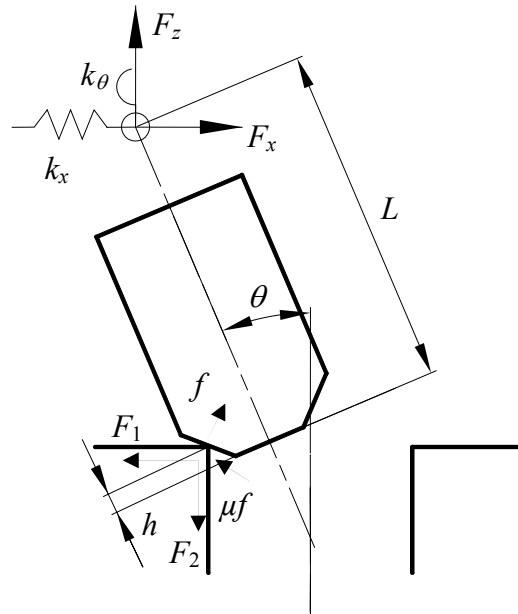


3.2 pav. Strypo ir įvorės pozicionavimo schema

Pradinėje padėtyje strypo galo tiesinė bazavimo paklaida jo ašis pasvirusi įvorės ašies atžvilgiu kampą  $\theta_0$ . Dėl to griebtuvo paslankumo centras nutolęs nuo įvorės ašies atstumu  $X_0$ , didesniu nei strypo galo bazavimo paklaida  $\epsilon_0$ .

$$X_0 = \epsilon_0 + L\theta \quad (3.1)$$

Komponentams susilietus, deformuojasi griebtuvo tamprieji elementai ir pasikeičia paslankumo centro padėtis, nusakoma koordinate  $X$  ir poslinkio kampu  $\theta$ , kontakto vietoje atsiranda normalinė reakcijos jėga  $f$  ir trinties jėga  $\mu f$  [1].



3.3 pav. Kontaktavimo nuožula stadija

Strypui kontaktuojant nuožula su skylės briauna veikia reakcijos jėga  $f$  ir trinties jėga  $\mu f$ , jėgos  $F_1 = -F_x$ ,  $F_2 = F_z$  ir momentas  $M = F_2 r$  (3.3 pav.). Remiantis jėgų balansu:

$$F_1 = f \cdot A; F_2 = f \cdot B \quad (3.2)$$

čia:  $A = \sin \alpha - \mu \cos \alpha$ ;  $B = \cos \alpha + \mu \sin \alpha$ ,  $\alpha$  - nuožulos kampas.

Jėga  $F_x$  ir momentas  $M$  apskaičiuojami pagal formules:

$$F_x = k_x (X_0 + X) \quad (3.3)$$

$$M = k_x L (X_0 + X) - k_\theta (\theta - \theta_0) \quad (3.4)$$

Iš (3.3) ir (3.4) priklausomybių, atsižvelgiant į (3.1) ir (3.2) išraiškas gaunamos strypo posūkio kampo ir paslankumo centro šoninio poslinkio, kai strypas liečiasi su nuožula vertės:

$$\theta = \theta_0 + \frac{k_x \left( \frac{z}{\tan \alpha} \right) (A L - B r)}{A (k_x L^2 + k_\theta) - B k_x L r} \quad (3.3)$$

čia:  $z$  - paslankumo centro poslinkis ašine kryptimi;  $L$  - atstumas nuo strypo galo iki paslankumo centro;

$$X = -X_0 + \frac{A\left(\frac{z}{\tan \alpha}\right)k_\theta}{A(k_x L^2 + k_\theta) - Bk_x Lr} \quad (3.4)$$

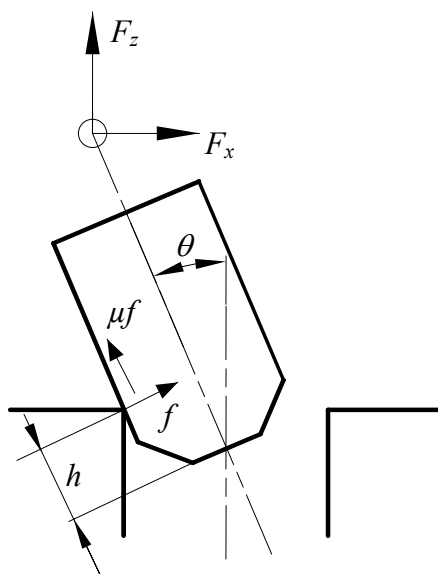
Paslankumo centre atsirandanti jėga  $z$  ašies kryptimi:

$$F_z = \frac{A\left(\frac{z}{\tan \alpha}\right)k_x k_\theta}{A(k_x L^2 + k_\theta) - Bk_x Lr} \quad (3.5)$$

Kontakto su nuožula stadija baigiasi ir prasideda vieno taško kontakto stadija, kai sujungimo gylis  $h$  (3.3 pav.) pasidaro didesnis nei nuožulos aukštis:

$$h = \frac{z}{\cos \theta} > h_n \quad (3.6)$$

Strypui nuslydus nuožula, cilindrinis strypo paviršius pradeda kontaktuoti su įvorės skylės briauna. Prasideda vieno taško kontakto stadija, kontakto taške atsiranda reakcijos jėga  $f$  ir trinties jėga  $\mu f$  (3.4 pav.).



3.4 pav. Vieno taško kontakto stadija

Vieno taško kontakto stadijos atveju strypo pasvirimo kampas  $\theta$ , paslankumo centro koordinatė  $X$ , bei jėgos  $F_x$ ,  $F_z$  aprašomos formulėmis:

$$\theta = \frac{k_x(L - h - \mu r)((\varepsilon_0 - cR) + L\theta_0) + k_\theta\theta_0}{k_\theta(L - h - \mu r)(L - h) + k_\theta} \quad (3.7)$$

čia:  $c = (R - r)/r$  – santykinis tarpelis.

$$X = -(cR + L\theta - h\theta) \quad (3.8)$$

$$F_x = k_x(X_0 + X) \quad (3.9)$$

$$F_z = \frac{\mu k_x k_\theta ((\varepsilon_0 - cR) + h\theta_0)}{k_\theta (L - h - \mu r)(L - l) + k_\theta} \quad (3.10)$$

Vieno taško kontakto stadija tęsiasi kol strypas nuožulos briauna paliečia skylės vidinį paviršių t. y. kol galioja sąlyga:

$$2R - (h - h_n) \sin \theta - 2r \cos \theta > 0 \quad (3.11)$$

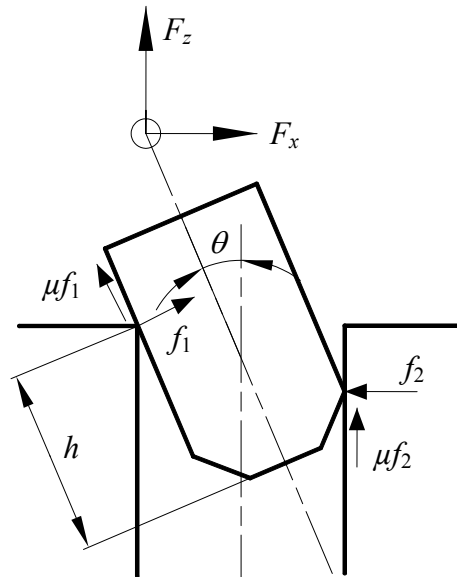
Pasibaigus vieno taško kontakto stadijai prasideda dviejų taškų kontakto stadija, strypo kontakto taškuose su skylė atsiranda reakcijos jėgos  $f_1$ ,  $f_2$  ir trinties jėgos  $\mu f_1$ ,  $\mu f_2$  (3.5 pav.). Dviejų taškų kontakto stadijoje galioja šios priklausomybės:

$$\theta = \frac{2cR}{h} \quad (3.12)$$

$$X = R - r \cos \theta - L \sin \theta \quad (3.13)$$

$$F_x = k_x L(\theta_0 - \theta) + k_x(\varepsilon_0 + cR) \quad (3.14)$$

$$F_z = \frac{2\mu}{h} \left[ (k_x L^2 + k_\theta)(\theta_0 - \theta) + k_x L(\varepsilon_0 + cR) \right] - \mu \left( 1 + \frac{2\mu r}{h} \right) [k_x L(\theta_0 - \theta) + k_x(\varepsilon_0 + cR)] \quad (3.15)$$



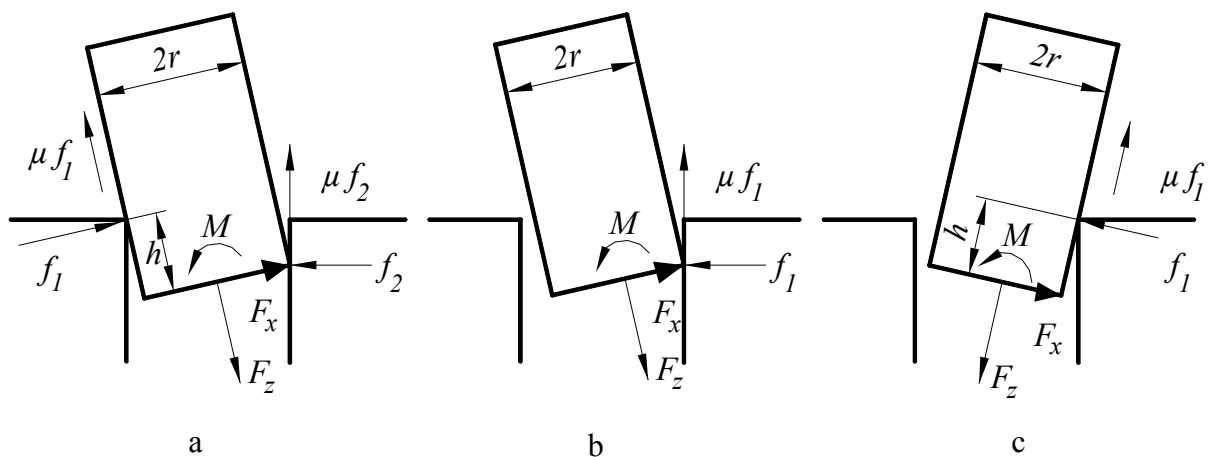
3.5 pav. Dviejų taškų kontakto stadija



Sujungimo procesas baigiamas, kai pasiekiamas reikalingas sujungimo gylis  $h_r$ .

### 3.2 Sujungimo proceso patikimumas

Sujungimo sėkmę lemia ne tik geometriniai renkamųjų komponentų parametrai, bet ir juos veikiančios jėgos. Komponentai sujungimo metu gali įstrigti kai jie netiksliai pagaminti ar netiksliai apskaičiuota jų sujungimo jėga [9]. Jeigu apskaičiuotas strypo įstatymo į įvorės skylę gylis didesnis nei įvorės aukštis, jungiamieji komponentai įstrigti negali. Įstrigimas-tokia strypo būseną, kai dėl netinkamo jį veikiančių jėgų ir momento santykio jis negali slinkti įvorės skylėje. Šias jėgas ir momentą lemia griebtuvo tampriųjų elementų standumas [1].



3.6 pav. Sujungimo ir reakcijų jėgos: a – dviejų taškų kontakto stadijoje; b,c – vieno taško kontakto stadijoje

Esant dviejų taškų kontaktui (3.6 pav., a) jėgų pusiausvyros sąlygos aprašomos lygtimis [8]:

$$F_z = \mu(f_1 + f_2) \quad (3.16)$$

$$F_x = f_2 - f_1 \quad (3.17)$$

$$M = f_1 l - \mu r (f_2 - f_1) \quad (3.18)$$

Iš šių lygčių gauname:

$$\frac{M}{rF_z} = \frac{l}{2r\mu} - \frac{F_x}{F_z} \left( \frac{l}{2r} + \mu \right) \quad (3.19)$$

Pažymėję  $\lambda = l/(2r\mu)$ , lygtį (3.19) užrašome tokiu pavidalu:

$$y = mx + b \quad (3.20)$$

Čia  $y = M/(rF_z)$ ;  $x = F_x/F_z$ ;  $m = -\mu(1 + \lambda)$ ;  $b = \pm\lambda$ ;  $-\lambda$  imamas tada, kai strypas pasviręs į kita pusę.

Esant vieno taško kontakto situacijai pavaizduotai (3.6 pav., b) jėgų pusiausvyros sąlygos turės tokį pavidalą:

$$M + \mu rF_x = 0 \quad (3.21)$$

$$F_z - \mu F_x = 0 \quad (3.22)$$

arba

$$F_x / F_z = 1 / \mu \quad (3.23)$$

$$\frac{M}{rF_z} = \frac{-\mu F_x}{F_z} \quad (3.24)$$

Situacijoj pavaizduotoj (3.6 pav., c) jėgų pusiausvyros sąlygos užrašomos taip:

$$M + lF_x + \mu rF_x = 0 \quad (3.25)$$

$$F_z - \mu F_x = 0 \quad (3.26)$$

arba

$$F_x / F_z = 1 / \mu \quad (3.27)$$

$$\frac{M}{rF_z} = -(2\lambda + 1) \quad (3.28)$$

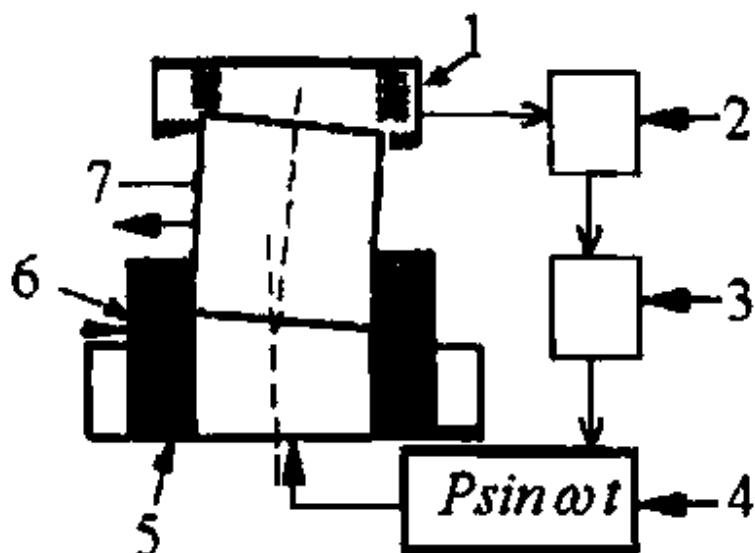
Taip pat galimi dar du vieno taško kontakto atvejai (kai strypas pasviręs į priešingą pusę):

$$F_x / F_z = 1 / \mu \quad (3.29)$$

$$\frac{M}{rF_z} = 1 \quad \text{arba} \quad \frac{M}{rF_z} = (2\lambda + 1) \quad (3.30)$$

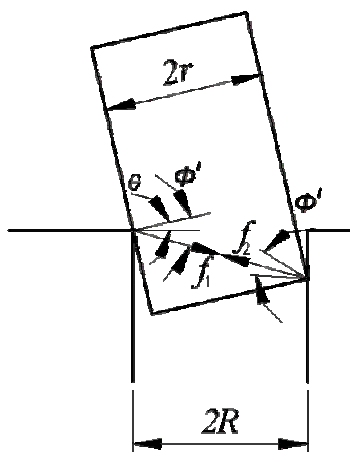
Visus keturis vieno taško kontakto atvejus galima užrašyti lygtimi:





3.8 pav. Virpesių sužadinimo schema

Griebtuve *1* įmontuoti strypo *7* posvirio kampo ir tampriųjų elementų deformacijų jutikliai, įvorė *6* tvirtinama įtaise *5*, kuris sujungtas su virpesių generatoriumi *4*. Jutiklių signalai patenka į analizatorių *2*, o iš jo siunčiami į valdymo įrenginį *3*. Strypui išstrigus, jutikliai suformuoja valdymo signalą, kuris įjungia įvorės *5* ašinių virpesių generatorių. Dėl virpesių lietimosi taškuose sumažėja trinties jėga ir strypas išlaisvinamas.



3.9 pav. Įsispraudimas: kairysis ir dešinysis trinties kūgiai kertasi ir reakcijos jėgos veikia vienoje linijoje.

Įsispraudimas tai būseną, kai reakcijos jėgos yra trinties kūgių viduje ir veikia vienoje linijoje, dėl ko strypas nebejudą (3.9 pav). Įsispraudimas gali įvykti tikrai dviejų taškų

kontakto stadijoje. Įsispraudimo išvengti negalima keičiant suteiktų jėgų ir momentų proporcijas. Šios būsenos atsiradimas priklauso nuo renkamų detalių padėties viena kitos atžvilgiu, bei paviršių trinties [8]. Detalės įsispraudžia kai strypo pasvirimo kampas skylės atžvilgiu didesnis:

$$|\theta| > \theta_w = \frac{c}{\mu} \quad (3.32)$$

### 3.3 Sėkmingo sujungimo sąlygos

Įvertinus detalių sujungimo specifiką ir sujungimo patikimumo kriterijus galima suformuluoti sėkmingo sujungimo sąlygas:

a) kad įvyktų kontaktavimas su nuožula būtina sąlyga:

$$|\varepsilon_0| < w \quad (3.33)$$

Čia  $\varepsilon_0$  - linijinė pozicionavimo paklaida,  $w$  - nuožulos plotis.

b) Kad išvengti įstrigimo reikia tenkinti sąlygas:

$$\left| \frac{M}{rF_z} + \frac{\mu(1+\lambda)F_x}{F_z} \right| < \lambda \quad (3.34)$$

$$\left| \frac{F_x}{F_z} \right| < \frac{1}{\mu} \quad (3.35)$$

c) kad išvengti įsispraudimo, dviejų taškų kontaktas turi įvykti strypo posvyrio kampui esant mažesniam:

$$|\theta_2| < c / \mu \quad (3.36)$$

## 4. Detalių sujungimo modeliavimas

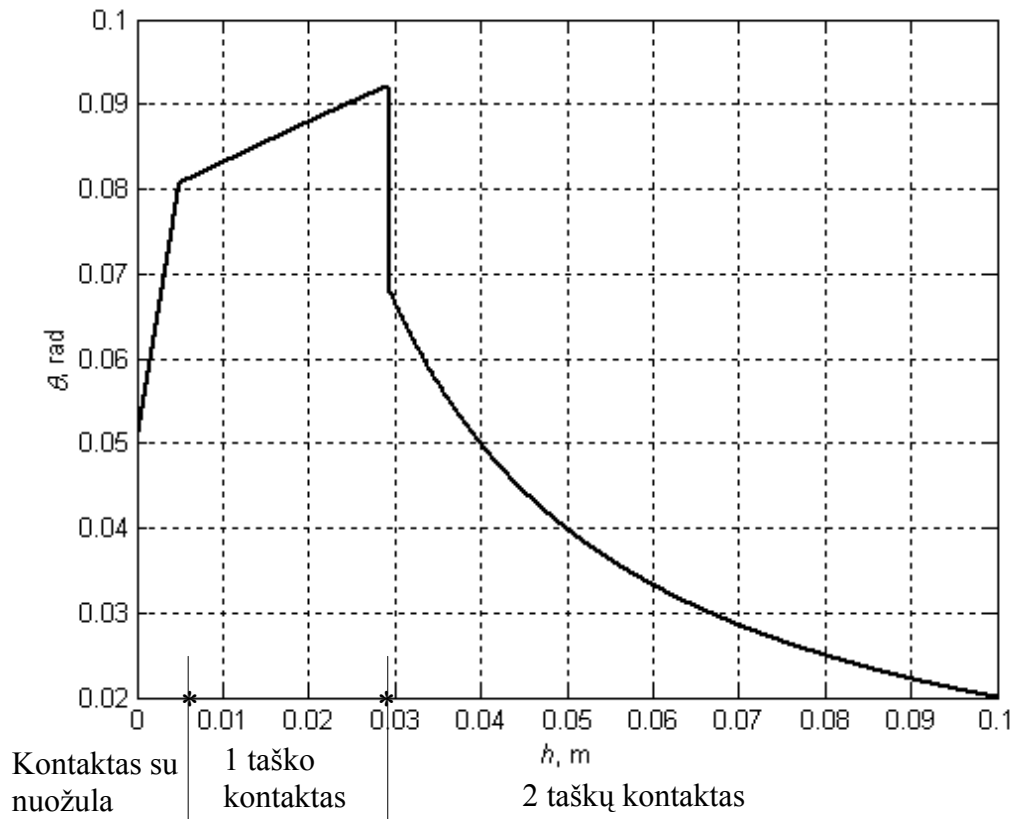
Strypo ir įvorės sujungimo modeliavimo programa buvo parašyta MatLab aplinkoje. Atlikus sujungimo modeliavimą buvo nustatyta strypo judesio pobūdis ir sujungimo jėgos sujungimo proceso metu. Modeliuojant sujungimą, buvo nustatyta kurie parametrai ir kokios jų reikšmės lemia mažesnę rinkimo įrangos apkrovimą, bei nustatyta įvairių parametru įtaka sujungimo patikimumui.

Modeliavime buvo panaudotos tokios sujungimo parametru reikšmės:

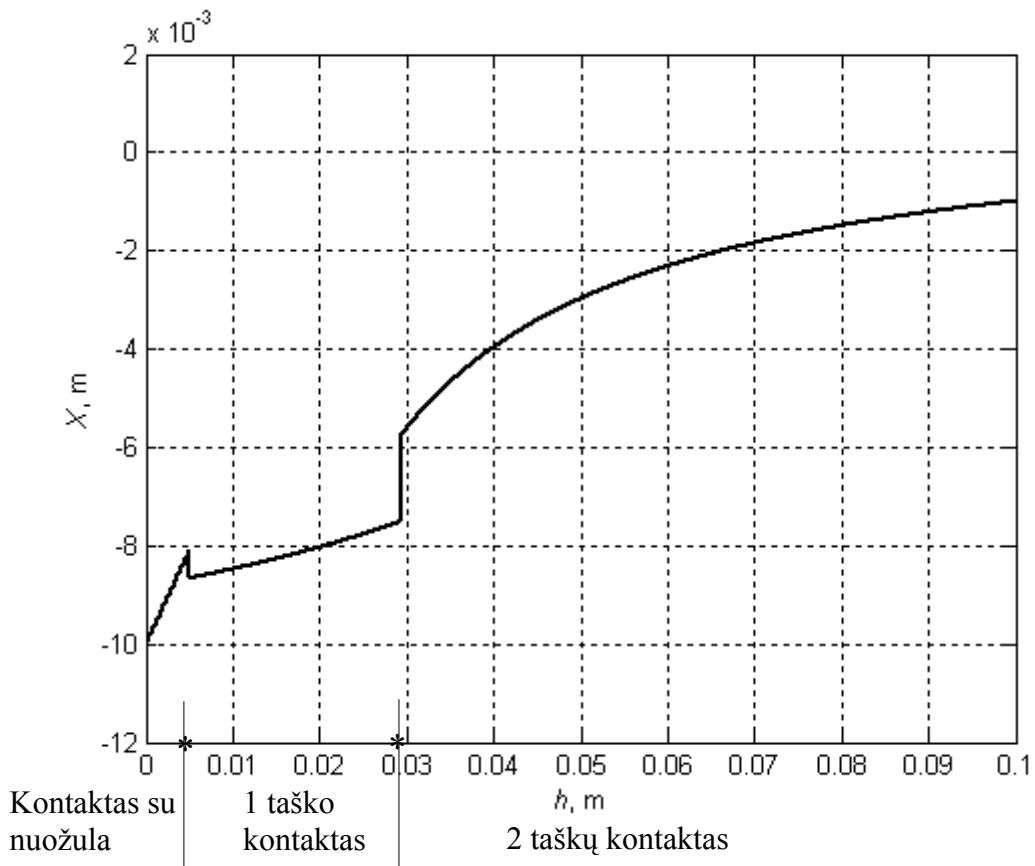
- pradinis strypo posviris  $\theta_0 = 0.05$  rad;
- standumas šonine kryptimi  $k_x = 5000$  N/m;
- kampinis standumas  $k_\theta = 20$  Nm/rad;
- strypo nuožulos kampas  $\alpha = 45^\circ$ ;
- nuožulos aukštis  $h_n = 0.005$  m;
- atstumas iki griebtuvo paslankumo centro  $L = 0.1$  m;
- strypo spindulys  $r = 0.029$  m;
- skylės spindulys  $R = 0.03$  m;
- trinties koeficientas  $\mu = 0.1$ ;
- pradinė šoninė pozicionavimo paklaida  $\varepsilon_0 = 0.05$  m;
- reikalingas sujungimo gylis  $h_r = 0.1$  m.

### 4.1 Strypo judėjimo sujungimo metu tyrimas

Atlikus modeliavimą paaiškėjo, kad strypo pasvirimo kampas kontaktavimo su nuožula metu stipriai padidėja, pasvirimo kampas taip pat didėja ir vieno taško kontakto stadijos metu, dviejų taškų kontakto stadijos metu strypo pasvirimo kampas mažėja (4.1 pav.). Paslankumo centro  $x$  koordinatės kitimas sujungimo metu pavaizduotas diagramoje (4.2 pav.). Kaip matyti iš šios diagramos paslankumo centras  $x$  kryptimi sujungimo proceso metu artėja prie 0 visose sujungimo proceso stadijose.



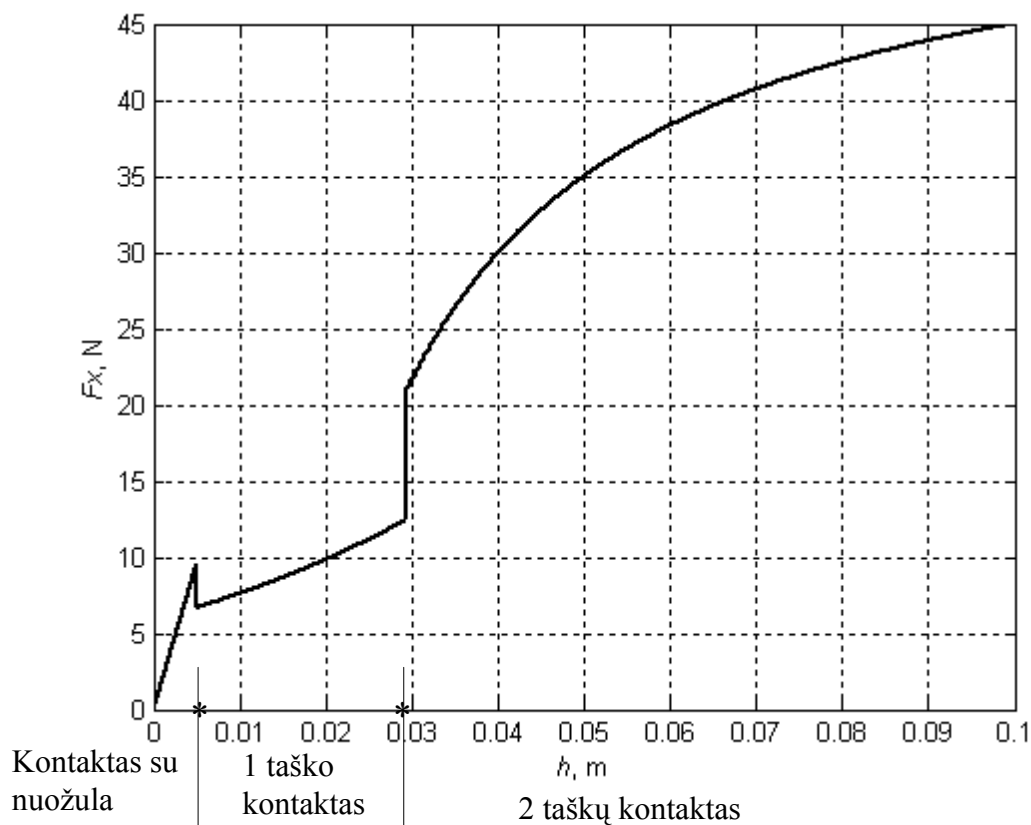
4.1 pav. Strypo pasvirimo kampo kitimas sujungimo metu



4.2 pav. Paslankumo centro poslinkis  $x$  ašies kryptimi

## 4.2 Paslankumo centre veikiančių jėgų tyrimas

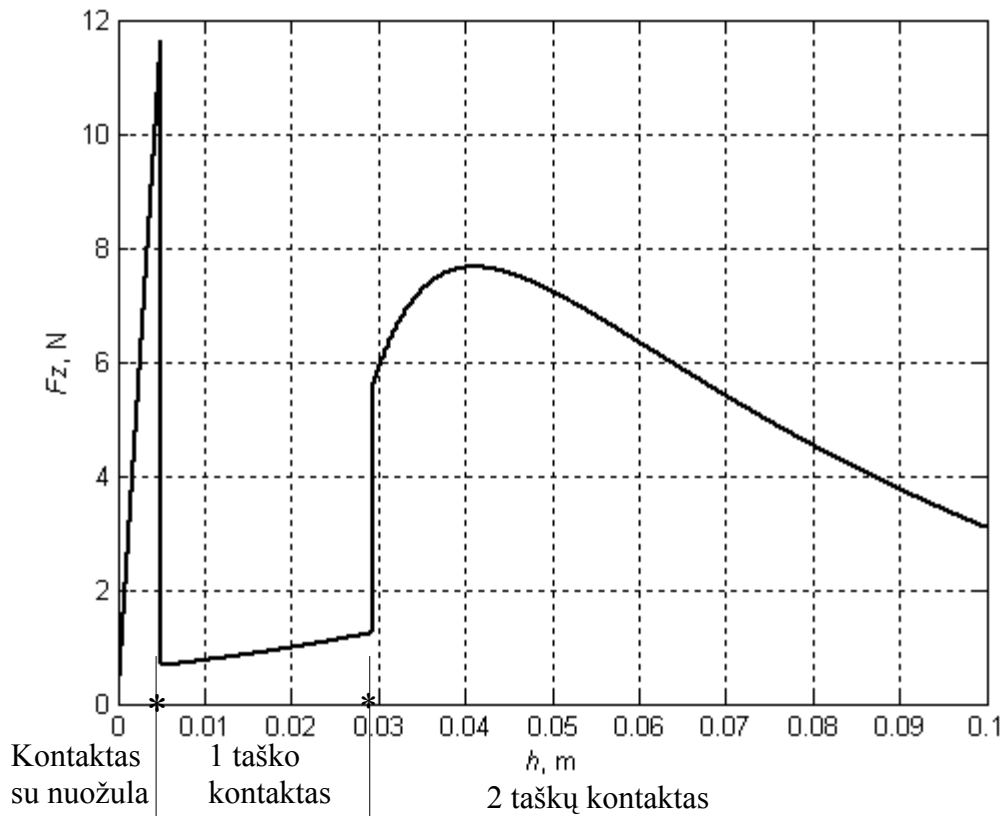
Styropo ir įvorės sujungimo modeliavimo metu gauta jėgos  $x$  kryptimi kitimo kreivė pavaizduota (4.3 pav.). Jos kitimo pobūdis yra toks pat kaip ir paslankumo centro poslinkis  $x$  ašies kryptimi.



4.3 pav. Jėgos  $x$  ašies kryptimi  $F_x$  kitimas sujungimo proceso metu

Paslankumo centre jėga ašine kryptimi smarkiai padidėja kontakto su nuožula stadijos metu (4.4 pav.). Tik nuožulai praslydus skylės briauna ir įvykus dviejų taškų kontaktui, jėga  $F_z$  žymiai sumažėja. Dviejų taškų kontakto stadijos metu jėga  $F_z$  didėja palyginti nežymiai. Pereinant iš vieno taško kontakto stadijos į dviejų taškų kontakto stadiją, pastebimas žymus  $F_z$  jėgos šuolis, dėl atsiradusio papildomo kontakto skylės viduje. Vėliau  $F_z$  jėga pradeda mažėti.



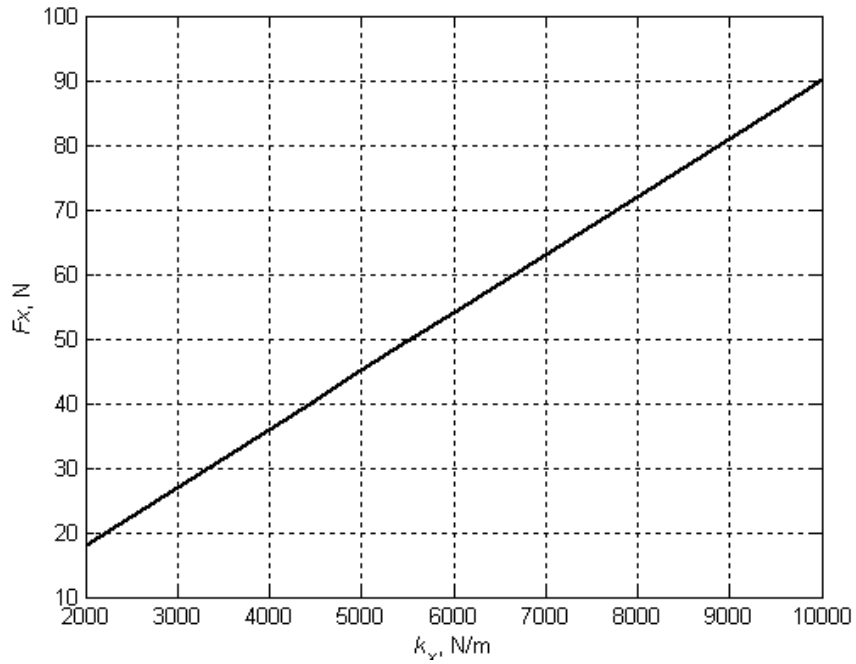


4.4 pav. Jėgos  $z$  ašies kryptimi  $F_z$  kitimas sujungimo proceso metu

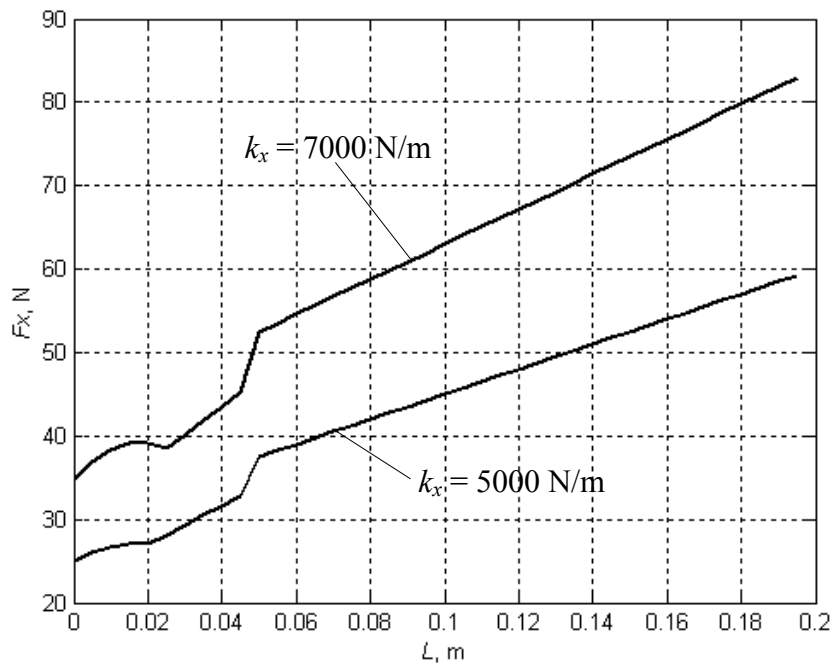
### 4.3 Optimalių sujungimo parametrų nustatymas siekiant sumažinti rinkimo įrangos apkrovas

Sujungimo proceso metu atsirandančios jėgos stipriai apkrauna rinkimo įrangą. Taip pat griebtuvai turi suspausti didesne jėga renkamas detales, dėl ko gali atsirasti nepageidaujamų reiškinių kaip detalių paviršiaus sugadinimas. Atsižvelgiant į tai, būtina parinkti tokius sujungimo proceso parametrus, kurių įtakoje pastebimai sumažėtų rinkimo pasipriešinimo jėgos. Sumažinus sujungimo metu atsirandančias jėgas  $F_x$ ,  $F_z$ , sumažėja rinkimo įrangos kaina, padidėja jos patikimumas ir ilgaamžiškumas, detalės veikiamos mažesnės griebtuvo suspaudimo jėgos.

Tyrimo metu nustatyta, kad labiausiai sujungimo metu atsirandančiai jėgai  $x$  ašies kryptimi didžiausią įtaką daro šoninis standumas  $k_x$  ir atstumas  $L$  iki paslankumo centro. Didėjant  $k_x$ , jėgos  $F_x$  maksimali reikšmė pastebimai didėja (4.5 pav., a). Didėjant  $L$ , jėga  $F_x$  taip pat ženkliai padidėja (4.5 pav., b). Kampinis standumas  $k_\theta$  jėgos  $F_x$  pokyčiui įtakos neturi.



a



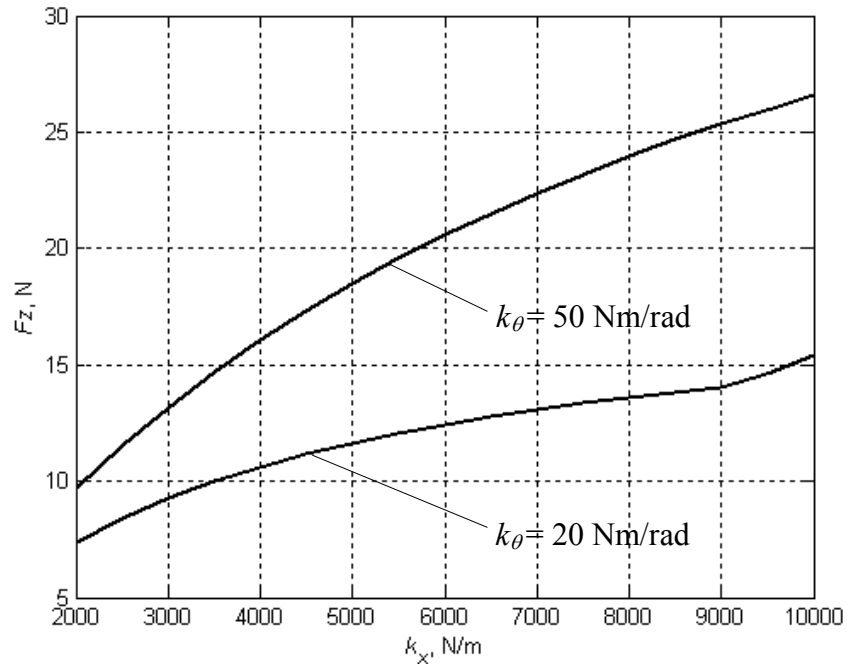
b

4.5 pav. Jėgos  $F_x$  priklausomybės nuo: a – šoninio standumo  $k_x$ ; b – atstumo  $L$  iki paslankumo centro

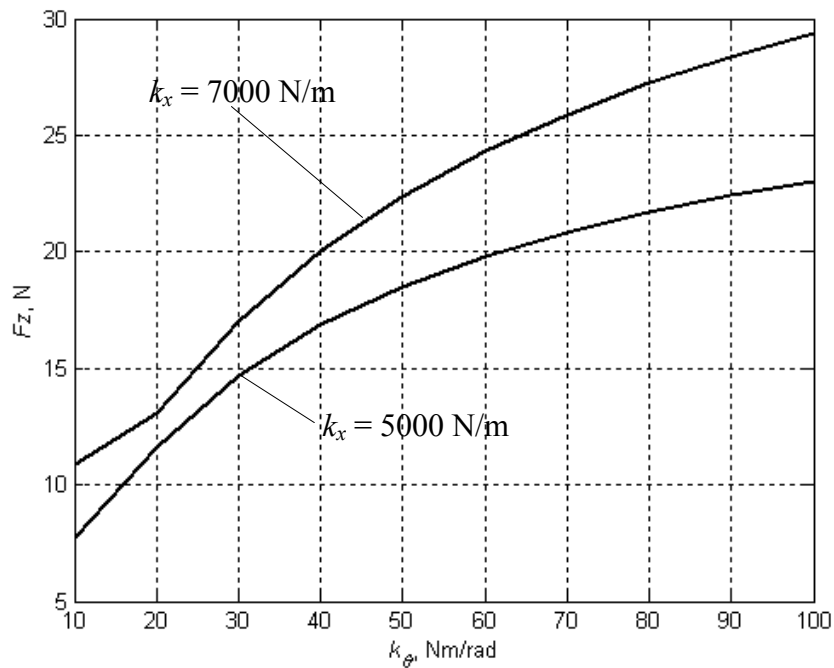
Nustatyta, kad labiausiai sujungimo metu atsirandančiai jėgai  $z$  ašies kryptimi didžiausią įtaką daro šoninis standumas  $k_x$  ir ašinis standumas  $k_\theta$ . Didėjant  $k_x$ , jėgos  $F_z$  maksimali reikšmė pastebimai didėja (4.6 pav., a). Didėjant kampiniam standumui  $k_\theta$ , jėga  $F_z$

didėja (4.6 pav., b). Taip pat jėgai  $F_z$  ženkliai įtaką daro ir trinties koeficiento didėjimas, kuriam padidėjus  $F_z$  didėja (4.7 pav).

Vadinasi, kad rinkimo įrangos apkrovas galima sumažinti sumažinus strypo bazavimo standumus šonine  $k_x$  ir kampine  $k_\theta$  kryptimis ir sumažinus atstumą iki paslankumo centro  $L$  bei trintį tarp detalių  $\mu$ .

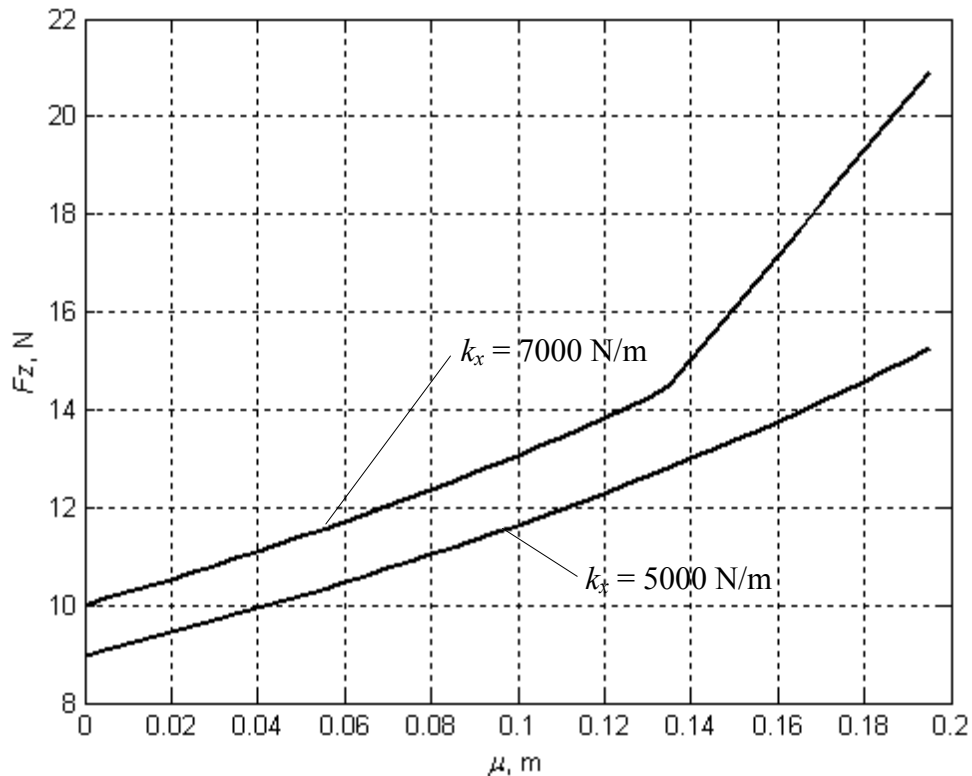


a



b

4.6 pav. Jėgos  $F_z$  priklausomybės nuo bazavimo standumų: a – šoninio  $k_x$ ; b – kampinio  $k_\theta$



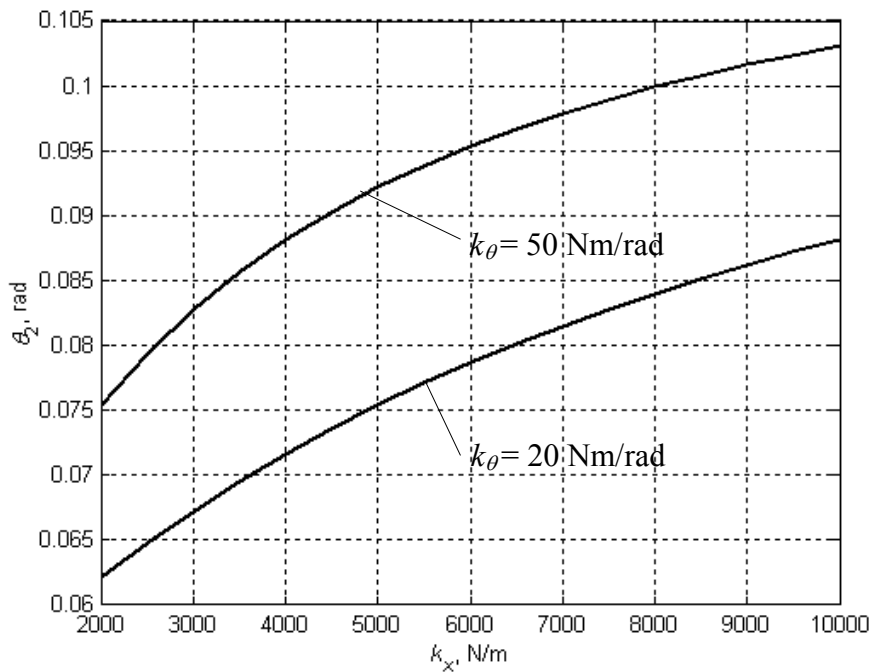
4.7 pav. Jėgos  $F_z$  priklausomybės nuo paviršių trinties koeficiento

#### 4.4 Sujungimo patikimumo tyrimas

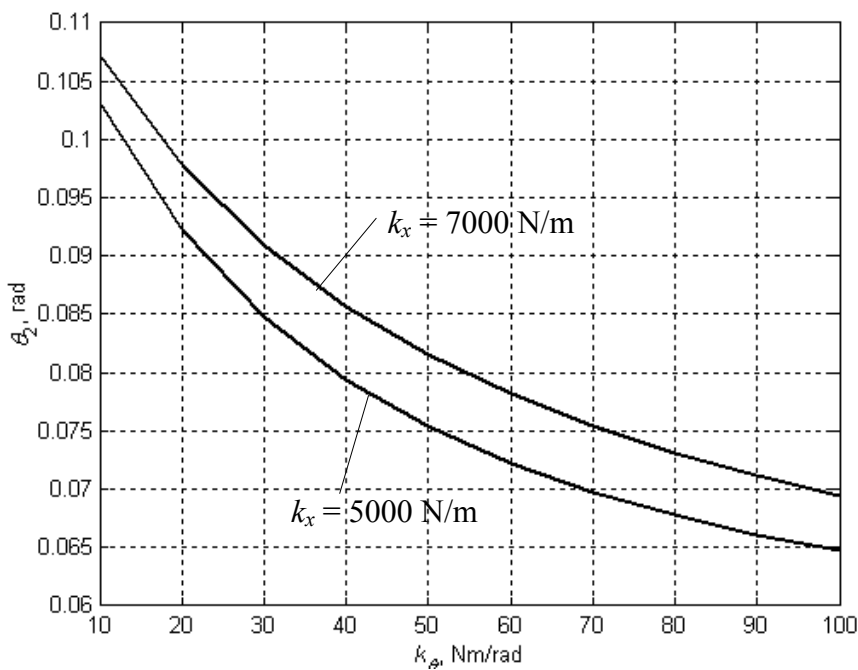
Sujungimo procesui sutrikus, sugadindamos detales ir rinkimo įranga. Todėl svarbu užtikrinti sujungimo proceso patikimumą, kad būtų išvengta panašių padarinių. Kadangi kaip žinome sujungimo procesas sutrinka kai dviejų taškų kontaktas įvyksta esant strypo pasvirimo kampui didesniai nei išispraudimo  $|\theta_2| > \theta_w = c / \mu$ , vadinasi siekiant užtikrinti sujungimo proceso patikimumą, reikia parinkti tokius sujungimo proceso ir rinkimo įrangos parametrus, kad tas kampas būtų kuo mažesnis.

Atlikus tyrimą nustatyta, kad kampas  $\theta_2$  mažėja, kai mažėja šoninis bazavimo standumas  $k_x$  (4.8 pav., a). Kampiniui standumui  $k_\theta$ , didėjant kampas  $\theta_2$  mažėja (4.8 pav., b). Tačiau, kaip jau buvo nustatyta, labai padidinus kampinį standumą, stipriai padidėja rinkimo įrangos apkrovos. Todėl svarbu racionaliai padidinti kampinį standumą, kad būtų užtikrintas sujungimo patikimumas, bei rinkimo įrangos apkrovos būtų pakankamai nedidelės. Didėjant atstumui  $L$  nuo strypo apačios iki paslankumo centri, pastebimas didelis kampo  $\theta_2$  šuolis (4.9 pav.). Atsižvelgiant į tai, priimtinausias sprendimas būtų nustatyti  $L$  artimą nuliui.

Atsižvelgus į tyrimo rezultatus galima konstatuoti, kad sujungimo proceso patikimumas didėja mažėjant šoniniam standumui  $k_x$ , didėjant kapiniam standumui  $k_\theta$ , mažėjant atstumui  $L$ .

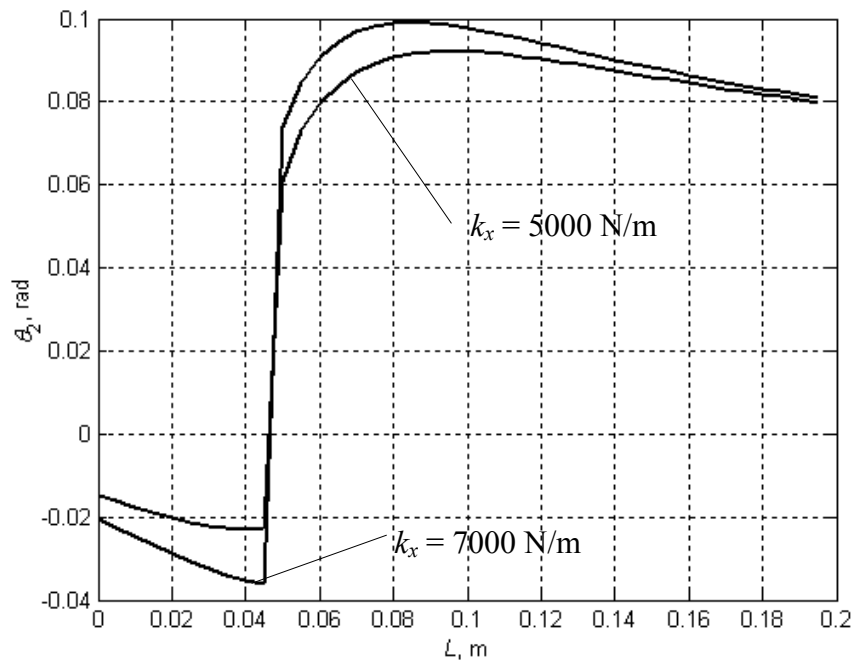


a



b

4.8 pav. Kampo  $\theta_2$  priklausomybės nuo styro bazavimo standumų: a – šoninio  $k_x$ ; b – kampinio  $k_\theta$



4.9 pav. Kampo  $\theta_2$  priklausomybės nuo atstumo  $L$  iki paslankumo centro

## 5. Išvados

1. Išnagrinėtas automatiškai renkamų detalių sujungimo procesas. Sudarytas sujungimo proceso matematinis modelis. MatLab terpėje parašytos sujungimo modeliavimo programos.
2. Modeliuojant sujungimo procesą, nustatytos sujungimo jėgų kitimo ir strypo judėjimo sujungimo metu charakteristikos.
3. Tyrimo metu gauti rezultatai parodė, kad rinkimo įrangos apkrovas galima sumažinti sumažinus strypo bazavimo standumus šonine  $k_x$  ir kampine  $k_\theta$  kryptimis ir sumažinus atstumą iki paslankumo centro  $L$  bei trintį tarp detalių  $\mu$ .
4. Nustatyta, kad sujungimas vyksta patikimiau, kai dviejų taškų kontaktas pasiekiamas esant kuo mažesniai strypo pasvirimui. Modeliuojant sujungimo procesą, nustatyta, kad šį pasvirimo kampą  $\theta_2$  galima sumažinti nustačius mažesnę surinkimo įrangos standumą  $k_x$ , parinkus minimalų atstumą iki paslankumo centro  $L$ , bei racionaliai padidinus kampinį standumą  $k_\theta$ , kadangi kaip jau buvo nustatyta didėjant kampiniui standumui išauga rinkimo įrangos apkrovos.

## LITERATŪRA

1. **B. Bakšys, A. Fedaravičius.** Vibracinės automatinio manipuliavimo sistemos ir mechanizmai. Kaunas: Technologija 2001. p. 315-359
2. **B. Bakšys, H. Medekšas.** Mašinų gamybos automatizavimas. Vilnius: Mokslas, 1988. p. 250-269.
3. **G. Kronreif.** Robotized Assembly of Geneva Gears – a Case Study for Education in Robotics. IFAC Intelligent Assembly and Dissassembly. Slovenia 1998. p. 117 – 122.
4. **D. Ardayfio.** Fundamentals of Robotics. New York. 1987. p.118-128.
5. **W.H Lee, B.H. Kang, Y.S. Oh, H. Stephanou, A.C. Sanderson, G. Skidmore, M. Ellis.** Micropeg Manipulation with a Compliant Microgripper.- Proc. of the 2003 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation. -Taipei, 2003. p.3213-3218.
6. **B. Bakšys, A. Fedaravičius.** Robotų technika. Kaunas: Technologija 2004. p. 373-486.
7. **E. Paulos, J. Canny.** “Informed Peg-In-Hole Insertion Using Optical Sensors”. Proceedings of the SPIE Sensor Fusion VI, Boston, Massachusetts, U.S.A., 1993. vol. 2059, p. 346–355.
8. **Shimon Y. Nof.** Handbook of Industrial Robotics. John Wiley & Sons. 1985. p. 348-382.
9. **Лебедовский М. С., Вейц В. Л., Федотщв А. И.** Научные основы автоматической сварки. Ленинград: Машиностроение, 1985, с. 177-210.
10. **B. Bakšys, A. Fedaravičius, A. B. Povilionis.** Connection conditions of mobile based parts. Mechanika. Kaunas: Technologija, 2002, Nr. 5(37). p.19-25.