



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**FUNDAMENTALIŲJŲ MOKSLŲ FAKULTETAS**  
**MATEMATINĖS SISTEMOTYROS KATEDRA**

**Kristina Lukoševičiūtė**

**TEKSTILĖS MEDŽIAGŲ LENKIMO IR  
KLUPDYMO PARAMETŲ  
PROGNOZAVIMAS**

Magistro darbas

**Vadovas**

**prof. habil. dr.  
V. Pekarskas**

**KAUNAS, 2006**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
FUNDAMENTALIŲJŲ MOKSLŲ FAKULTETAS**

**MATEMATINĖS SISTEMOTYROS KATEDRA**

**TVIRTINU  
Katedros vedėjas  
prof. habil.dr. V.Pekarskas  
2006 06 06**

**TEKSTILĖS MEDŽIAGŲ LENKIMO IR  
KLUPDYMO PARAMETRŲ  
PROGNOZAVIMAS**

Taikomosios matematikos magistro baigiamasis darbas

**Kalbos konsultantas**  
(.....)dr. J. Džežulskienė

**2006 05 30**

**Recenzentas**  
(.....) doc.dr.

E. Strazdienė  
**2006 06 01**

**Vadovas**  
(.....) prof. habil. dr.  
V. Pekarskas

**2006 06 03**

**Atliko**  
FMMM-4gr. stud.  
(.....) K. Lukoševičiūtė

**2006 05 25**

**KAUNAS, 2006**

## KVALIFIKCINĖ KOMISIJA

**Pirmininkas:** Leonas Saulis, profesorius (VGTU)

**Sekretorius:** Eimutis Valakevičius, docentas (KTU)

**Nariai:** Algimantas Jonas Aksomaitis, profesorius (KTU)

Vytautas Janilionis, docentas (KTU)

Vidmantas Povilas Pekarskas, profesorius (KTU)

Rimantas Rudzkis, profesorius (MII)

Zenonas Navickas, profesorius (KTU)

Arūnas Barauskas, UAB „Elsis“ generalinio direktoriaus pavaduotojas

**Lukoševičiūtė K. Prognosis of the bending and buckling parameters of textile fabrics: Master's work in applied mathematics / supervisor Prof. Dr. Habil. V. Pekarskas; Department of mathematical research in systems, Faculty of Fundamental Sciences, Kaunas University of Technology. – Kaunas, 2006. –48 p.**

## **SUMMARY**

In the textile industry it is important to know features of different fabrics. A number of experiments, which analyze the features of fabrics, are performed in Kaunas University of Technology. First of them is investigation of textile fabric buckling parameters using buckling wave test method. Three different plain weave fabrics treated with different concentrations of PVA (polyvinyl acetate) stiffener were chosen as a research objects. There were two factors, which outlined the behavior of the textile buckling. These were buckling wave's height and the area under it. The buckling wave can be outlined as projections of the fabric in the vertical direction. During experiment, the samples of textile were cut out in three directions: longitudinal, transverse and 45° bias direction. Function of wave area changes increasing the in-plain deformation has the same expression in all three cutting directions. It is determined that the wave's area function depends on two variables.

The bending behavior of fabrics is an important topic in scientific textile research as well as in industrial applications. The TH 7 bending meter provides a measure of force required to bend the fabric sample in different angles. The obtained force-angle relationship shows nonlinear behavior. The TH 7 tester was developed in Czech Republic as an alternative method to KES (Kawabata Evaluation System) bending meter that is the most frequently encountered and cited test used to determine the bending characteristics of fabrics. KES bending test is based on measuring the moment applying a prescribed bending deformation to a fabric sample. The parameters obtained by KES bending meter are bending rigidity and bending hysteresis. The nonlinear moment-curvature relationship was used to approximate the nonlinear bending stiffness in fabrics.

I have described dependence between the concentration of stiffener applied on the fabric and coefficients of earlier mentioned parameters that describe fabric buckling and bending behavior.

## TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS .....	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....	6
ĮVADAS .....	8
1 BENDROJI DALIS .....	9
1.1 TEKSTILĖS AUDINIŲ TYRIMAS .....	9
1.2 KLUPDYMAS GNIUŽDANT AUDINĮ .....	10
1.3 KLUPDYMO EKSPERIMENTO APRAŠYMAS .....	13
1.4 AUDINIO LENKIMO STANDUMO TYRIMAS .....	17
1.5 OPTIMIZAVIMO METODAI .....	20
1.6 STATISTINĖ REGRESIJOS LYGTIES ANALIZĖ .....	22
2 TIRIAMOJI DALIS .....	24
2.1 KLUPDYMO TYRIMO PRADINIŲ DUOMENŲ KLASIFIKACIJA .....	24
2.1.1 PLOTO PO KLUPDYMO BANGA TYRIMAS ATAUDŲ KRYPTIMI .....	24
2.1.2 PLOTO PO KLUPDYMO BANGA TYRIMAS METMENŲ IR ĮSTRIŽA KRYPTIMIS .....	29
2.1.3 KLUPDYMO BANGOS AUKŠČIO KITIMO TYRIMAS ATAUDŲ KRYPTIMI .....	30
2.1.4 KLUPDYMO BANGOS AUKŠČIO KITIMO TYRIMAS METMENŲ IR ĮSTRIŽA KRYPTIMIS .....	33
2.2 TH 7 APARATU GAUTŲ EKSPERIMENTO DUOMENŲ ATAUDŲ KRYPTIMI APROKSIMAVIMAS .....	35
2.3 „KAWABATA“ APARATU GAUTŲ EKSPERIMENTO DUOMENŲ ATAUDŲ KRYPTIMI APROKSIMAVIMAS .....	40
3 MEDVILNĖS AUDINIO LENKIMO IR KLUPDYMO EKSPERIMENTŲ DUOMENŲ PERŽIŪROS PROGRAMA .....	45
IŠVADOS .....	46
REKOMENDACIJOS .....	47
LITERATŪRA .....	48
1 PRIEDAS. DUOMENŲ IR REZULTATŲ LENTELĖS .....	49
2 PRIEDAS. PRADINIŲ DUOMENŲ IR KOEFICIENTŲ KITIMŲ PAVEIKSLAI .....	61
3 PRIEDAS. PROGRAMINĖ REALIZACIJA .....	72
4 PRIEDAS. PROGRAMOS TEKSTAS .....	76

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 1.1 lentelė. Medvilnės audinio (CO\_0\_A) plotas po banga – 16 p.
- 2.1 lentelė. Kludomo medvilnės audinio ataudų kryptimi ploto po banga eksperimentiniai duomenys – 24 p.
- 2.2 lentelė. Ploto po banga funkcinės priklausomybės koeficientai, kai audinys kludomas ataudų kryptimi – 26 p.
- 2.3 lentelė. Aproximuotos funkcijos rezultatų palyginimas su eksperimento duomenimis – 26 p.
- 2.4 lentelė. Kludymo eksperimento ploto po banga aproximuojančios funkcijos koeficientai metmenų ir įstriža kryptimis – 29 p.
- 2.5 lentelė. Eksperimento duomenų ir aproximavimo kreivių metmenų ir įstriža kryptimi koreliacijos koeficientai – 30 p.
- 2.6 lentelė. Bangos aukštis, kai medvilnės audinys kludomas ataudų kryptimi – 31 p.
- 2.7 lentelė. Kludymo ataudų kryptimi bangos aukščio aproximuotos funkcijos koeficientai – 32 p.
- 2.8 lentelė. Kludymo bangos aukščio eksperimento duomenų aproximavimo funkcijos koeficientai metmenų ir įstriža kryptimis – 34 p.
- 2.9 lentelė. Bangos aukščio eksperimento duomenų ir aproximavimo kreivių metmenų ir įstriža kryptimi koreliacijos koeficientai – 35 p.
- 2.10 lentelė. Ketvirto laipsnio daugianario koeficientai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$  – 36p.
- 2.11 lentelė. Ketvirto laipsnio daugianario koeficientai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$  – 37 p.
- 2.12 lentelė. Modelio ataudų kryptimi adekvatumo nustatymui reikalingi parametrai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$  – 38 p.
- 2.13 lentelė. Modelio ataudų kryptimi adekvatumo nustatymui reikalingi parametrai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$  – 39 p.
- 2.14 lentelė. Modelio metmenų kryptimi adekvatumo nustatymui reikalingi parametrai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$  – 40 p.
- 2.15 lentelė. Modelio metmenų kryptimi adekvatumo nustatymui reikalingi parametrai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$  – 41 p.
- 2.16 lentelė. Aproximuotos (2.10) funkcijos koeficientai – 41 p.
- 2.17 lentelė. Penkto laipsnio daugianario koeficientai duomenims ataudų kryptimi, kol kreivis iš maksimalaus pasidaro minimalus neigiamas – 42 p.
- 2.18 lentelė. Penkto laipsnio daugianario koeficientai duomenims ataudų kryptimi, kol kreivis iš minimalaus neigiamo pasidaro lygus 0 – 42 p.

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.2.1 pav. Audinio klūpdymas vertikalioje padėtyje – 11 p.
- 1.2.2 pav. Gniuždomas satininio pynimo vilnos, tankaus drobinio pynimo medvilnės ir rašomojo popieriaus bandinys – 11 p.
- 1.2.3 pav. Audinio tempimo/gniuždymo kreivė – 12 p.
- 1.3.1. pav. Bandinio deformavimo schema – 13 p.
- 1.3.2. pav. A0 audinio klūpdymo eksperimento nuotraukos – 14 p.
- 1.3.3 pav. Bandinio dinamika klūpdymo metu – 15 p.
- 1.4.1 pav. „Kawabata“ aparato veikimo schema – 18 p.
- 1.4.2 pav. „Kawabata“ aparatu gaunamų duomenų histerezės kilpa – 18 p.
- 1.4.3. pav. TH 7 aparato veikimo schema – 19 p.
- 1.4.4. pav. TH 7 prietaiso lenkimo testo diagrama – 20 p.
- 1.5.1 pav. Matricos M duomenų tarpusavio priklausomybė – 21 p.
- 1.5.2 pav. Pradinių duomenų palyginimas su „genfit“ procedūra aproksimuotos funkcijos rezultatais – 22 p.
- 2.1.1 pav. Ploto po banga kitimas ataudų kryptimi – 25 p.
- 2.1.2 pav. Koeficiento  $a$  priklausomybė nuo standiklio tirpalo koncentracijos – 27 p.
- 2.1.3 pav. Ploto po klūpdymo banga ataudų kryptimi koeficientų priklausomybė nuo standiklio tirpalo koncentracijos – 28 p.
- 2.1.4 pav. Ploto po klūpdymo ataudų kryptimi banga priklausomybė nuo standiklio tirpalo koncentracijos ir poslinkio – 28 p.
- 2.1.5 pav. Ploto po banga kitimas metmenų ir įstriža kryptimis – 29 p.
- 2.1.6 pav. Ploto po klūpdymo banga priklausomybė nuo poslinkio ir standiklio tirpalo koncentracijos metmenų ir įstriža kryptimis – 30 p.
- 2.1.7 pav. Bangos aukščio priklausomybė nuo poslinkio, klūpdant audinį ataudų kryptimi – 31 p.
- 2.1.8 pav. Bangos aukščio ataudų kryptimi koeficientų funkcinės priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos – 32 p.
- 2.1.9 pav. Klūpdymo bangos aukščio ataudų kryptimi priklausomybė nuo standiklio koncentracijos ir poslinkio – 33 p.
- 2.1.10 pav. Klūpdymo bangos aukštis metmenų ir įstriža kryptimis – 33 p.
- 2.1.11 pav. Bangos aukščio priklausomybė nuo standiklio tirpalo koncentracijos ir poslinkio metmenų ir įstriža kryptimis – 34 p.
- 2.1.1 pav. Medvilnės audinio lenkimo TH 7 aparatu ataudų kryptimi eksperimento duomenys – 35 p.
- 2.2.2 pav. Medvilnės audinio, kuris nebuvo paveiktas standiklio tirpalais, histerezės kilpos dalys – 36 p
- 2.2.3 pav. TH 7 aparatu lenkiamo audinio histerezė ataudų kryptimi – 37 p.

- 2.2.4 pav. TH 7 aparatu lenkiamo audinio histerezė metmenų kryptimi – 39 p.
- 2.3.1 pav. „Kawabata“ aparato eksperimentiniai duomenys ataudų kryptimi – 41 p.
- 2.3.2 pav. Aproximuotos funkcijos (2.16) ataudų kryptimi koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos – 42 p.
- 2.3.3 pav. „Kawabata“ aparatu ataudų kryptimi lenkiamo audinio histerizė - 43 p.
- 2.3.4 pav. „Kawabata“ aparatu metmenų kryptimi lenkiamo audinio histerizė – 44 p.



## ĮVADAS

Tekstilės medžiagos gamybinio bei eksploatacinio proceso metu yra įvairiausiais būdais deformuojamos. Tokios medžiagos dažnai patiria tempimo ir gniuždymo deformacijas, kurios apibūdinamos tų medžiagų formos bei matmenų pokyčiais dėl išorinio poveikio. Tempimo (gniuždymo) jėga apibrėžiama kaip statmenai į kūną nukreipta jėga, dėl kurios didėja (mažėja) kūno matmuo jėgos kryptimi.

Galima išvardinti daugelį įvairių tekstilės medžiagos gniuždymo atvejų: pluoštai gniuždomi į gniutulus presavimo operacijose, siūlų plaušeliai ar gijos slegia vieni kitus sukant, gaminiai slegiami apdailos metu. Formuojant drabužio apykaklę ar rankogalius, viršutinis detalės sluoksnius tempiamas, o apatinis – gniuždomas. Šie poveikiai audiniui dažniausiai sukelia skersinio gniuždymo deformacijas, tačiau esama ir išilginio gniuždymo, kai išorinio poveikio jėga nukreipta audinio plokštumoje metmenų, ataudų ar kita kryptimi.

Šiame darbe nagrinėjami tekstilės audinių klūpdyimo bandymo duomenys, t. y. liauno bandinio veikimas tokia išilgine gniuždymo apkrova, kad tiesus bandinys išlinksta, suformuodamas klostę, nusvyrančią vienon ar kiton pusėn.

Taip pat nagrinėjami nemažiau reikšmingi lenkimo bandymų duomenys. Pateikiami du lenkimo eksperimentai, kuriuose gaunamos duomenų histerizės kilpos.

Kauno technologijos universiteto Aprangos ir polimerinių gaminių technologijos katedroje atliekami tokio pobūdžio eksperimentai su tekstilės medžiagomis, kurios buvo paveiktos įvairios koncentracijos standiklio tirpalu.

Pagrindinis darbo klausimas buvo, ar galima kaip nors susieti šių bandinių skaitinius rodiklius taip, kad pagal juos galėtume nuspėti to audinio elgseną klūpdyimo metu.

Darbo tikslas: aproksimuoti lenkimo ir klūpdyimo parametrų eksperimento duomenis. Surasti aproksimavimo funkcijas, kurios toliau būtų naudojamos duomenų prognozei. Duomenų prognozavimui palengvinti, sudaryti programą. Atlikti parinkto matematinio modelio adekvatumo tyrimą.

# 1 BENDROJI DALIS

## 1.1 TEKSTILĖS AUDINIŲ TYRIMAS

Darbo tema susijusi su tekstilės audinio deformavimo tyrimu. Audiniais vadinami tekstilės gaminiai, kurie sudaryti iš dviejų viena su kita statmenai persipinančių siūlų sistemų [1]. Išilginiai audinio siūlai vadinami metmenimis, o skersiniai - ataudais. Bandymai su audiniais gali būti atliekami juos tempiant, gniuždant, lenkiant, sukant ar kitaip deformuojant. Kiekvienu iš šių išvardintų atvejų pakinta medžiagos matmenys.

Deformacija – tai kūno formos ir / arba matmenų pokytis, atsiradęs dėl išorinių jėgų, šilumos, drėgmės ar kitų veiksnių poveikio.

Beveik visos tekstilės medžiagos sudarytos iš polimerinių pluoštų, todėl jų mechaninės savybės pirmiausiai priklauso nuo pluoštų, kaip orientuotos sandaros polimerinių kūnų, bendrųjų deformavimosi dėsnų [1].

Tekstilės medžiagų mechaninės savybės tiriamos teoriniais ir eksperimentiniais metodais. Žinoma [8], jog tekstilės gaminių mechaninių savybių teorinio nagrinėjimo ir projektavimo kelias yra žymiai sudėtingesnis, negu metalo konstrukcijų, dirbančių tamprumo ribose, kur paprastai laiko veiksnys neįvertinamas.

Tekstilės gaminio mechanikai būdinga tai, kad:

- Pluošto plaukeliai visuomet yra anizotropiški, t. y. jų savybės įvairiomis kryptimis yra skirtingos.
- Tekstilės gaminių mechaniniai rodikliai labai nevienodi.

Dėl to teorinė tekstilės struktūrų mechanikos analizė yra sudėtinga. Todėl praktikoje plačiausiai taikomi eksperimentiniai metodai.

Pluoštų, siūlų bei gaminių mechaninėms savybėms įvertinti tekstilės medžiagotyroje naudojamos kelios dešimtys įvairių charakteristikų, kurios pradedamos skirstyti pagal deformacijų tipus, t. y. tempimas, gniuždymas, lenkimas, sukimas ir t.t. Toliau tos charakteristikos skirstomos klasėmis – pagal bandymo ciklo dalių seką:

- pusciklės ( tik deformuojant bandinį);
- vienaciklės, kai bandymo ciklas susidaro iš apkrovimo, nukrovimo ir poilsio;
- daugiacyklės, kai ciklas gali kartotis daug kartų.

Daugiacikliai bandymai gali būti tęsiami, kol bandinys suirs ar nepasieks irimo deformacijos. Klupdomo eksperimente naudojami puscikliai bandymai. Taip yra todėl, kad audinys yra tik klupdomas, t. y. jis tik deformuojamas. Lenkimo eksperimentams būdingos vienacyklės charakteristikos. Lenkimo prietaisais galima ilgiau laikyti sulenkus bandinį ir stebėti lenkimo įtampos relaksaciją. Bandinį galima lenkti ir į priešingą pusę, t.y. galima gauti visą lenkimo histerozės kilpą.

Juo histerezės kilpos plotas didesnis, tuo didesni lenkimo darbo nuostoliai, taigi tuo lenkiamoji medžiaga plastiškesnė.

Relaksacija – tai sutrikdytos sistemos grįžimas į pusiausvyros padėtį. Ji stebima [2] ir mažamolekulėse, ir stambiamolekulėse medžiagose.

Paveikta išorinių jėgų, pusiausvira sistema išjudinama iš pusiausvyros. Sistemoje atsiranda vidiniai relaksacijos procesai. Kai relaksacijos procesai sistemoje, palyginus su jėgų kitimu, yra lėtesni, susidaro daugybė tarpinių nepusiausvirų būsenų; sistemos savybės įvairiais laiko momentais yra skirtingos. Tokioje sistemoje pastebimas mechaninės histerizės reiškinys – sistemos būseną priklauso ne tik nuo jėgų dydžio, bet ir nuo jų kitimo krypties. Pavyzdžiui, kai jėgos dydis vienodas, bandinio, nuo kurio pašalinta apkrova, deformacija yra didesnė negu deformuojamo. Vadinasi, polimerinio kūno mechaninės relaksacinės savybės – tai jo reagavimo į mechaninius poveikius priklausomybė nuo laiko, kartu pasireiškiant ir mechaninei histerizei. Polimerinių pluoštų relaksacinės savybės labai ryškios [1].

## 1.2 KLUPDYMAS GNIUŽDANT AUDINĮ

Dažnai tie patys eksperimentai būna atliekami įvairiais metodais. Ne išimtis yra ir klupdymo tyrimas. Kai kuriuose leidiniuose tekstilės audiniai laikomi plonomis plokštelėmis. Juose teigiama [3], kad tokios plokštelės gali būti deformuojamos tik keturiais pagrindiniais būdais: gniuždymu ir klupdymu statmenai plokštelės plokštumai, tempimu-gniuždymu ir lenkimu išilgai plokštelės plokštumos.

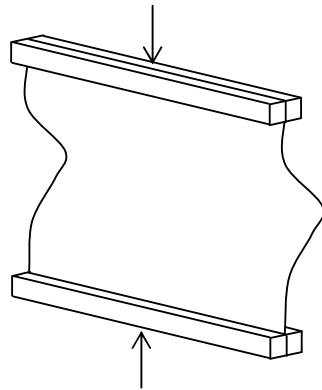
Paprastai skiriami dvejopi tekstilės medžiagų bandymų gniuždant metodai:

- a) pavienių plaukelių arba gijų gniuždymo,
- b) pluošto masės (taip pat siūlų ar gaminių).

Klupdymo eksperimente buvo tiriamas audinio plokštelės išilginis gniuždymas.

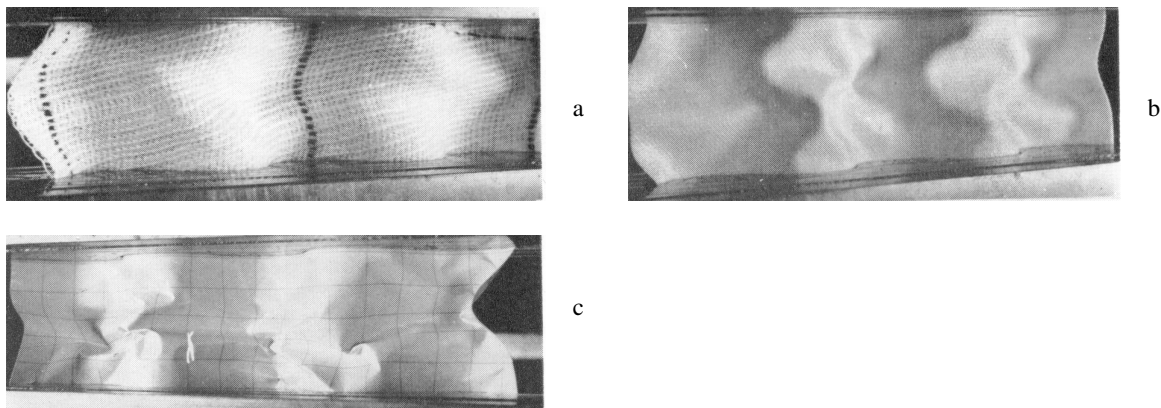
Kadangi tekstilės audiniai yra anizotropiški, tai eksperimentai buvo atliekami ataudų, metmenų, bei įstrižąja kryptimis. Įstrižąja kryptimi gniuždomi audiniai buvo orientuoti 45 laipsnių kampų metmenų (ataudų) krypties atžvilgiu.

Vienas metodų, skirtų ištirti klupdymo dėsningumus tekstilėje gerai žinomas nuo seno [4]. Toks eksperimentas vykdomas šia tvarka: **vertikaliajoje** padėtyje esančio audinio plokštelės kraštai yra prispaudžiami dviejų slankiojančių spraustuvų, ir mažinant atstumą tarp jų, plokštelė išlinksta. Taigi čia turime gniuždymą išilgai plokštelės plokštumos. Šiuo atveju klostė susidaro ta kryptimi, į kurią pusę ją veikia svorio jėga, t. y. žemyn (1.2.1 pav.). Prieš audiniui suklumpant, plokštelė yra gniuždoma tam tikrais poslinkiais. Jėga, kuriai veikiant susidaro klostė, vadinama klupdymo jėga.



**1.2.1 pav.** Audinio klumpymas vertikaloje padėtyje

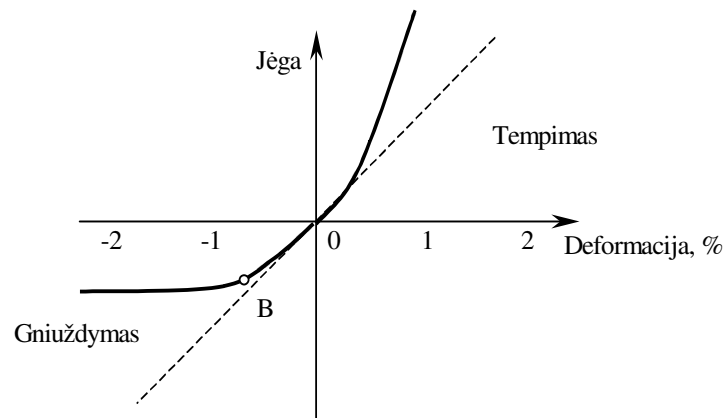
Apibūdinome klumpymą vertikaloje plokštumoje. Tačiau praktiškai audiniai taip suklumpa nedažnai. Tai tik yra idealizuotas klumpymo atvejis. Dažniau audinys suklumpa, kai jis būna **apvyniotas** apie kokį nors lankstų ritinį. Kaip pavyzdį galime pateikti drabužio rankovę, ar kelnes. Mes dažnai lankstome rankas, kojas, atsisėdame, atsistojame, vaikštome ir atliekame kitokius veiksmus, kurie priverčia per sulenkimus mūsų drabužius susilamdyti, t. y. susidaro klostės. Toks reiškinys vadinamas cilindrinu klumpymu. Taigi tiek šiuo atveju, tiek ir prieš tai aptartam metode tekstilės audinys sugebėjo įgauti tam tikrą erdvinę formą. Ne tik tekstilės medžiaga gali sklandžiai apgaubti ritinio paviršių. Pavyzdžiui, popierius, kuris taip pat pasižymi mažu standumu lenkiant, kūginį paviršių apgaubs taip pat sklandžiai, kaip ir tekstilės medžiaga. Tačiau popieriaus lapas lengvai lenkiasi, tik kai jis lenkiamas viena kryptimi. Dėl mažo standumo lenkimui ir šlyčiai, gniuždomas audinys suformuoja minkštas apvalias klostes. Tankus didesnio standumo audinys, lenkimo arba šlyties metu veikiamas didėjančios gniuždymo jėgos, suformuoja laužyto kontūro klostes [3], kai tuo tarpu gniuždomame popieriuje išryškėja aštrūs kampai ar lūžio linijos (1.2.2 pav.).



**1.2.2 pav.** Gniuždomas satininio pynimo vilnos (a), tankaus drobinio pynimo medvilnės (b) ir rašomojo popieriaus (c) bandinys

Tekstilės medžiagos formavimasis priklauso nuo jos standumo lenkiant ir tamprumo gniuždant. Kadangi šios medžiagos klumpa labai lengvai, tiesiogiai nustatyti tamprumą gniuždant sudėtinga.

Laikoma [4], kad mažų deformacijų zonoje, tamprumas gniuždant sutampa su tamprumu tempiant (1.2.3 pav.), nes liestinė deformavimo kreivei gali būti ta pati teigiamos ir neigiamos apkrovos atveju.



**1.2.3 pav.** Audinio tempimo/gniuždymo kreivė

Audinio gniuždymo kreivė gali būti užrašoma tempimo mašina platiems (100 mm) ir trumpiems (iki 25 mm) bandiniams. Gniuždymo kreivėje (1.2.3 pav.) pažymėtas taškas B nusako sąlygas, kada bandinys suklumpa. Tačiau, šio metodo nustatomi kludymo parametrai labai priklauso nuo bandinio matmenų ir eksperimento sąlygų, taip pat dažnai gaunamos kreivės, kuriose sunku išskirti bandinio kludymo pradžia.

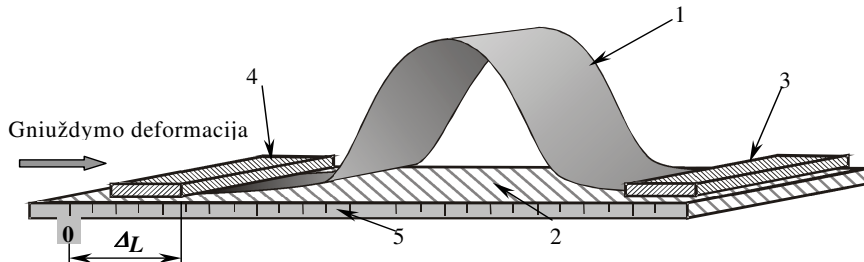
Kludymo tyrimai yra labai susiję su lenkiamojo standumo tyrimais. Taip yra todėl, kad kludymas atitinka visas lenkimo savybes, t.y. tekstilės medžiagos lenkiamos turi įvairiai deformuotis. Plaukeliai ir gijos turi būti pakankamai atsparūs lenkimui. Tačiau plonus liaunus pluoštus sunkiau perdirbti: jie labiau linkę susipainioti, susirangyti. Kai kurie gaminiai yra glebni ir dėl to lenkiant yra formuojamos minkštos apvalios raukšlės. Analogiškai raukšlės yra formuojamos ir kludant audinį. Tik šiuo atveju audinys nelenkiamas, o gniuždomas tol, kol tas audinys pats išlinksta.

Skirtinguose darbuose pateikiami skirtingi medžiagos kludymo metodai. Tai atliekama su keliomis rūšimis audinių. Kiekvienas audinys atstovauja tam tikrą klasę audinių, todėl jų elgsenos ištyrimas turi atitikti kitų audinių charakteristikas.

Šiame darbe buvo atlikti eksperimentiniai matavimai gniuždant **horizontalioje** plokštumoje esantį bandinį ataudų, metmenų bei įstriža kryptimis atskirai. Visi rodikliai yra svarbūs, nes jie būtent ir nulemia medžiagos elgseną kludymo metu.

### 1.3 KLUPDYMO EKSPERIMENTO APRAŠYMAS

Bandymams atlikti buvo naudojamas audinio klupdymo, didinant išilginę gniuždymo deformaciją, tyrimo stendas, kuris yra pavaizduotas 1.3.1 paveiksle:

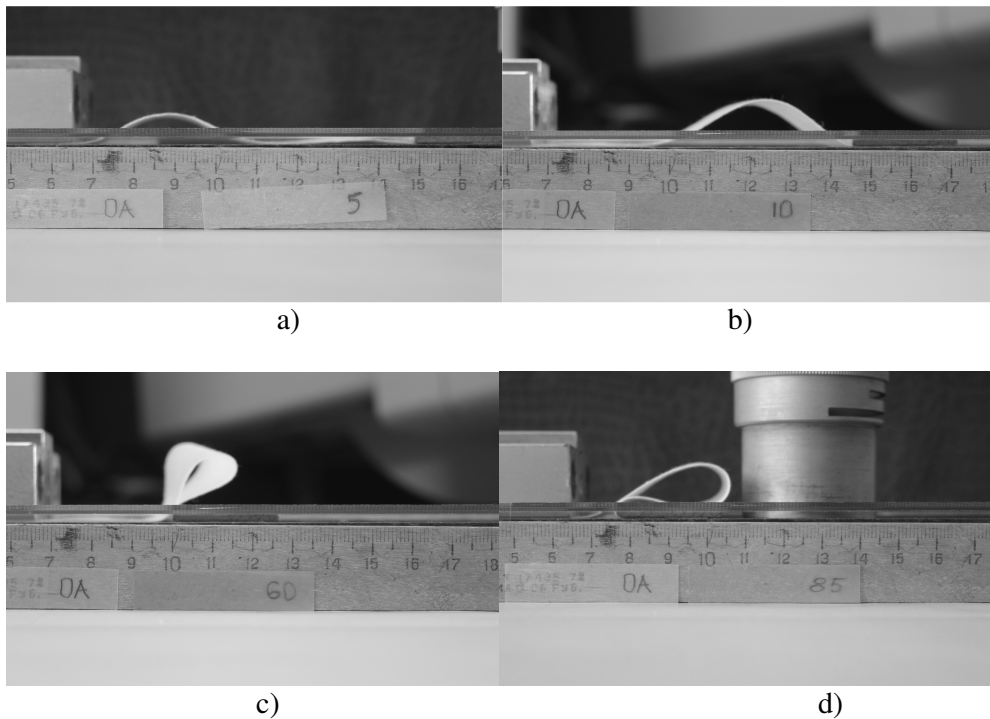


**1.3.1. pav.** Bandinio deformavimo schema: 1 – bandinio juostelė, 2 - stiklinis bandymo stalas, 3 - fiksuojantis spaustuvas, 4 – judantis spaustuvas, 5 – liniuotė.

Bandymams buvo naudojama 10 cm ilgio ir 5 cm pločio bandinio juostelė (1). Audinio kraštai buvo tvirtinami tarp dviejų spraustuvių – fiksuoto (3) ir judančio (4). Pradinėje deformavimo stadijoje gniuždomos audinio plokštelės forma yra pastovi. Stumiant (4) spraustuva kas 5 mm bandinys pradamas gniuždyti. Bandinys įgauna erdvinę formą. Kai gniuždant jėga pasiekia kritinę reikšmę, audinys suklumpa. Ši kritinė jėgos reikšmė vadinama klupdymo jėga. Bendra gniuždymo deformacija, esant klupdymo jėgai, vadinama klupdymo deformacija.

Jei plona audinio juostelė yra gniuždoma, teoriškai ji gali nusvirti dviem skirtingomis kryptimis: statmenai juostelės plokštumai arba juostelės plokštumoje. Iš tikrųjų, juostelė visada nusvirs mažiausio pasipriešinimo kryptimi. Jei plokštelė patalpinama tarp dviejų stiklo plokščių, kurios riboja jos klupimą statmena audinio plokštumai kryptimi, galima išgauti klupdymą juostelės plokštumoje. Šiuo atveju, klupdymo jėga priklausys nuo audinio šlyties charakteristikų. Tačiau čia naudosime pirmąjį idealizuotą atvejį, nes darbo tikslas yra pastebėti medžiagos klupdymo proceso dėsningumą.

Spraustuviui (4) judant link fiksuotojo spraustuvo (3), klupdyimo deformaciją didinant kas 5 mm, skaitmeniniu fotoaparatu buvo fotografuojama bandinio būseną. 1.3.2 paveiksle yra pateiktos kelios audinio, iškirpto įstriža kryptimi ir nepaveikto standikliu, nuotraukos. Kai gniuždymo deformacija lygi 5 mm (1.3.2. a pav.), pastebimas tik menkas išlinkimas, o 1.3.2 b paveiksle matome, kad esant 10 mm poslinkiui, išlinkimas yra žymiai didesnis. Tačiau čia dar nesusidaro klostė, tik tekstilės medžiaga suformuoja erdvinę formą. Poslinkiui pasiekus 60 mm, kaip matome 1.3.2 c paveiksle, susiformuoja aiški klostė, bet ji dar nėra visiškai nulinkusi. 1.3.2 d paveiksle matome, kad klupdyimo banga visiškai nulinkusi nuo nuosavo svorio.

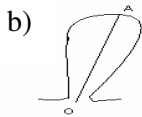
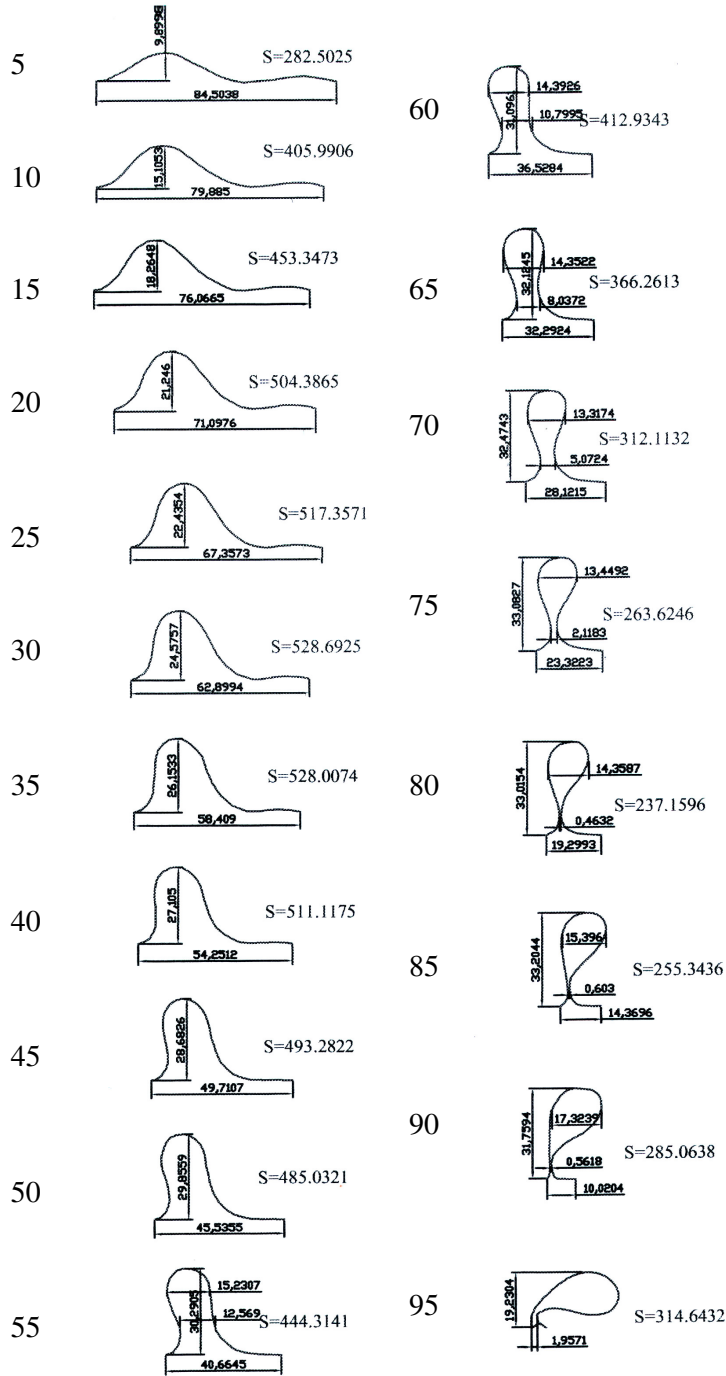


**1.3.2. pav.** A0 audinio kludymo eksperimento nuotraukos, kai a) poslinkis yra 5 mm, b) poslinkis yra 10 mm, c) poslinkis yra 60 mm, d) poslinkis yra 85 mm

Tokių nuotraukų duomenys buvo transformuojami į AutoCad terpės grafinį vaizdavimą. Štai pavyzdžiui, įstrižąja kryptimi iškirpto ir paveikto 5 ml/l koncentracijos standiklio tirpalu, audinio kludymo tyrimo kreivės AutoCad terpėje pavaizduotos 1.3.3 a paveiksle. Kaip matome iš šio paveikslo, bandinys išlinksta ir jo dalis pakyla nuo bandymų stalo vos paslinkus spraustuvą 5 mm. Tiksliau, mes čia jau matome tų fotografijų projekcijas plokštumoje. Tokius projekcijų išlinkius vadinsime kludymo bangomis. Pagrindiniais rodikliais laikysime bangos aukštį  $H$  ir plotą po banga  $S$ , tarp susibangavusio audinio kontūro ir bandymų stendo plokštumos. Tačiau bangos aukštis ne visada reiškia atstumą nuo stalo plokštumos iki išlinkio viršaus. Kaip matome, paslinkus audinį 45 mm, pradeda formotis bangos kaklelis, t. y. susiaurėjimas, dėl kurio pradeda linkti banga ir visiškai susiformuoja klostė. Aukščiu šiame darbe laikysime ilgį atkarpos, prasidedančios nuo stalo paviršiaus iki bangos viršūnės, kad sritis, kurią riboja banga, būtų simetriška tos atkarpos atžvilgiu. Taigi 1.3.3 b paveiksle aukščiu laikoma atkarpa  $OA=H$ .

Plotu po banga laikysime srities, kurią riboja banga ir stalo paviršius, plotą. 1.3.3 paveiksle šis parametras žymimas  $S$ . Kitų parametų nevertinome. Kaklelio formavimasis siejamas su bangos aukščio kitimu.

a)



1.3.3 pav. Bandinio dinamika kludymo metu



Atliekant eksperimentą neišvengta didelių nuokrypių. Jos eksperimento duomenyse atsiranda dėl įvairių priežasčių. Manome, jog galimos paklaidos dėl prietaiso netikslumo. Todėl, norėdami gauti tikslesnius tyrimo rezultatus, tos pačios rūšies bandinius deformavome po tris kartus, pavyzdžiui, medžiagos klumpymo bangos aukščiui išmatuoti ataudų kryptimi, buvo iškirpti trys vienodi bandiniai. Tris kartus atlikti tie patys eksperimentai su medvilnės audiniu, kuris nebuvo paveiktas standiklių tirpalais. Gauti duomenys surašyti į 1.1 lentelę; čia pirmojo eksperimento duomenis pažymėjome  $x$ , antro –  $y$ , trečio –  $z$ . Tolimesniems skaičiavimams buvo naudojami gautų eksperimentinių duomenų vidurkiai, kurie pateikti paskutiniame 1.1 lentelės stulpelyje.

### 1.1 lentelė

#### Medvilnės audinio (CO\_0\_A) plotas po banga

Poslinkis	CO_0_A aukštis			CO_0_A vidurkis
	x	y	z	
5	10,39	9,41	9,15	9,65
10	15,23	13,62	12,89	13,91
15	17,5	16,47	15,8	16,59
20	19,34	19,3	18,26	18,97
25	21,03	21,02	20,33	20,79
30	21,94	22,95	22,63	22,51
35	23,13	24,26	24,04	23,81
40	24,28	25,92	26,31	25,50
45	24,84	27,5	27,4	26,58
50	24,63	28,24	28,82	27,23
55	25,38	28,47	29,28	27,71
60	25,6	29,1	30,42	28,37
65	25,89	29,17	31,6	28,89
70	25,86	29,57	32,44	29,29
75	25,76	30,58	33,79	30,04
80	25,93	30,69	35,1	30,57
85	27,01	30,68	37,65	31,78
90		30,97		30,97
95				
100				

Darbe buvo susidurta su tokia problema. Atliekant eksperimentą buvo pastebėta, kad nors klumpdoma medžiaga elgėsi panašiai, bandant visus tris kartus, tačiau ji suklumpdavo esant vis skirtingiems polinkiams. Taigi šį momentą ir reikėjo fiksuoti. Buvo neaišku, kada laikyti, jog minėti parametrai plotas  $S$  bei aukštis  $H$  yra kritinio dydžio ir kuriuo momentu klumpymo banga gali nulinkti. Gniuždant bandinius visomis kryptimis buvo laikoma, kad kritinis plotas po banga pasiekiamas iki 80 mm poslinkio. O bangos aukštį nagrinėti geriausia iki 85 mm poslinkio.

## 1.4 AUDINIO LENKIMO STANDUMO TYRIMAS

Tekstilės medžiagos labai dažnai lenkiamos, lankstomos. Veikiamos lenkimo jėgų jos lengvai deformuojasi. Net apibrėžiant pluoštus, pažymimas jų liaunumas. Tekstilės gaminiai, veikiami nedidelių jėgų, sudaro raukšles bei klostes. Net jei gaminyje tempiamas, jį sudarančiuose pluoštuose ar siūluose gali vyrauti lenkimo deformacijos.

Įvairios tekstilės medžiagos lenkiamos turi įvairiai deformuotis. Lenkiamame tekstilės medžiagos bandinyje yra neutralusis sluoksnis, nesideformuojantis išilgai. Sluoksniai, esantys lenkimo centro atžvilgiu neutraliojo sluoksnio išorėje, yra tempiami, vidiniai – gniuždomi. Kadangi gniuždomi pluoštai deformuojasi daugiau negu tempiami, bandinio neutralusis sluoksnis iš tikrųjų yra persislinkęs tempiamųjų sluoksnių kryptimi [1].

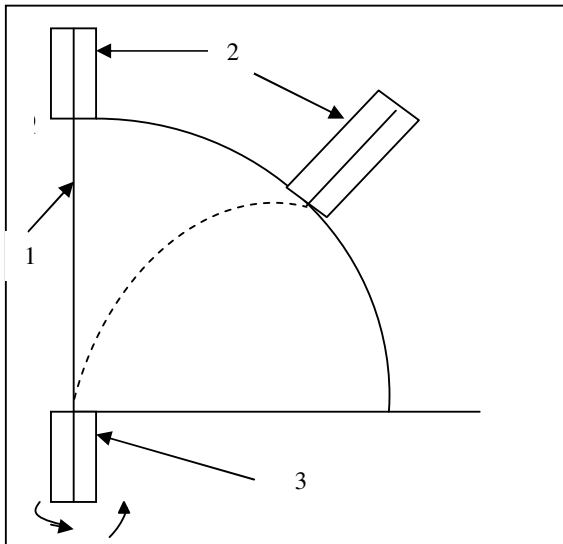
Audinio lenkimo elgseną charakterizuoja du pagrindiniai parametrai – lenkimo standumas ir histerezė. Lenkimo standumu vadinamas tekstilės audinio sugebėjimas priešintis lenkimui savo specifiniu svoriu ir išorine jėga [5]. Tekstilės gaminių standumas priklauso nuo jų storio, gaminių sudarančių pluoštų standumo, gaminio sandaros rišlumo ir apdailos. Histerezė parodo audinio gebėjimą atsistatyti į pradinę padėtį.

Bendrai inžinerinių medžiagų lenkimo elgsena laikoma netiesine, o lenkimo standumas aprašomas kaip lenkimo momento ir kreivio santykis. Kadangi tekstilės audinius labai lengva lenkti, tai jų lenkimo elgsena yra netiesinė. Tai lemia trintis, atsirandanti pluoštams judant audinio struktūroje. Audinio struktūra susideda iš daugybės pluoštų, kurie jame pakankamai laisvai slankioja. Kai audinys yra lenkiamas, pluoštai suspaudžiami ir jie negali pajudėti nesukeldami jėgų pasipriešinimo. Kai audinys lenkiamas pakankamai lėtai, tai pasipriešinimo jėga pasidaro pastovi ir įvyksta faktinis lenkimas [5]. Jėgų pasipriešinimas leidžia audiniui atsistatyti į pradinę padėtį, t.y. įvyksta histerezė.

Per pastaruosius 60 metų buvo atrasta ir mėginta pritaikyti daugybę prietaisų, galinčių išmatuoti audinio lenkimo standumą. Daugelį prietaisų pagal jų veikimo principą galima suskirstyti į dvi kategorijas:

1. prietaisai, kurie lenkimo deformacijos metu matuoja jėgą, momentus ar energiją. Tokie instrumentai parodo audinio lenkimo momento priklausomybę nuo kreivio;
2. prietaisai, kuriais matuojamos audinio deformacijos, atsirandančios nuo jų savojo svorio.

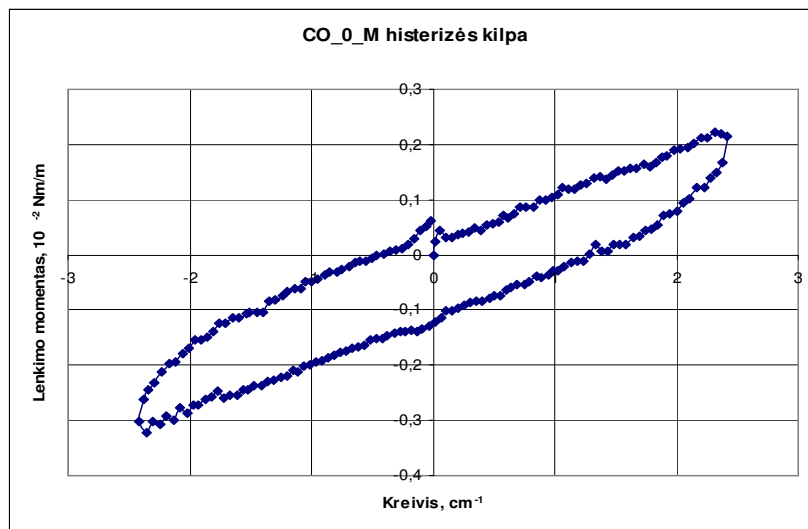
Dažniausiai naudojama audinio lenkimui testuoti „Kawabata“ sistema. Ji pavaizduota 1.4.1 paveiksle.



**1.4.1 pav.** „Kawabata“ aparato veikimo schema: 1 – bandinio juostelė, 2 – slankusis spraustuvais, 3 – fiksuotas spraustuvais

Eksperimentui yra paruošiama 20x20 cm kvadratinės formos bandinio juostelė (1), kuri yra pritvirtinama spraustuvais (2) ir (3). Spraustuvas (3) yra fiksuotas ir pritvirtintas prie sukimo matuoklio. Judantis spraustuvas (3) padeda lenkti audinį.

„Kawabata“ aparatu gaunama lenkimo diagrama, kuri parodo ryšį tarp lenkimo momento, tenkančio bandinio ilgio vienetui, ir kreivio.



**1.4.2 pav.** „Kawabata“ aparatu gaunamų duomenų histerizės kilpa

Lenkimo standumui rasti ( $\text{gf}\cdot\text{cm}^2/\text{cm}$ ) imamas dviejų lenkimo momento reikšmių vidurkis; viena reikšmė gaunama, kai audinio priekinė pusė yra lenkimo išorėje, o kita – lenkimo viduje. Tada lenkimo standumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$B = (B_f + B_b) / 2; \quad (1.1)$$

čia  $B$  – lenkimo standumas ilgio vienetui ( $\text{gf} \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$ );  $B_f$  – lenkimo momento reikšmė kai audinio priekinė pusė yra lenkimo išorėje;  $B_b$  – lenkimo momento reikšmė kai audinio priekinė pusė yra lenkimo viduje.

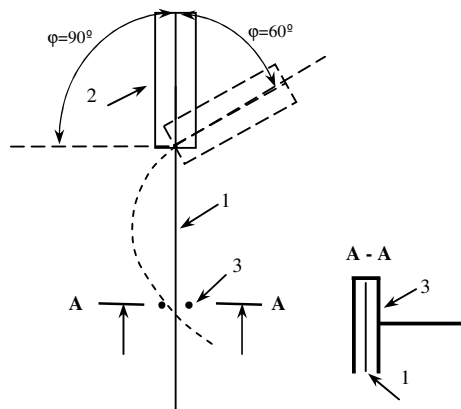
Lygiai taip pat apskaičiuojama histerezė, kai kreivis lygus  $\pm 1$ :

$$2HB = 2(HB_f + HB_b) / 2; \quad (1.2)$$

čia  $2HB$  – histerezės momentas, tenkantis ilgio vienetui ( $\text{gf} \cdot \text{cm}/\text{cm}$ );  $HB_f$  – histerezės momento reikšmė kai audinio priekinė pusė yra lenkimo išorėje;  $HB_b$  – histerezės momento reikšmė, kai audinio priekinė pusė yra lenkimo viduje [5].

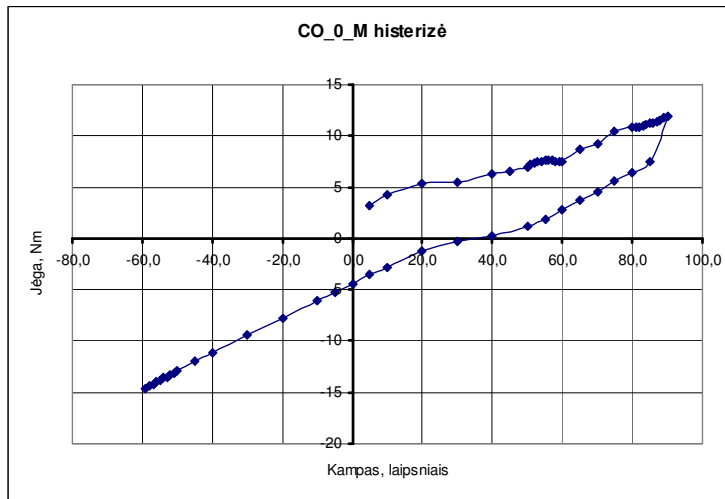
1.4.2. paveiksle pavaizduota histerezės kilpa, gauta atliekant eksperimentą su medvilnės audiniu metmenų kryptimi. Audinys nebuvo paveiktas standiklio tirpalu.

Kaip alternatyva „Kawabata“ audinio lenkimo testavimo sistemai yra sukurtas TH 7 aparatas. Jis turi tokį patį veikimo principą, kaip ir „Kawabata“. Šis prietaisas matuoja jėgą reikalingą sulenkti audinį tam tikru kampu. TH 7 aparato veikimo schema pavaizduota 1.4.3. paveiksle.



**1.4.3. pav.** TH 7 aparato veikimo schema

Eksperimentui paruošiama 5x5 cm kvadratinės formos audinio pavyzdžiai. Bandinys (1) pritvirtinamas prie (2) slankaus spraustuvo, kuris gali sukis  $90^\circ$  į vieną pusę ir iki  $-60^\circ$  į kitą pusę. Apatinė bandinio dalis laisvai kabo tarp  $\Pi$  formos spraustuvo (3). Šis apatinis spraustuvas vadinamas spraustuvu – davikliu, kuris matuoja jėgą reikalingą sulenkti bandiniui, esant tam tikram viršutinio spraustuvo sukimosi kampui. Taip gaunama jėgos priklausomybės nuo lenkimo kampo kreivė. Pavyzdžiui, 1.4.4. paveiksle pavaizduota medvilnės audinio lenkimo metmenų kryptimi diagrama.



1.4.4. pav. TH 7 prietaiso lenkimo testo diagrama

Iš diagramos yra apskaičiuojamos maksimali jėga ir lenkimo histerezė. Maksimali jėga atitinka lenkimo standumą. Srityje, kai lenkimo kampas kinta nuo  $+20^\circ$  iki  $+90^\circ$  ir atgal iki  $+20^\circ$ , galima apskaičiuoti lenkimo histerezės reikšmę pagal formulę:

$$S = \left| \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1}) \cdot \frac{y_i + y_{i-1}}{2} \right| \text{ (mN}^\circ\text{);} \quad (1.3)$$

čia  $x$  – kampas ( $^\circ$ ),  $y$  – jėga (mN) [7].

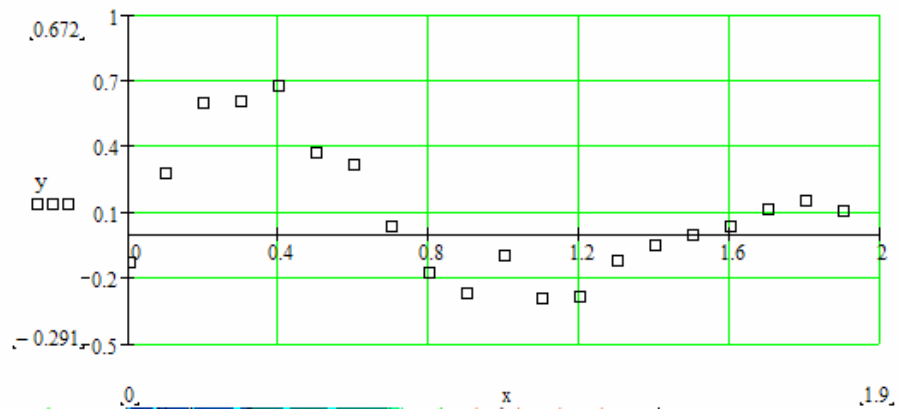
## 1.5 OPTIMIZAVIMO METODAI

Darbe duomenims aproksimuoti bus parenkamos juos geriausiai apibūdinančios funkcijos. Dažniausiai koeficientų radimui yra taikomas mažiausių kvadratų metodas. Tačiau dėl kai kurių funkcijų sudėtingumo ne visada pavyksta pritaikyti šį metodą. Tenka pasitelkti įvairias programines įrangas tolimesniam duomenų apdorojimui.

Mathcad pakete yra sukurta procedūra „genfit“, kuri optimizuoja funkcines priklausomybes šiek tiek kitokiu būdu nei mažiausių kvadratų metodas. Tarkime, kad turime matricą  $M$ , kurios antro stulpelio duomenys priklauso nuo pirmo stulpelio.

$$M := \begin{pmatrix} 0 & -0.125 \\ 0.1 & 0.281 \\ 0.2 & 0.595 \\ 0.3 & 0.607 \\ 0.4 & 0.672 \\ 0.5 & 0.369 \\ 0.6 & 0.32 \\ 0.7 & 0.032 \\ 0.8 & -0.179 \\ 0.9 & -0.273 \end{pmatrix}$$

Matricą  $M$  išskaidome į du vektorius stulpelius, kuriame pirmas stulpelis yra  $x$  vektorius, o antras  $y$  vektorius. Jų tarpusavio priklausomybę pavaizduota 1.5.1 paveiksle.



1.5.1 pav. Matricos  $M$  duomenų tarpusavio priklausomybė

Optimizavimo uždavinyje mes turime apibrėžti funkciją, kuri atitiktų duomenų funkcines priklausomybes ir surasti kuo tikslesnes nežinomų koeficientų reikšmes. „Genfit“ algoritme, yra konstruojamas vektorius, kuriame yra duomenys apie aproksimuojamą funkciją ir jos išvestines pagal nežinomus parametrus. Tarkime šiam uždaviniui mums tinka toksai vektorius:

$$F(x, u) = \begin{pmatrix} e^{-u_0 x} \cdot \sin(u_1 x) \\ -x \cdot e^{-u_0 x} \cdot \sin(u_1 x) \\ x \cdot e^{-u_0 x} \cdot \cos(u_1 x) \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

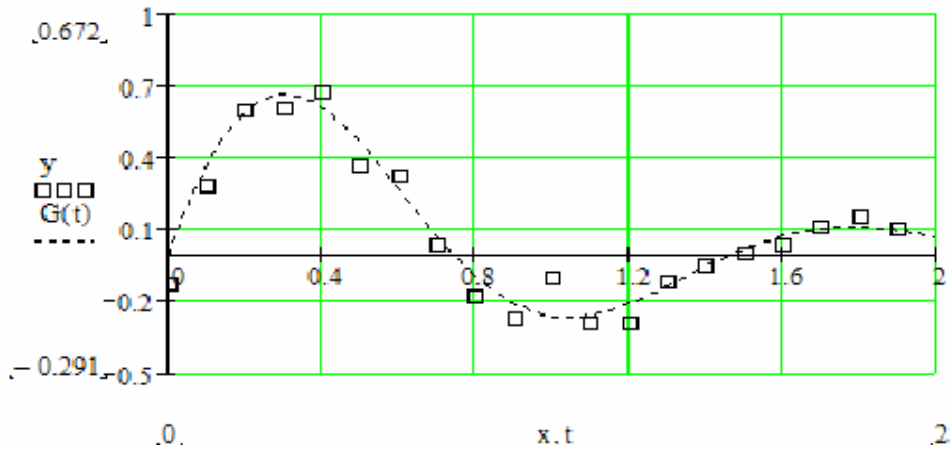
Pirmoje eilutėje yra aproksimuojama funkcija su nežinomais koeficientais, antroje – tos funkcijos išvestinė pagal  $u_0$ , trečioje – išvestinė pagal  $u_1$ . Kitas žingsnis, kurį reikia atlikti, tai nurodyti pradinį žingsnį. Tokiu būdu yra mėginama spėti galimas koeficientų reikšmes. Tai atliekama procedūra:

$$\text{guess} := \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

Taigi nurodome, kad pradinio momentu  $u_0 = 3, u_1 = 1$ . Tuomet pasitelkdama pradinis vektorius  $x$  ir  $y$ , procedūra „genfit“ suranda tikrąsias nežinomų koeficientų reikšmes:

$$P := \text{genfit}(x, y, \text{guess}, F) \quad (1.6)$$

Iš šitos funkcijos surandama, kad  $u_0 = 1.233$ , o  $u_1 = 4.15$ . Taigi dabar matome, kaip atrodo aproksimuotos funkcijos rezultatai lyginant su pradiniais duomenimis:



**1.5.2 pav.** Pradinių duomenų palyginimas, su „genfit“ procedūra aproksimuotos funkcijos rezultatais

Iš esmės „genfit“ minimizuoja liekamųjų paklaidų kvadratų sumą, kurios susidaro tarp eksperimento ir tiriamos funkcijos taškų. Tai galima parodyti sudarant sprendimo blokus.

Tarkime, kad tam tikrą priklausomybę galime aprašyti tokia funkcija:

$$H(\alpha, \beta, x) = e^{-\alpha x} \cdot \sin(\beta x) \quad (1.7)$$

Liekamųjų paklaidų kvadratų suma turint vektorius  $x$  ir  $y$  atrodo taip:

$$SSE(\alpha, \beta) = \sum_{i=0}^{\text{paskutinis}(x)} (y_i - H(\alpha, \beta, x_i))^2 \quad (1.8)$$

„Genfit“ funkcija pradės iteracijas nuo spėjamų taškų  $\alpha$  ir  $\beta$  kiekvienam žingsnyje skaičiuodama  $SSE(\alpha, \beta)$ . Vizualizuodami  $SSE$  mes galime apibūdinti kaip paviršių, kuriame yra pažymėti du taškai  $\alpha$  ir  $\beta$ . Kai gradiento vektorius pasiekia tašką, kuriame jis yra statmenas iškilusiam paviršiui, neigiami gradiento taškai duoda paklaidos minimumą. Taigi, „genfit“ žingsnelis susideda iš neigiamų gradiento taškų paieškos. Kai jie visi surandami, pereinama į kitą žingsnį. Kai jau nebebus galima daryti naujų žingsnių, algoritmas gražina paskutinę  $\alpha$  ir  $\beta$  reikšmę. Gali nutikti taip, kad kai kuriuose taškuose paklaidų suma pradėtų augti, tada „genfit“ ieško neigiamų gradiento taškų tol, kol modelis galės gražinti mažiausią  $SSE$  reikšmę. Iteracijos nutraukiamos, kai jau paklaidos nebemažėja.

Visgi į šį algoritmą reikia žiūrėti kritiškai, ypač kai paviršiuje egzistuoja keli lokalūs minimumai. „Genfit“ procedūra gražina tik vieną minimumą, netikrindamas kuris iš galimų taškų geresnis. Algoritmo rezultatas priklauso nuo kurio taško jis pradėjo iteracijas.

## 1.6 STATISTINĖ REGRESIJOS LYGTIES ANALIZĖ

Norint patikrinti hipotezę apie modelio adekvatumą, reikia *pasiektą modelio tikslumą* palyginti su dyžiu, apibūdinančiu *stebėjimų tikslumą*.

Pirmasis dydis nusakomas skirtumu tarp apskaičiuotų pagal modelį reikšmių ir eksperimentiškai gautų reikšmių.

Antrasis dydis nusakomas skirtumais tarp vidurkių ir tų reikšmių, iš kurių tie vidurkiai gaunami. Jeigu paklaidos, apibūdinančios modelio tikslumą, yra didesnės už stebėjimų paklaidas, tai hipotezė apie modelio adekvatumą atmetama.

Pažymėkime:  $\hat{y}_u$  – pagal modelį apskaičiuotos  $y$  reikšmės.

Pirmiausia rasime liekamąją kvadratų sumą:

$$S_R = n \sum_{u=1}^N (y_u - \hat{y}_u)^2, \quad (1.9)$$

kuri apibūdina pasiektą modelio tikslumą; čia  $n$  – eksperimento pakartojimų taške skaičius.

Stebėjimų paklaidas apibūdina dydis

$$S_e = \sum_{u=1}^N \sum_{j=1}^n (y_{uj} - y_u)^2. \quad (1.10)$$

Įvesime laisvės laipsnių skaičiaus sąvoką. Taip vadinamas skirtumas tarp eksperimento taškų  $N$  ir nustatomų koeficientų kiekio, o jis lygus  $k+1$ . Todėl su suma  $S_R$  siejamas laisvės laipsnių skaičius

$$\varphi_1 = N - k - 1. \quad (1.11)$$

Įvedame adekvatumo dispersijos sąvoką

$$S_{ad}^2 = \frac{S_R}{\varphi_1}. \quad (1.12)$$

Sumą  $S_e$  sudaro  $Nn$  dėmenų.

Su kvadratų suma  $S_e$  siejama  $\varphi_2 = N(n-1)$  laisvės laipsnių. Ši  $\varphi_2$  reikšmė gauta iš tokių samprotavimų: bandymų iš viso yra  $Nn$ , o jos sieja  $N$  tiesinių ryšių, nusakomų formulėmis

$$y_u = \frac{y_{u1} + y_{u2} + \dots + y_{un}}{n}. \quad (1.13)$$

Gauname stebėjimų klaidų dispersiją, kuri vadinama **reprodukcijos dispersija**:

$$S^2\{y\} = \frac{S_e}{\varphi_2}. \quad (1.14)$$

Kai modelis adekvatus, tai

$$\frac{S_{ad}^2}{S^2\{y\}} = F_{aprk.} \quad (1.15)$$

paklūsta Fišerio skirstiniui su  $\varphi_1$  ir  $\varphi_2$  laisvės laipsnių. Nelygybė  $F_{aprk.} < F_{lent.}$  yra modelio adekvatumo požymis [6].



## 2 TIRIAMOJI DALIS

### 2.1 KLUPDYMO TYRIMO PRADINIŲ DUOMENŲ KLASIFIKACIJA

Klupdymo bandymas buvo atliktas su trimis drobinio pynimo audiniais – medvilniniu, lininiu ir viskoziniu. Audiniai buvo paveikti 0 ml/l, 5 ml/l, 10 ml/l ir 15 ml/l koncentracijos standiklio tirpalais (toliau tekste vadinsime tiesiog standikliu). Eksperimentai buvo atlikti ataudų, metmenų ir įstriža kryptimis. Klupdymo bandymu didinant bandinio išilginę deformaciją kas 5 mm buvo išmatuoti klupdymo bangos aukštis ir plotas po klupdymo banga.

Gauta pakankamai daug eksperimentinių duomenų, todėl tyrimui juos suklasifikavome pagal matuotus parametrus ir matavimo kryptis:

- 2.1.1 plotas po klupdymo banga ataudų kryptimi;
- 2.1.2 klupdymo bangos aukštis ataudų kryptimi;
- 2.1.3 plotas po klupdymo banga metmenų kryptimi;
- 2.1.4 klupdymo bangos aukštis metmenų kryptimi;
- 2.1.5 plotas po klupdymo banga įstriža kryptimi;
- 2.1.6 klupdymo bangos aukštis įstriža kryptimi.

#### 2.1.1 PLOTO PO KLUPDYMO BANGA TYRIMAS ATAUDŲ KRYPTIMI

Vienas iš parametrų, charakterizuojančių kiekvienos tiriamos medžiagos elgseną klupdymo eksperimento metu, yra plotas po banga  $S$ . Gauti eksperimentiniai ploto po banga duomenys ataudų kryptimi yra pateikti 2.1 lentelėje. Iš jos aišku, kad audinys, kuris nebuvo paveiktas standiklio tirpalu, kritinį tašką, kuomet banga nusvyra ant plokštumos nuo nuosavo svorio, pasiekia deformavus jį mažiau nei kitais atvejais. Nuspręsta tirti tik duomenis, kurie buvo gauti, kol klupdymo prietaiso spraustuvas bus pastumtas iki 80 mm.

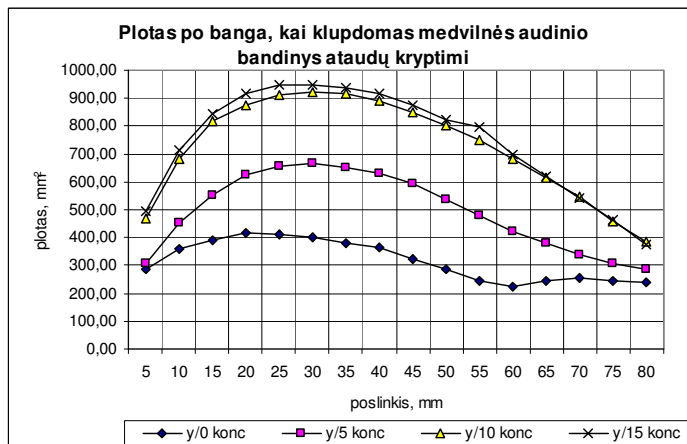
#### 2.1 lentelė

Klupdomo medvilnės audinio ataudų kryptimi ploto po banga eksperimentiniai duomenys

Poslinkis [mm]	Plotas po banga, [mm <sup>2</sup> ]			
	kai standiklio konc. 0 ml/l	kai standiklio konc. 5 ml/l	kai standiklio konc. 10 ml/l	kai standiklio konc. 15 ml/l
5	288,160	306,433	468,920	495,933
10	361,353	450,683	684,820	711,830
15	390,090	550,360	818,497	842,653
20	414,117	627,123	874,853	917,753
25	409,623	655,683	912,233	947,800
30	398,910	666,993	921,167	948,310
35	381,277	651,680	914,680	936,960
40	365,073	630,757	889,283	917,740
45	321,873	594,147	850,750	875,627
50	285,097	535,700	804,260	821,560
55	244,407	480,900	750,730	796,283

60	221,897	421,747	683,400	696,747
65	245,623	382,307	617,183	620,603
70	257,463	339,670	546,313	541,987
75	243,317	305,210	458,697	461,590
80	237,410	288,813	387,910	372,893
85	237,260	270,500	301,640	291,007
90		276,060	284,833	322,160
95		295,967	322,980	299,187
100		227,270	372,460	331,270

Eksperimento duomenys yra pavaizduoti 2.1.1 paveiksle. Pastebime, kad ploto po banga priklausomybės nuo poslinkio skirtingoms standiklių koncentracijoms yra panašios. Todėl tariame, kad duomenis galima aproksimuoti tos pačios išraiškos funkcine priklausomybe.



2.1.1 pav. Ploto po banga kitimas ataudų kryptimi

Išnagrinėję kreivių, pateiktų 2.1.1 paveiksle formą, iškėlėme prielaidą, kad grafiškai pavaizduotas priklausomybes galima aproksimuoti funkcija:

$$y = ax^b e^{cx+dx^2}, \quad (2.1)$$

čia  $y$  – ploto po kreive reikšmė ir kadangi audinys pastumiamas kas 5 mm, tai tegu  $x = \frac{\Delta x}{5}$ , kur  $\Delta x$  – pislankis.

Norėdami taikyti mažiausių kvadratų metodą, išlogaritmuojame abi (2.1) lygybės puses. Gauta nauja išraiška:

$$Y = A + bX + cx + dx^2, \quad (2.2)$$

kur  $Y = \ln y$ ,  $A = \ln a$ ,  $X = \ln x$ .

Turime funkciją priklausančią nuo trijų kintamųjų  $x$ ,  $x^2$  ir  $X$ . Taikydami mažiausių kvadratų metodą panašiai kaip ir kubinio daugianario aproksimavime, galime rasti šios funkcijos koeficientus  $A$ ,  $b$ ,  $c$  ir  $d$ . O suradę koeficiento  $A$  eksponentę, mes gauname (2.1) formulės koeficientą  $a$ . Gauti koeficientai pateikti 2.2 lentelėje. Šioje lentelėje surašyti koeficientai, esant keturioms skirtingoms standiklių koncentracijoms audinyje.

## 2.2 lentelė

(2.1) funkcinės priklausomybės koeficientai, kai audinys klupdomas ataudų kryptimi

Koeficientas	Standiklio koncentracija, ml/l			
	0	5	10	15
<i>a</i>	369,8065	340,0958	492,1606	509,0409
<i>b</i>	0,881254	0,831309	0,549925	0,490201
<i>c</i>	-0,3042	-0,12734	-0,02583	-0,00075
<i>d</i>	0,00767	-0,00193	-0,00516	-0,00632

Gautus koeficientus įstatome į (2.1) funkciją. Palyginkime gautus rezultatus su eksperimento duomenimis. 2.3 lentelėje pateikti rezultatai, kur  $y_0$ ,  $y_5$ ,  $y_{10}$  ir  $y_{15}$  yra eksperimentiniai duomenys, o  $\hat{y}_0$ ,  $\hat{y}_5$ ,  $\hat{y}_{10}$  ir  $\hat{y}_{15}$  gauti iš aproksimuotos funkcijos įsistačius  $x$  reikšmes. Santykinės paklaidos apskaičiuojamos pagal formulę:

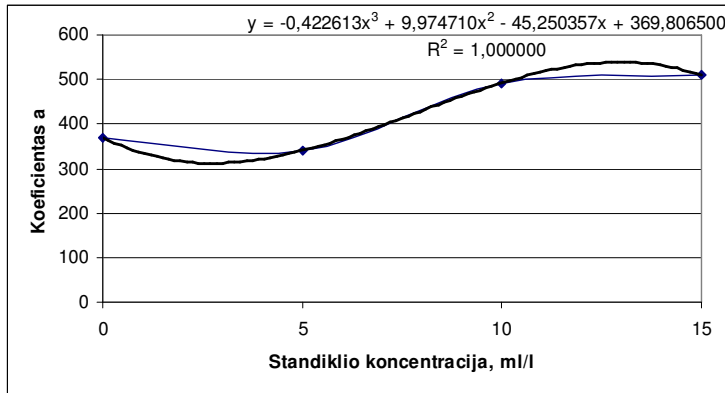
$$\delta = \frac{|\hat{y} - y|}{y} \quad (2.3)$$

## 2.3 lentelė

Aproksimuotos funkcijos rezultatų palyginimas su eksperimento duomenimis

poslinkis	$y_0$	$\hat{y}_0$	$\delta_0$	$y_5$	$\hat{y}_5$	$\delta_5$	$y_{10}$	$\hat{y}_{10}$	$\delta_{10}$	$y_{15}$	$\hat{y}_{15}$	$\delta_{15}$
5	288,16	274,91	0,046	306,43	298,85	0,025	468,92	477,14	0,018	495,93	505,46	0,019
10	361,35	382,26	0,058	450,68	465,46	0,033	684,82	670,27	0,021	711,83	696,13	0,022
15	390,09	418,87	0,074	550,36	568,54	0,033	818,50	795,54	0,028	842,65	822,17	0,024
20	414,12	420,13	0,015	627,12	627,26	0,000	874,85	875,91	0,001	917,75	905,05	0,014
25	409,62	404,25	0,013	655,68	653,35	0,004	912,23	921,21	0,010	947,80	953,13	0,006
30	398,91	381,03	0,045	666,99	655,28	0,018	921,17	937,62	0,018	948,31	971,53	0,024
35	381,28	355,75	0,067	651,68	639,53	0,019	914,68	930,00	0,017	936,96	964,43	0,029
40	365,07	331,21	0,093	630,76	611,18	0,031	889,28	902,67	0,015	917,74	935,85	0,020
45	321,87	308,82	0,041	594,15	574,27	0,033	850,75	859,67	0,010	875,63	889,82	0,016
50	285,10	289,20	0,014	535,70	531,98	0,007	804,26	804,79	0,001	821,56	830,36	0,011
55	244,41	272,60	0,115	480,90	486,81	0,012	750,73	741,57	0,012	796,28	761,38	0,044
60	221,90	259,01	0,167	421,75	440,72	0,045	683,40	673,22	0,015	696,75	686,56	0,015
65	245,62	248,38	0,011	382,31	395,15	0,034	617,18	602,58	0,024	620,60	609,23	0,018
70	257,46	240,61	0,065	339,67	351,19	0,034	546,31	532,07	0,026	541,99	532,28	0,018
75	243,32	235,62	0,032	305,21	309,59	0,014	458,70	463,68	0,011	461,59	458,05	0,008
80	237,41	233,38	0,017	288,81	270,87	0,062	387,91	398,95	0,028	372,89	388,38	0,042

Toliau tyrime, aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybę nuo standiklio koncentracijos kiekio audinyje. Koeficiento  $a$  kitimas pavaizduotas 2.1.2 paveiksle.



2.1.2 pav. Koeficiento a priklausomybė nuo standiklio koncentracijos

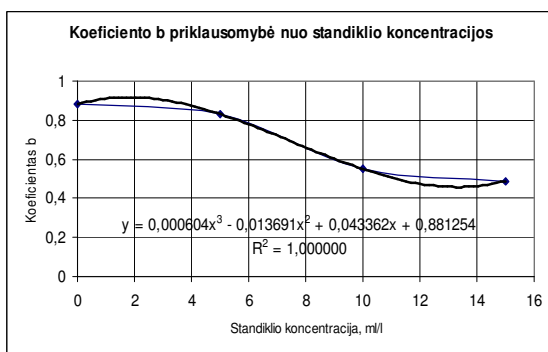
Jį mažiausių kvadratų metodu aproksimavome trečiojo laipsnio daugianariu. Didžiausia santykinė aproksimavimo paklaida lygi 0,01%. Koreliacijos koeficientas  $R^2$  yra paskaičiuojamas pagal formulę:

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}}, \quad (2.4)$$

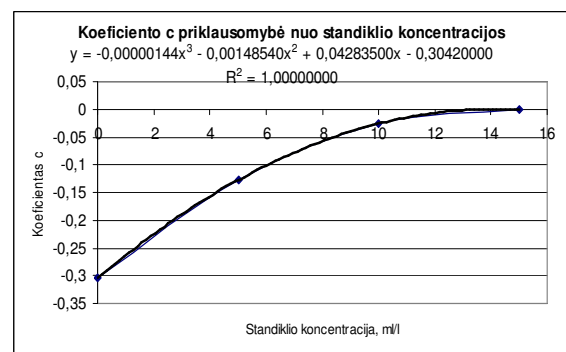
čia  $x$  – turimi duomenys,  $y$  – apskaičiuoti duomenys,  $\bar{x}$  ir  $\bar{y}$  imčių vidurkiai,  $n$  – duomenų imties ilgis.

Taigi, aproksimavus koeficientą a trečiojo laipsnio daugianariu, gauname, kad koreliacijos koeficientas tarp turimų duomenų ir aproksimuotos funkcijos duomenų yra lygus vienetui.

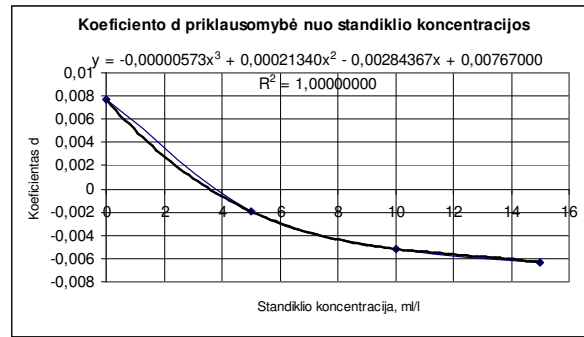
Lygiai taip pat nagrinėjame ir kitus (2.1) funkcijos koeficientus. Jų kitimo tendencijos ir aproksimuotos funkcijos pavaizduotos 2.1.3 paveiksle.



a)



b)



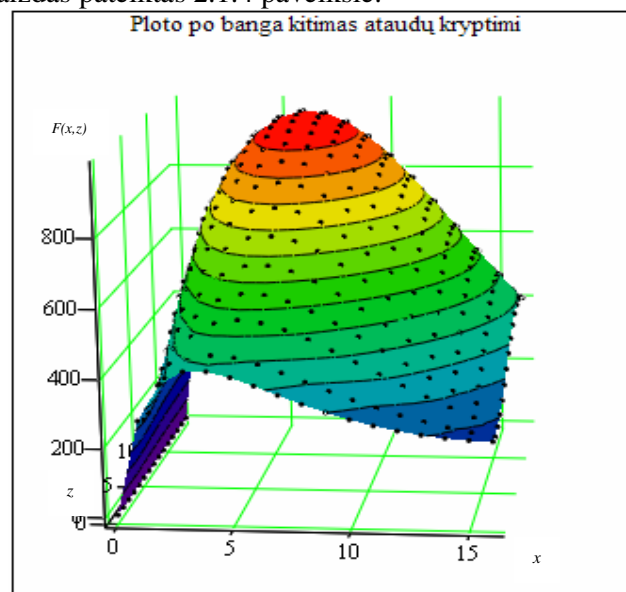
c)

**2.1.3 pav.** Ploto po klaidymo banga ataudų kryptimi koeficientų priklausomybė nuo standiklio tirpalo koncentracijos: a) koeficiento  $b$ ; b) koeficiento  $c$ ; c) koeficiento  $d$

Gautas koeficientų  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  išraiškas įsistatome į (2.1) formulę. Tokiu būdu turime, kad ploto po banga kitimas priklauso nuo standiklio koncentracijos ir poslinkio. Gauta tokios išraiškos funkcija:

$$F(x, z) = (-0.422613z^3 + 9.97471z^2 - 45.250357z + 369.8065) \cdot x^{(0.000604z^3 - 0.013691z^2 + 0.043362z + 0.881254)} \times \exp\{(-0.00000144z^3 - 0.00148540z^2 + 0.042835z - 0.3042) \cdot x + (-0.0000057z^3 + 0.0002134z^2 - 0.00284367z + 0.00767) \cdot x^2\}. \quad (2.5)$$

Šios funkcijos trimatis vaizdas pateiktas 2.1.4 paveiksle.

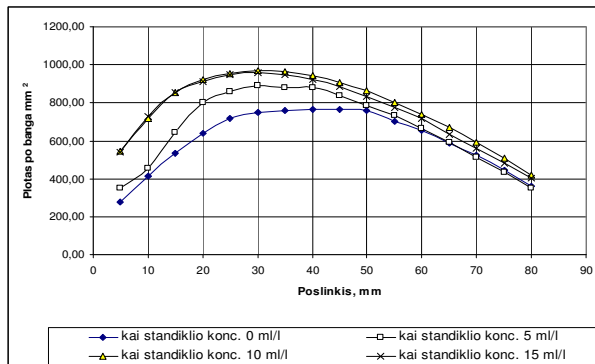


**2.1.4 pav.** Ploto po klaidymo ataudų kryptimi banga priklausomybė nuo standiklio tirpalo koncentracijos ir poslinkio

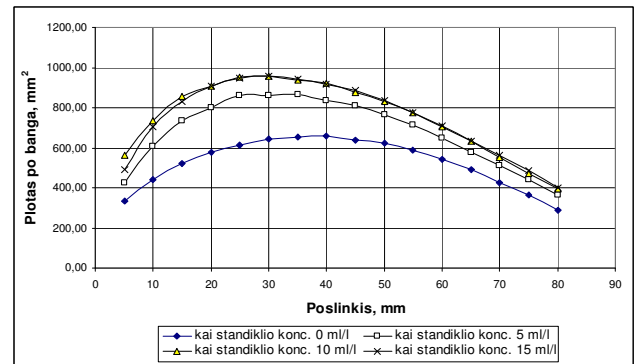
Eksperimento duomenų palyginimas su aproksimuotos funkcijos rezultatais yra pateiktas 1 priedo 10 lentelėje. Joje yra paskaičiuotos santykinės paklaidos pagal (2.3) formulę. Koreliacijos koeficientai gaunami tokie: kai standiklio koncentracija 0 ml/l – 0,957, kai 5 ml/l – 0,996, kai 10 ml/l – 0,998, o kai 15 ml/l – 0,996. Taigi galima teigti, kad eksperimento duomenų ir aproksimuotos funkcijos duomenų tarpusavio ryšys yra labai stiprus.

## 2.1.2 PLOTO PO KLUPDYMO BANGA TYRIMAS METMENŲ IR ĮSTRIŽA KRYPTIMIS

Buvo surasta klupdymo eksperimento ploto po banga ataudų kryptimi priklausomybė nuo poslinkio ir standiklio koncentracijos. Toliau buvo tirta, kaip kinta plotas po banga metmenų ir įstriža kryptimis. Šie eksperimento duomenys yra parodyti 1 priedo 1 lentelėje. Ploto po banga priklausomybės nuo poslinkio pavaizduotos 2.1.5 paveiksle.



a)



b)

2.1.5 pav. Ploto po banga kitimas metmenų (a) ir įstriža (b) kryptimis

Iš 2.1.5 paveikslo matome, kad tiek metmenų, tiek įstriža kryptimi ploto po banga kitimas yra panašus į ploto po banga kitimą ataudų kryptimi. Todėl šiuos duomenis aproksimuosime ta pačia (2.1) funkcija. Iš esmės šių duomenų tyrimas visiškai toks pat koks buvo ir 2.1.1 skyrelyje. Taigi aproksimavę funkciją, gauname tokias nežinomų koeficientų reikšmes, kurios pateiktos 2.4 lentelėje

2.4 lentelė

Klupdymo eksperimento ploto po banga aproksimuojančios funkcijos koeficientai metmenų ir įstriža kryptimis

Koeficientai	Metmenų kryptimi				Įstriža kryptimi			
	Standiklio koncentracija				Standiklio koncentracija			
	0 ml/l	5 ml/l	10 ml/l	15 ml/l	0 ml/l	5 ml/l	10 ml/l	15 ml/l
a	259,23206	324,70875	541,19066	546,18750	303,78719	432,77576	556,51804	508,12504
b	0,52629710	0,56477890	0,38617792	0,42803329	0,22875716	0,52114394	0,36503096	0,53164934
c	0,07313749	0,04989503	0,02206520	0,00325270	0,11829710	-0,00192359	0,02219288	-0,01935831
d	-0,00884337	-0,00890327	-0,00641255	-0,00592019	-0,00990852	-0,00609889	-0,00660700	-0,00534015

Koeficientų kitimo grafikai bei jų funkcinės priklausomybės nuo standiklio koncentracijos pateiktos 2 priede 1 ir 2 paveiksluose. Įsistatę rastas koeficientų kitimo funkcijas į (2.1) formulę, mes

gauname ploto po banga priklausomybes nuo  $x = \frac{\Delta x}{5}$ , kur  $\Delta x$  – poslinkis, ir standiklio koncentracijos

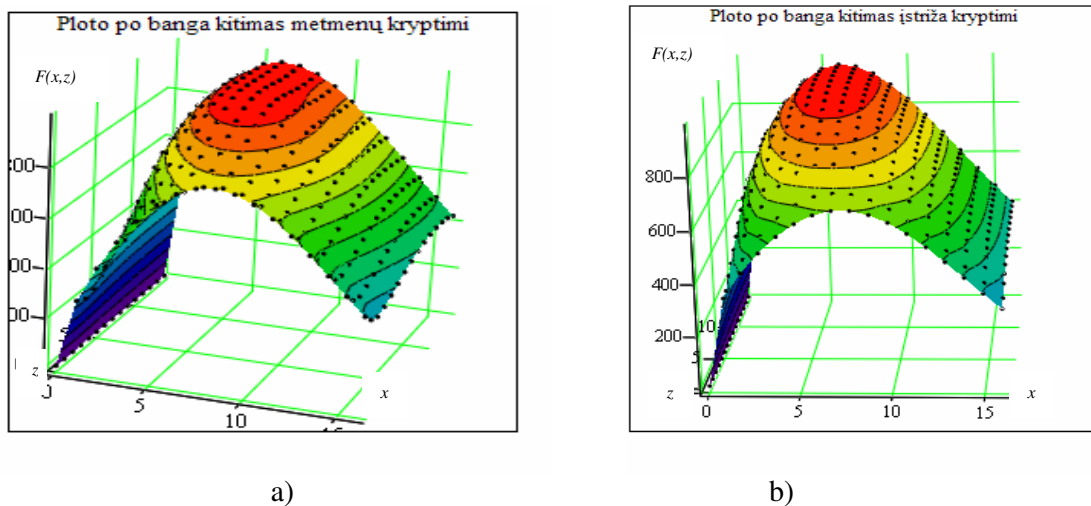
z metmenų kryptimi:

$$F(x, z) = (-0.483321z^3 + 10.26992z^2 - 26.17167z + 259.232) \cdot x^{(0.000583z^3 - 0.013092z^2 + 0.058573z + 0.5263)} \times \exp\{(0.00001813z^3 - 0.0003638z^2 - 0.00328233z + 0.07314) \cdot x + (-0.00000613z^3 + 0.000144z^2 - 0.00058667z - 0.0088) \cdot x^2\}, \quad (2.6)$$

ir įstriža kryptimi:

$$F(x, z) = (-0.222518z^3 + 3.232848z^2 + 15.19644z + 303.787) \cdot x^{(0.001028z^3 - 0.024395z^2 + 0.154743z + 0.228757)} \times \exp\{(-0.00027999z^3 + 0.00708652z^2 - 0.05247613z + 0.118297) \cdot x + (0.00000813z^3 - 0.0002084z^2 + 0.00160067z - 0.00991) \cdot x^2\}. \quad (2.7)$$

Šių funkcijų trimačiai vaizdai pateikti 2.1.6 paveiksle.



**2.1.6 pav.** Ploto po kludymo banga priklausomybė nuo poslinkio ir standiklio tirpalo koncentracijos metmenų (a) ir įstriža (b) kryptimis

Gautųjų aproksimavimo funkcijos duomenų palyginimas su eksperimento duomenimis pateiktas 1 priedo 11 ir 12 lentelėse. O jų koreliacijos koeficientai yra pateikti 2.5 lentelėje.

### 2.5 lentelė

Eksperimento duomenų ir aproksimavimo kreivių metmenų ir įstriža kryptimi koreliacijos koeficientai

Standiklio koncentracija, ml/l	Koreliacijos koeficientai	
	Metenų kryptimi	Įstriža kryptimi
0	0,997	0,997
5	0,993	0,999
10	0,998	0,999
15	0,999	0,998

Taigi gauname, kad tarp eksperimento duomenų ir aproksimuotų funkcijų duomenų yra stiprus tarpusavio ryšys.

## 2.1.3 KLUPDYMO BANGOS AUKŠČIO KITIMO TYRIMAS ATAUDŲ KRYPTIMI

Atliekant kludymo eksperimentą buvo matuojamas ne tik plotas po kludymo banga, bet ir tos bangos aukštis. 2.6 lentelėje yra pateikti eksperimento duomenys, kai medvilnė buvo kludoma ataudų

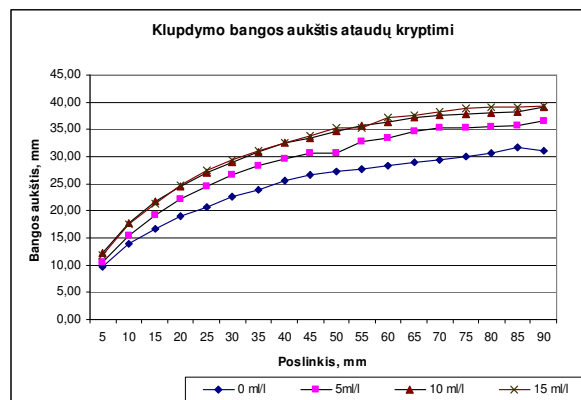
kryptimi.

## 2.6 lentelė

Bangos aukštis, kai medvilnės audinys kludomas ataudų kryptimi

Poslinkis, [mm]	Bangos aukštis, [mm]			
	0 ml/l	5ml/l	10 ml/l	15 ml/l
5	9,65	10,49	12,15	11,85
10	13,91	15,39	17,71	17,48
15	16,59	19,29	21,68	21,27
20	18,97	22,12	24,60	24,67
25	20,79	24,51	26,99	27,45
30	22,51	26,55	28,86	29,31
35	23,81	28,32	30,82	31,00
40	25,50	29,55	32,45	32,58
45	26,58	30,63	33,46	33,82
50	27,23	30,62	34,61	35,23
55	27,71	32,80	35,73	35,31
60	28,37	33,38	36,31	37,08
65	28,89	34,55	37,13	37,54
70	29,29	35,34	37,70	38,21
75	30,04	35,25	37,92	38,86
80	30,57	35,54	38,01	39,15
85	31,78	35,77	38,33	38,98
90	30,97	36,55	38,99	39,28

Bangos aukščio priklausomybė nuo poslinkio yra pavaizduota 2.1.7 paveiksle. Čia parodytos keturios kreivės, kurios gaunamos išbandžius audinį, paveiką keturiomis skirtingomis standiklio koncentracijomis.



2.1.7 pav. Bangos aukščio priklausomybė nuo poslinkio, kludant audinį ataudų kryptimi

Atsižvelgdami į kreivių formą, padarome prielaidą, kad duotus duomenis galima aproksimuoti funkcija

$$y = ax^b e^{cx} \quad (2.8)$$

čia  $x$  - poslinkis;  $y$  – bangos aukštis. Pasižiūrėkime, kaip atrodo eksperimento duomenys, kai juos logaritmuojame.

Išlogaritmavę (2.8) lygybės abi puses, gauname, kad bangos aukščio priklausomybės nuo poslinkio formulė yra tokia:

$$\ln y = \ln a + b \ln x + c, \quad (2.9)$$



Arba kitaip

$$Y = bX + A + c, \quad (2.10)$$

kur  $Y = \ln y$ ,  $X = \ln x$  ir  $A = \ln a$ .

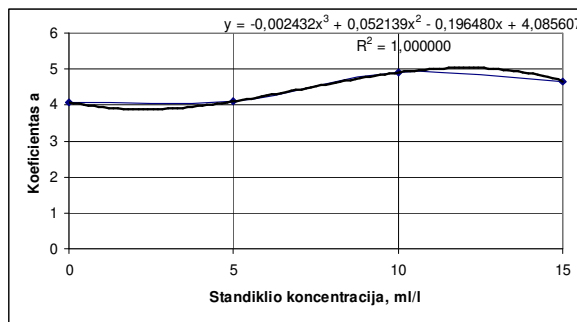
(2.9) priklausomybės koeficientus randame taikydami mažiausių kvadratų metodą. Surastų koeficientų reikšmės pateiktos 2.7 lentelėje.

**2.7 lentelė**

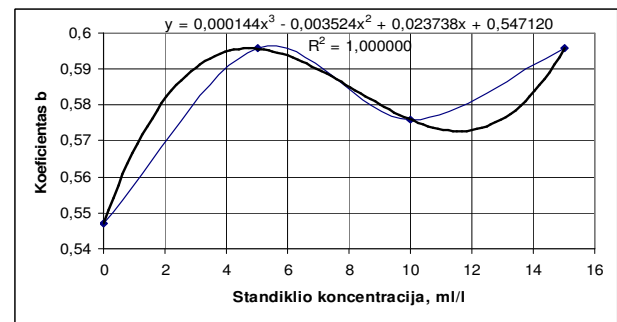
Klumpdymo ataudų kryptimi bangos aukščio aproksimuotos funkcijos koeficientai

Koeficientas	Standiklio koncentracija, ml/l			
	0	5	10	15
a	4,08561	4,10273	4,90308	4,66292
b	0,54712	0,59568	0,57592	0,59572
c	-0,00489	-0,00557	-0,00587	-0,00616

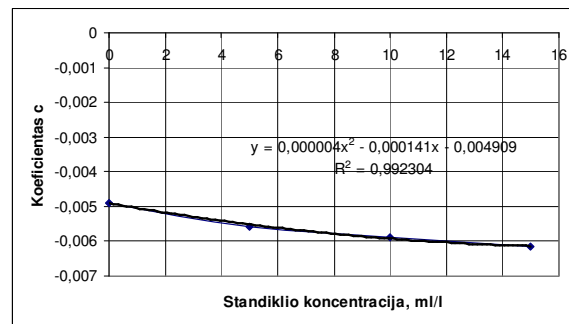
Toliau tyrėme, kokios yra rastųjų koeficientų priklausomybės nuo standiklio koncentracijos. Analogiškai, kaip ir ploto po banga atveju, nustatome, jog koeficientai  $a$  ir  $b$  aproksimuojami trečio laipsnio daugianariais, o koeficientas  $c$  aproksimuojamas jau antro laipsnio daugianariu. Aproksimavimo rezultatus iliustruoja 2.1.8 paveikslas.



a)



b)



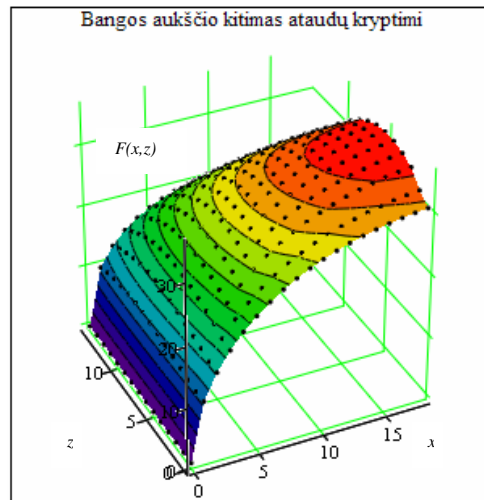
c)

**2.1.8 pav.** Bangos aukščio ataudų kryptimi funkcinės priklausomybės nuo standiklio koncentracijos a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c.

Irašę gautas funkcines priklausomybes į (2.8) formulę, gauname, kad bangos aukštį taip pat galima aprašyti kaip priklausomybę nuo poslinkio -  $x$  ir standiklio tirpalo koncentracijos -  $z$ :

$$F(x, z) = (-0.002432z^3 + 0.052139z^2 - 0.19648z + 4.085607) \times x^{(0.000144z^3 - 0.003524z^2 + 0.023738z + 0.54712)} \cdot \exp\{(0.000004z^2 - 0.000141z - 0.004909)x\} \quad (2.11)$$

Gautoji priklausomybė pavaizduota 2.1.9 paveiksle.

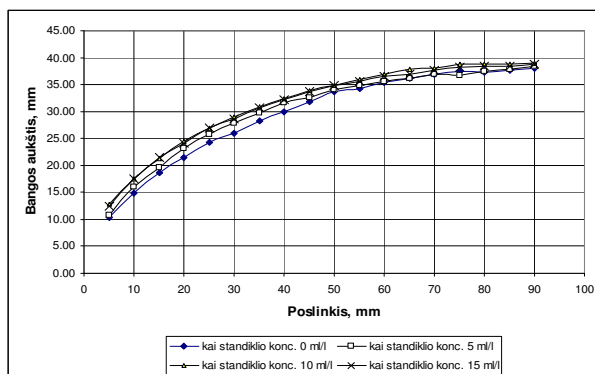


**2.1.9 pav.** Klupdymo bangos aukščio ataudų kryptimi priklausomybė nuo standiklio tirpalo koncentracijos ir poslinkio

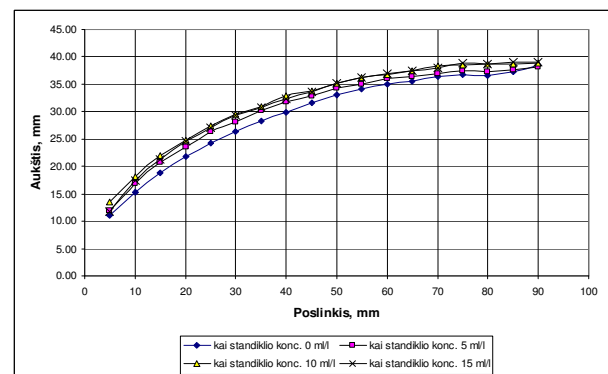
Aproksimuotos funkcijos duomenų palyginimo su eksperimento duomenimis darbe nepateikiama. Tai galima rasti MS Excell paketo faile „Progoze CO.xls“. Koreliacijos koeficientai tarp prognozuojamų ir eksperimento duomenų yra 0,999 visoms standiklio tirpalo koncentracijoms.

## 2.1.4 KLUPDYMO BANGOS AUKŠČIO KITIMO TYRIMAS METMENŲ IR ĮSTRIŽA KRYPTIMIS

Klupdant medvilninį audinį, buvo išmatuotas bangos aukštis metmenų bei įstriža kryptimis. Šie duomenys yra pateikti 1 priedo 2 lentelėje. Bangos aukščio priklausomybė nuo poslinkio skirtingomis standiklio koncentracijomis yra pavaizduotas 2.1.10 paveiksle.



a)



b)

**2.1.10 pav.** Klupdymo bangos aukštis metmenų (a) ir įstriža (b) kryptimis

Šie duomenys kinta panašiai kaip ir ataudų kryptimi. Todėl aproksimuokime juos pagal (2.8) funkciją. Tolimesnis eksperimento duomenų tyrimas panašus į 2.1.3 skyrelio tyrimą. Aproksimavę (2.8) formule pagal turimus eksperimento duomenis, mes gauname tokius koeficientus:

### 2.8 lentelė

Klupdyimo bangos aukščio eksperimento duomenų aproksimavimo funkcijos koeficientai metmenų ir įstriža kryptimis

Koeficientai	Metmenų kryptimi				Įstriža kryptimi			
	Standiklio koncentracija				Standiklio koncentracija			
	0 ml/l	5 ml/l	10 ml/l	15 ml/l	0 ml/l	5 ml/l	10 ml/l	15 ml/l
a	4.23965682	4.12755239	5.95902689	5.46230510	5.13115119	5.08401790	6.50476900	4.63187622
b	0.57565371	0.61012602	0.50119229	0.53199869	0.49824779	0.54821759	0.47473821	0.59818850
c	-0.00420382	-0.00572188	-0.00401863	-0.00475918	-0.00231307	-0.00496076	-0.00366748	-0.00625761

Gautų koeficientų priklausomybės nuo standiklio koncentracijos yra pateiktos 2 priedo 3 ir 4 paveiksluose. Kaip ir ataudų kryptimi, gauname analogiškas bangos aukščio priklausomybes nuo standiklio koncentracijos. Metmenų kryptimi ji yra tokia

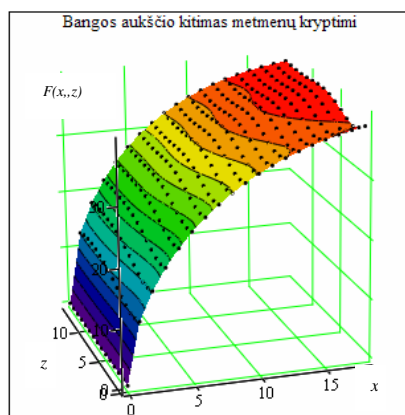
$$F(x, z) = (-0.005696z^3 + 0.124307z^2 - 0.501564z + 4.239657) \times e^{(0.000378z^3 - 0.008531z^2 + 0.040111z + 0.575654)x} \cdot e^{(-0.0000075z^3 + 0.0001776z^2 - 0.0010033z - 0.0042)x} \quad (2.12)$$

o įstriža kryptimi:

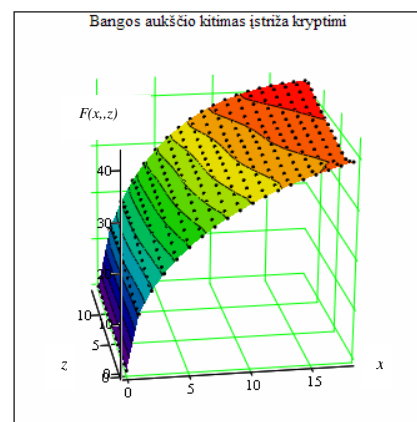
$$F(x, z) = (-0.006349z^3 + 0.124588z^2 - 0.47365z + 5.131151) \times e^{(0.000427z^3 - 0.008877z^2 + 0.043698z + 0.498248)x} \cdot e^{(-0.0000104z^3 + 0.0002352z^2 - 0.0014453z - 0.00231)x} \quad (2.13)$$

čia  $x$  – poslinkis,  $z$  – standiklio koncentracijos kiekis.

Gautųjų priklausomybių grafikai pateikti 2.1.11 paveiksle.



a)



b)

**2.1.11 pav.** Bangos aukščio priklausomybė nuo standiklio tirpalo koncentracijos ir poslinkio a) metmenų kryptimi; b) įstriža kryptimi

Koreliacijos koeficientai tarp eksperimento duomenų ir aproksimuotos funkcijos yra pateikti 2.9 lentelėje.

## 2.9 lentelė

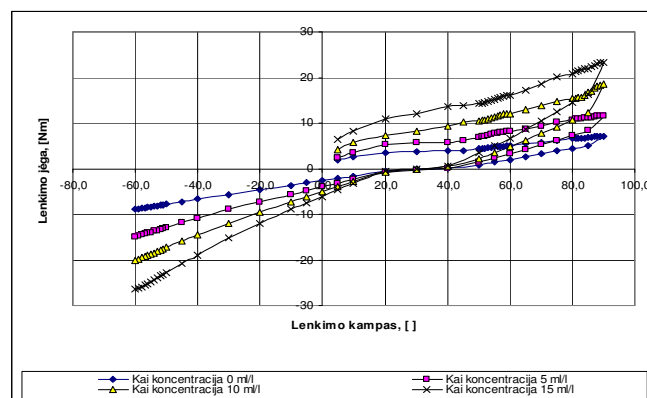
Bangos aukščio eksperimento duomenų ir aproksimavimo kreivių metmenų ir įstriža kryptimi koreliacijos koeficientai

Standiklio koncentracija, ml/l	Koreliacijos koeficientai	
	Metenų kryptimi	Įstriža kryptimi
0	0,9985	0,9979
5	0,9994	0,9994
10	0,9989	0,9987
15	0,9995	0,9996

Iš 2.9 lentelės turime, kad eksperimento duomenų ir aproksimavimo funkcijos tarpusavio ryšys yra labai stiprus.

## 2.2 TH 7 APARATU GAUTŲ EKSPERIMENTO DUOMENŲ ATAUDŲ KRYPTIMI APROKSIMAVIMAS

Svarbi audinių mechaninė savybė yra jų standumas. Kludymo tyrime medžiagos standumas buvo nusakomas kludymo bangos aukščiu ir plotu po banga. Kitas būdas nustatyti audinio standumą, yra jo lenkimo parametrų tyrimas. Vienas iš aparatų, skirtų nustatyti audinio standumą jį lenkiant, yra TH 7. Jo veikimo principas buvo aprašytas 1.4 skyrelyje. Šio eksperimento duomenys yra pateikti 1 priedo 3 lentelėje. Reikia paminėti, kad šie duomenys gaunami keturiems skirtingiems atvejams, t. y. kai medvilninis audinys nebuvo paveiktas standikliais, kai jis buvo apdorotas 5 ml/l, kai 10 ml/l ir kai 15 ml/l koncentracijos standiklio tirpalais. Su tos pačios rūšies bandiniu buvo atliekama po 6 arba 7 tuos pačius bandymus, o priede yra pateiktos eksperimento duomenų vidurkiai, atitinkantys kiekvieną lenkimo kampą. Šie duomenys yra pavaizduoti 2.2.1 paveiksle.

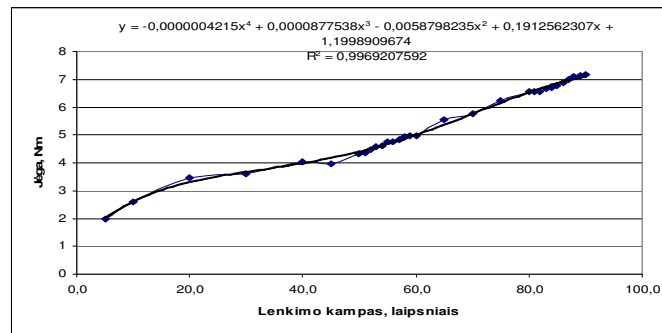


### 2.1.1 pav. Medvilnės lenkimo TH 7 aparatu ataudų kryptimi eksperimento duomenys

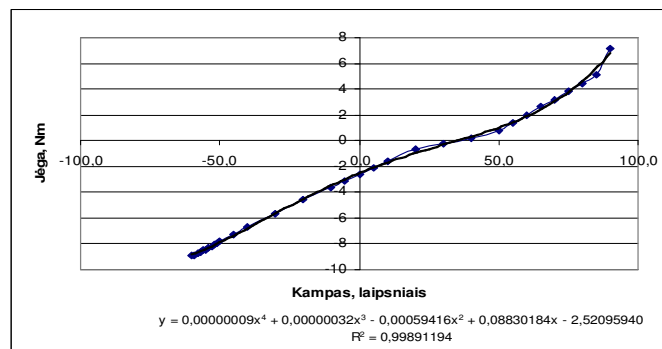
Šie duomenys sudaro nepilną histerezės kilpą, t.y. prie to paties lenkimo kampo lenkimo jėga gauta lenkiant į vieną pusę, skiriasi nuo jėgos, gautos lenkiant į kitą pusę. Tolimesniam tyrimui, mes duomenis išskaidysime į dvi grupes:

1. nagrinėjami eksperimentiniai duomenys, kai lenkimo kampas kinta nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$  ;
2. nagrinėjami eksperimentiniai duomenys, kai lenkimo kampas kinta nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$ .

Abiejų grupių duomenys yra aproksimuojami ketvirto laipsnio daugianariais. Pasinaudojant MS Excell paketu, buvo rasti tų daugianarių koeficientai. Pavyzdžiui, medvilnės, kuri nebuvo paveikta standikliais, duomenys pavaizduoti 2.2.2 paveiksle. Čia  $x$  reiškia lenkimo kampą, o  $y$  lenkimo jėgą. Kitų trijų koncentracijų duomenys yra parodyti 2 priedo 5 paveiksle. Priede pateiktuose paveikslų pavadinimuose naudoti tokie pažymėjimai – CO\_5\_A, CO\_10\_A ir CO\_15\_A, kurių reikšmės tokios: CO tai medvilnės audinys, antras skaitmuo – standiklio koncentracijos kiekis audinyje, o raidė A reiškia, kad audinys buvo lenkiamas ataudų kryptimi. Jei audinys būtų lenkiamas metmenų kryptimi, tai žymime M raide.



a)



b)

**2.2.2 pav.** Medvilnės audinio, kuris nebuvo paveiktas standiklio tirpalu, histerezės kilpos dalis a) esant lenkimo kampui nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$ ; b) esant lenkimo kampui nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$

Buvo gauti tokie koeficientai keturioms skirtingoms standiklio koncentracijoms:

2.10 lentelė

Ketvirto laipsnio daugianario koeficientai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$

Standiklio koncentracija	Koeficientai				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
0 ml/l	-0,00000042	0,00008775	-0,00588	0,1913	1,1999
5 ml/l	-0,00000084	0,0001701	-0,011229	0,3626	0,9082
10 ml/l	0,00000023	-0,00001612	-0,000675	0,1882	3,5956
15 ml/l	-0,00000114	0,00025464	-0,018428	0,6457	3,4881

## 2.11 lentelė

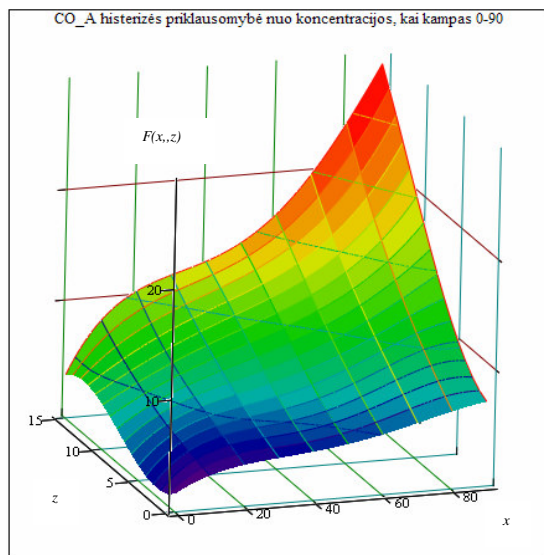
Ketvirto laipsnio daugianario koeficientai, kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°

Standiklio koncentracija, ml/l	Koeficientai, kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°				
	a koeficientas	b koeficientas	c koeficientas	d koeficientas	e koeficientas
0	0,00000007	0,00000069	-0,00049721	0,08789	-2,5658
5	0,00000010	0,00000301	-0,00090494	0,14043	-3,9232
10	0,00000015	0,00000445	-0,00128668	0,19086	-4,9960
15	0,00000020	0,00000776	-0,00180365	0,24902	-6,0860

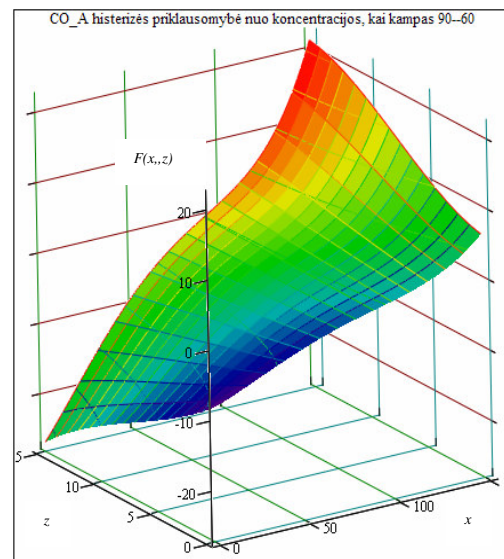
Kaip ir ankstesniuose skyreliuose, čia reikalinga atlikti koeficientų kitimo tyrimą. Jų grafikai yra pavaizduoti 2 priedo 6 ir 7 paveiksle. Galiausiai sutvarkę duomenis, mes gauname dviejų lygčių sistemą, kuri nusako lenkimo jėgos priklausomybę nuo lenkimo kampo  $x$  ir standiklio koncentracijos  $z$ :

$$F(x,z) = \begin{cases} (-0.00000000524z^3 + 0.0000001084z^2 - 0.000000495z - 0.00000042)x^4 + \\ + (0.0000009674z^3 - 0.0000198824z^2 + 0.000091697z + 0.00008775)x^3 + \\ + (-0.000058947z^3 + 0.00120226z^2 - 0.005607433z + 0.19126)x^2 + & \text{kai } x \in [0^\circ; 90^\circ] \\ + (0.00130351z^3 - 0.0264668z^2 + 0.13400833z + 0.19126)x - \\ - 0.00769852z^3 + 0.1750596z^2 - 0.741177z + 1.19989; \\ (-0.00000000027z^3 + 0.0000000008z^2 - 0.000000002667z + 0.00000007)x^4 + \\ + (0.00000000367z^3 - 0.0000000726z^2 + 0.00000073533z + 0.00000069)x^3 + \\ + (-0.000000215z^3 + 0.0000037442z^2 - 0.000094893z - 0.0004721)x^2 + & \text{kai } x \in (90^\circ; -60^\circ] \\ + (0.00001312z^3 - 0.000239z^2 + 0.011375z + 0.008789)x - \\ - 0.232668z - 2.64774; \end{cases} \quad (2.14)$$

Gautų priklausomybių trimačiai vaizdai pateikti 2.2.3 paveiksle.



a)



b)

**2.2.3 pav.** TH 7 aparatu lenkiamo audinio histerizė ataudų kryptimi esant lenkimo kampui a) nuo 0° iki 90°; b) nuo 90° iki -60°

Toliau palyginome eksperimento duomenis su duomenimis, apskaičiuotais pagal (2.14) formulę. Duomenų, kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°, palyginimo lentelė pateikta 1 priedo 13 lentelėje.

Lentelėje yra apskaičiuotos liekamųjų paklaidų kvadratų sumos. O apačioje yra pateiktos visos kitos reikalingos charakteristikos adekvatumo nustatymui, kurios apskaičiuojamos pagal 1.6 skyrelyje pateiktas formules, t.y.  $N$  eksperimento taškų skaičius,  $n$  – eksperimentų pakartojimų tame taške skaičius,  $k$  – nustatomų koeficientų kiekis,  $\varphi_1$  ir  $\varphi_2$  laisvės laipsniai,  $S_e$  – stebėjimų paklaida,  $S_{ad}^2$  – adekvatumo dispersija,  $S_{(y)}^2$  – reprodukcijos dispersija, adekvatumo kriterijus  $F_{apšk}$ .

### 2.12 lentelė

Modelio ataudų kryptimi adekvatumo nustatymui reikalingi parametrai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$

Parametrai adekvatumo nustatymui	Standiklio koncentracija, ml/l			
	0	5	10	15
n	6	7	7	7
N	0	31	31	31
k	4	4	4	4
$\varphi_1$	-5	26	26	26
$\varphi_2$	0	186	186	186
$S_e$	74,2846	336,5847	1240,571	703,8386
$S_{ad}^2$	0,059389	0,199167	0,54535	1,297042
$S_{(y)}^2$	0,479255	1,809595	6,669734	3,784078
$F_{apšk}$	0,123918	0,110062	0,081765	0,342763
$F_{lent}$	1,567252	1,555317	1,555317	1,555317

Kadangi visi  $F_{apšk} < F_{lent}$ , tai modelis yra adekvatus.

Kai lenkimo kampas kinta nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$ , eksperimento duomenų ir aproksimavimo funkcijos rezultatų palyginimo lentelė pateikta 1 priedo 14 lentelėje. Joje taip pat paskaičiuota liekamųjų paklaidų kvadratų sumos. O apačioje yra pateiktos visos kitos reikalingos charakteristikos adekvatumo nustatymui.

### 2.13 lentelė

Modelio ataudų kryptimi adekvatumo nustatymui reikalingi parametrai, kai lenkimo kampas kinta nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$

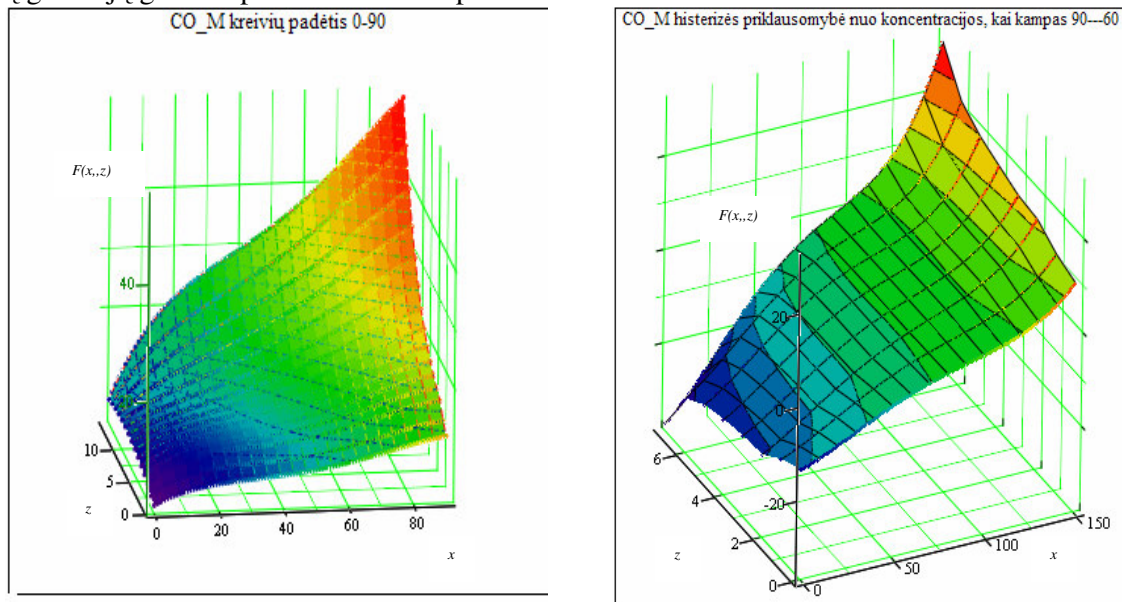
Parametrai adekvatumo nustatymui	Standiklio koncentracija, ml/l			
	0	5	10	15
n	6	7	7	7
N	31	31	31	31
k	4	4	4	4
$f_1$	26	26	26	26
$f_2$	155	186	186	186
$S_e$	36,5218	256,4078	634,0709	703,8386
$S_{ad}^2$	0,151309	0,344626	0,564073	1,297042
$S_{(y)}^2$	0,235625	1,378537	3,408983	3,784078
$F_{apšk}$	0,642162	0,249994	0,165467	0,342763
$F_{lent}$	1,567252	1,555317	1,555317	1,555317

Kadangi visi  $F_{apšk} < F_{lent}$ , tai modelis yra adekvatus.

TH 7 aparatu medvilnės audinys buvo lenkiamas ir metmenų kryptimi. Eksperimento duomenys yra pateikti 1 priedo 4 lentelėje. Histerizės kilpų dalys pavaizduotos 2 priedo 8 paveiksle. Lenkimo jėgos priklausomybės nuo lenkimo kampo yra analogiškos kaip ir ataudų kryptimi. Gauti koeficientai pateikti 1 priedo 5 lentelėje, o jų priklausomybės nuo koncentracijos pavaizduotos 2 priedo 9 ir 10 paveiksle. Jėgos priklausomybės metmenų kryptimi nuo poslinkio  $x$  ir standiklio koncentracijos  $z$  nusakomos formulėmis:

$$F(x, z) = \begin{cases} (-0.0000000035 2z^3 + 0.0000000696 z^2 - 0.000000332 z - 0.00000065)x^4 + \\ + (0.0000007838 z^3 - 0.0000151632 z^2 + 0.0000693413 z + 0.00013696)x^3 + \\ + (-0.000059962 z^3 + 0.00112974 z^2 - 0.00492502 z - 0.00910307)x^2 + \\ + (0.00175532 z^3 - 0.03154101 z^2 + 0.13599365 z + 0.29438914)x - \\ - 0.00125293 z^3 - 0.0257255 z^2 + 0.5076274 z + 1.97966446, & \text{kai } x \in [0^\circ; 90^\circ] \\ (0.0000000016 z^2 + 0.00000018)x^4 + \\ + (-0.0000000011 6z^3 - 0.0000000096 z^2 + 0.0000003713 z - 0.00000102)x^3 + \\ + (-0.00000794 z^2 - 0.00003236 z - 0.00113529)x^2 + \\ + (0.00021713 z^3 - 0.0041298 z^2 + 0.02793387 z + 0.14668918)x - \\ - 0.00615497 z^3 + 0.11961097 z^2 - 0.72654684 z - 4.18321315, & \text{kai } x \in [90^\circ; -60^\circ] \end{cases} \quad (2.15)$$

Šių gunkcijų grafikai pavaizduoti 2.2.4 paveiksle.



a)

b)

**2.2.4 pav.** TH 7 aparatu lenkiamo audinio histerizė metmenų kryptimi esant lenkimo kampui a) nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$ ; b) nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$

Prognozuojamų duomenų, gautų pagal (2.15) formules, palygimas su eksperimento duomenim atliktas MS Excell faile „TH7 adekvatumas.xls“. Šiame faile taip pat galima rasti ir duomenų palygimą ataudų kryptimi bei modelio adekvatumo tyrimą. Čia pateiksime tik adekvatumo charakteristikų lenteles.



**2.14 lentelė**

Modelio metmenų kryptimi adekvatumo nustatymui reikalingi parametrai, kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°

Parametrai adekvatumo nustatymui	Standiklio koncentracija, ml/l			
	0	5	10	15
n	7	7	6	7
N	31	31	31	31
k	4	4	4	4
f <sub>1</sub>	26	26	26	26
f <sub>2</sub>	186	186	155	186
S <sub>R</sub>	7,302598	7,142822	8,284495	9,997872
S <sub>e</sub>	685,3934	756,1075	426,7746	1972,476
S <sup>2</sup> <sub>ad</sub>	0,280869	0,274724	0,318634	0,384534
S <sup>2</sup> <sub>[y]</sub>	3,684911	4,065094	2,753385	10,60471
F <sub>apšk</sub>	0,076221	0,067581	0,115725	0,036261
F <sub>lent</sub>	1,555317	1,555317	1,567252	1,555317

**2.15 lentelė**

Modelio metmenų kryptimi adekvatumo nustatymui reikalingi parametrai, kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°

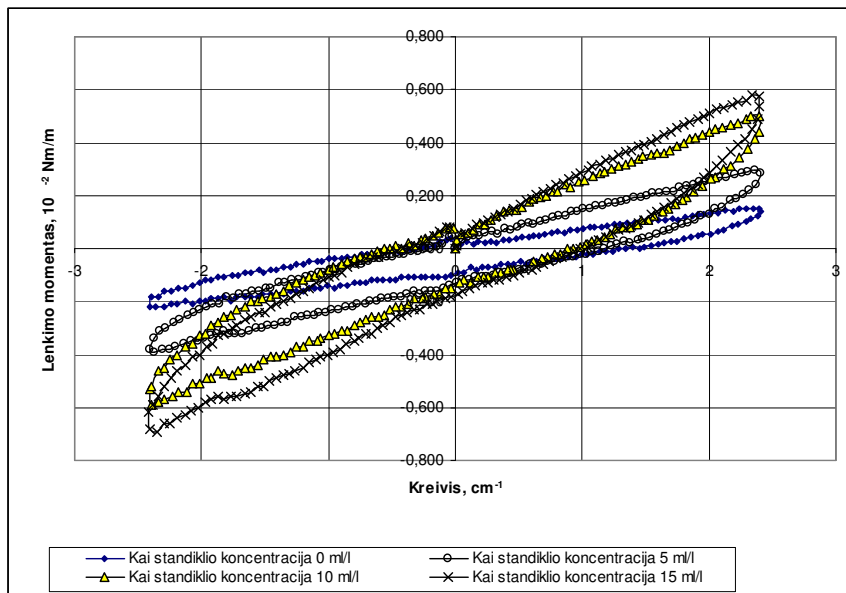
Parametrai adekvatumo nustatymui	Standiklio koncentracija, ml/l			
	0	5	10	15
n	7	7	6	7
N	31	31	31	31
k	4	4	4	4
f <sub>1</sub>	26	26	26	26
f <sub>2</sub>	186	186	155	186
S <sub>R</sub>	20,81041	38,71331	61,21215	133,0799
S <sub>e</sub>	218,6218	889,9844	350,6762	1696,493
S <sup>2</sup> <sub>ad</sub>	0,8004	1,488973	2,354314	5,118456
S <sup>2</sup> <sub>[y]</sub>	1,175386	4,784862	2,262427	9,12093
F <sub>apšk</sub>	0,680968	0,311184	1,040614	0,561177
F <sub>lent</sub>	1,555317	1,555317	1,567252	1,555317

2.14 ir 2.15 lentelėse  $F_{apšk} < F_{lent}$ , todėl galime teigti, kad modelis metmenų kryptimi yra adekvatus.

### **2.3 „KAWABATA“ APARATU GAUTŲ EKSPERIMENTO DUOMENŲ ATAUDŲ KRYPTIMI APROKSIMAVIMAS**

Aptarėme TH 7 aparatu gautus rezultatus ir suradome lenkimo jėgos priklausomybę nuo lenkimo kampo ir standiklio koncentracijos audinyje. Tačiau lenkimo eksperimentą galima atlikti ir daugybe kitų būdų. Vienas iš dažniausiai naudojamų aparatų audinio standumui surasti yra „Kawabata“ prietaisas. Šio eksperimento pagrindiniai parametrai yra lenkimo kreivis ir lenkimo momentas.

Šiame eksperimente yra lenkiamas medvilninis audinys, kuris buvo paveikta keturių skirtingų koncentracijų standiklio tirpalais. Matavimai buvo atlikti tiek ataudų, tiek įstriža kryptimis. Eksperimento duomenys ataudų kryptimi yra pateikti 1 priedo 6 lentelėje. Šių duomenų grafikai pavaizduoti 2.3.1 paveiksle.



**2.3.1 pav.** „Kawabata“ aparato eksperimentiniai duomenys ataudų kryptimi

Eksperimento duomenys yra išskaidomi į tris grupes:

1. Nagrinėjama lenkimo momento priklausomybė nuo kreivio, kol jis pasiekia maksimalią reikšmę.
2. Nagrinėjama lenkimo momento priklausomybė nuo kreivio, kol kreivis iš maksimalaus pasidaro minimalus neigiamas.
3. Nagrinėjama lenkimo momento priklausomybė nuo kreivio, kol kreivis iš minimalaus neigiamo pasidaro lygus 0.

Pirmos grupės duomenys yra aproksimuojami lygtimi:

$$y = Dx + D_1(1 - \exp(-\alpha x)), \quad (2.16)$$

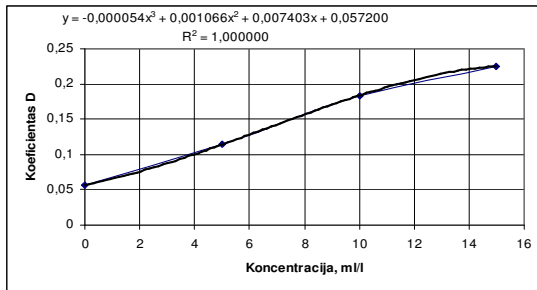
čia  $y$  – lenkimo momentas,  $x$  – kreivis. Šios funkcijos koeficientams rasti pasinaudojome Mathcad pakete siūloma funkcija „genfit“. Gaunami tokie koeficientai funkcijai ataudų kryptimi:

**2.16 lentelė**

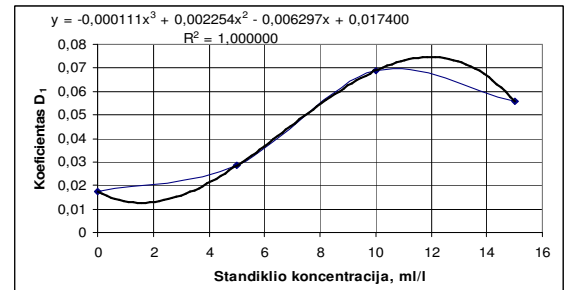
Aproksimuotos (2.10) funkcijos koeficientai

Standiklio koncentracija	Koeficientai		
	$D$	$D_1$	$\alpha$
0 ml/l	0,0684	-0,0418	0,0289
5 ml/l	0,1141	0,0284	23,7851
10 ml/l	0,1837	0,0689	8,9221
15 ml/l	0,2254	0,0557	24,4368

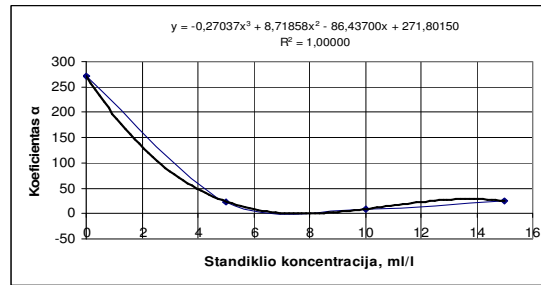
Koeficientų priklausomybės nuo standiklio koncentracijos audinyje yra pavaizduotos 2.3.2 paveiksle.



a)



b)



c)

**2.3.2 pav.** Aproximuotos funkcijos (2.16) ataudų krypties koeficiento: a)  $D$  priklausomybė nuo standiklio koncentracijos; b)  $D_1$  priklausomybė nuo standiklio koncentracijos; c)  $\alpha$  priklausomybė nuo standiklio koncentracijos

Gavome tik pirmai grupei priklausančių duomenų lenkimo momento funkcinę priklausomybę nuo standiklio koncentracijos ir kreivio.

Antrai ir trečiai grupei priklausančius duomenis aproksimuojame penktojo laipsnio polinomis. Mažiausių kvadratų metodo pagalba randame koeficientus.

### 2.17 lentelė

Penkto laipsnio daugianario koeficientai duomenims ataudų kryptimi, kol kreivis iš maksimalaus pasidaro minimalus neigiamas

Standiklio koncentracija	Koeficientai					
	a	b	c	d	e	f
0 ml/l	0,0004228	0,001202	-0,000883	-0,0023	0,0547	-0,0552
5 ml/l	0,0012942	0,002216	-0,002922	-0,0021	0,1103	-0,1314
10 ml/l	0,0013421	0,004640	-0,000416	-0,0147	0,1704	-0,1457
15 ml/l	0,0011327	0,007110	0,002545	-0,0249	0,1942	-0,1765

### 2.18 lentelė

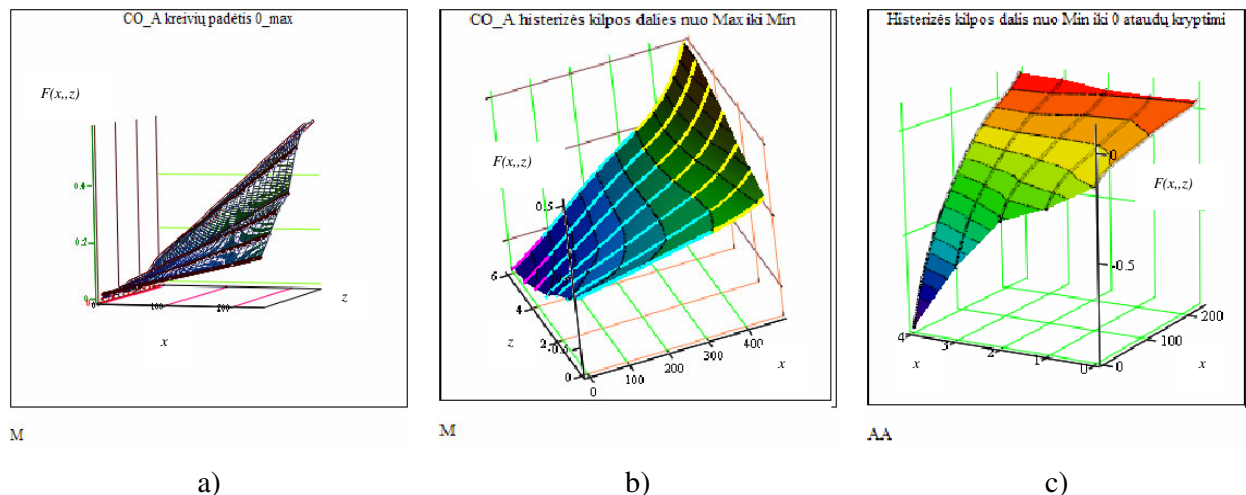
Penkto laipsnio daugianario koeficientai duomenims ataudų kryptimi, kol kreivis iš minimalaus neigiamo pasidaro lygus 0

Standiklio koncentracija	Koeficientai					
	a	b	c	d	e	f
0 ml/l	0,0329255	0,187242	0,381163	0,32149	0,1578	0,0434
5 ml/l	0,0507814	0,291249	0,617499	0,57302	0,3324	0,0530
10 ml/l	0,0385832	0,213476	0,441968	0,37173	0,2695	0,0867
15 ml/l	0,0605190	0,344230	0,721341	0,62817	0,3966	0,0986

Koeficientų priklausomybės nuo koncentracijos yra pavaizduotos 2 priedo 11 ir 12 paveiksluose. Galiausiai sutvarkę duomenis, mes gauname tris lygtis, nusakančias lenkimo momento priklausomybę nuo lenkimo kreivio  $x$  ir standiklio koncentracijos  $z$ :

$$\begin{aligned}
 F(x, z) = & \left\{ \begin{aligned}
 & (-0.000054 z^3 + 0.001066 z^2 + 0.07403 z + 0.0572) x + \\
 & (-0.000111 z^3 + 0.00254 z^2 - 0.006297 z + 0.0174) \times \\
 & \times (1 - \exp\{-(-0.27037 z^3 + 8.71858 z^2 - 86.437 z + 271.8015) x\}), \\
 & \text{kai } x \in [0; 2.4], \\
 & (0.000000755 z^3 - 0.000027794 z^2 + 0.000294377 z + 0.0004228) x^5 + \\
 & + (-0.000001819 z^3 + 0.00005548 z^2 - 0.000029133 z + 0.001202) x^4 + \\
 & + (-0.000005453 z^3 + 0.0001727 z^2 - 0.001134967 z - 0.000883) x^3 + \\
 & + (0.00002027 z^3 - 0.00056 z^2 + 0.00233333 z - 0.0023) x^2 + \\
 & + (-0.0000544 z^3 + 0.000906 z^2 + 0.00795 z + 0.0547) x - \\
 & - 0.00010453 z^3 + 0.002806 z^2 - 0.02665667 z - 0.0552, \\
 & \text{kai } x \in (2.4; -2.41], \\
 & (0.000085584 z^3 - 0.001884844 z^2 + 0.010855797 z + 0.0329255) x^5 + \\
 & + (0.000520409 z^3 - 0.01144174 z^2 + 0.064999867 z + 0.0187242) x^4 + \\
 & + (0.001155695 z^3 - 0.02557276 z^2 + 0.146238633 z + 0.381163) x^3 + \\
 & + (0.001214067 z^3 - 0.0272674 z^2 + 0.156291333 z - 0.32149) x^2 + \\
 & + (0.00057 z^3 - 0.0133 z^2 + 0.08717 z + 0.1578) x - \\
 & - 0.0000612 z^3 + 0.0014 z^2 - 0.00355 z + 0.0434, \\
 & \text{kai } x \in (-2.41; 0).
 \end{aligned} \right. \quad (2.17)
 \end{aligned}$$

Lygtyse, kintamasis  $x$  yra lenkimo kreivis, o  $z$  standiklio koncentracija audinyje. Be to, čia koeficiento reikšmėms priskiriami konkretūs duomenų intervalai. Gautųjų priklausomybių grafinis vaizdas pateiktas 2.3.3 paveiksle.



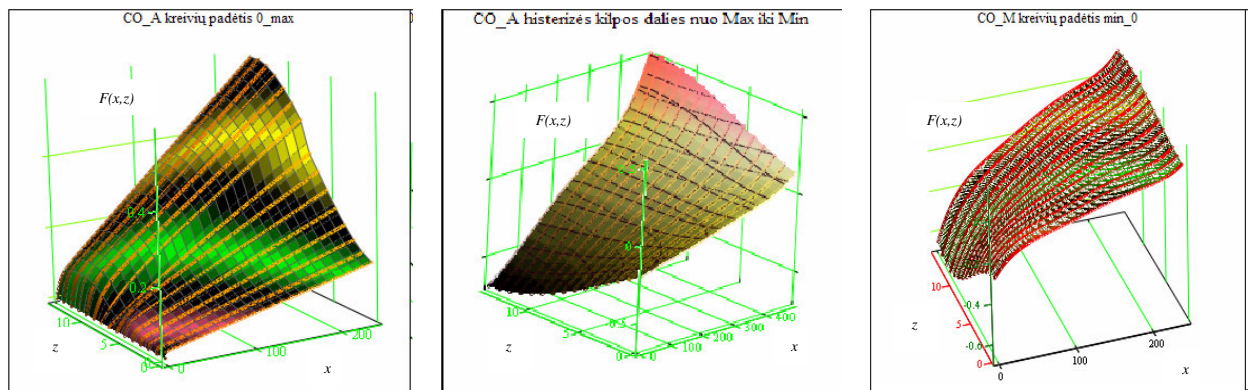
**2.3.3 pav.** „Kawabata“ aparatu ataudų kryptimi lenkiamo audinio histerizė a) iki maksimalios kreivio reikšmės; b) nuo maksimalios iki minimalios kreivio reikšmės; c) nuo minimalios kreivio reikšmės iki nulio

„Kawabata“ aparatu lenkiant audinį metmenų kryptimi gauti eksperimentiniai duomenys yra nagrinėjami visiškai analogiškai kaip ir ataudų kryptimi. Jų pradiniai ir tarpiniai duomenys yra pateikti 1 priedo 7-9 lentelėse, bei 2 priedo 13-15 paveiksluose. Gaunama, kad lenkimo momento kitimą, kalima išreikšti lygtimis:  $F(x, z) =$

$$\begin{aligned}
 & \left( \begin{aligned}
 & (-0.0001704 z^3 + 0.003264 z^2 - 0.00068 z + 0.0842) x + \\
 & + (-0.0000792 z^3 + 0.001542 z^2 - 0.00047 z + 0.0212) \times \\
 & \times (1 - \exp\{-(-0.420728 z^3 + 13.57807 z^2 - 136.93383 z + 455.2999) x\}, \\
 & (0.000002078 z^3 - 0.000042624 z^2 + 0.00027618 z + 0.0014085) x^5 + \\
 & + (-0.000004971 z^3 + 0.00009328 z^2 + 0.0001172676 z + 0.001623) x^4 + \\
 & + (-0.000020527 z^3 + 0.000421516 z^2 - 0.001793233 z + 0.005358) x^3 + \\
 & + (0.000025733 z^3 - 0.000516 z^2 + 0.000416667 z - 0.00188) x^2 + \\
 & + (-0.00013267 z^3 + 0.0026 z^2 - 0.00086333 z + 0.0892) x + \\
 & + 0.0000652 z^3 - 0.001482 z^2 - 0.00048 z - 0.1156, \\
 & (0.000041397 z^3 - 0.000681938 z^2 + 0.003199737 z + 0.0492949) x^5 + \\
 & + (0.000214623 z^3 - 0.0034825 z^2 + 0.016329733 z + 0.286002) x^4 + \\
 & + (0.000359948 z^3 - 0.00554414 z^2 + 0.0275654 z + 0.61327) x^3 + \\
 & + (0.000276253 z^3 - 0.003971 z^2 + 0.018908667 z + 0.57671) x^2 + \\
 & + (0.000639 z^2 + 0.004525 z + 0.314475) x - \\
 & - (0.00008973 z^3 + 0.001682 z^2 - 0.00180667 z + 0.0677,
 \end{aligned} \right. \quad \text{kai } x \in [0; 2.4], \\
 & \left. \begin{aligned}
 & \text{kai } x \in (2.4; -2.41], \\
 & \text{kai } x \in (-2.41; 0],
 \end{aligned} \right. \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

čia  $x$  – kreivis,  $z$  – standiklio koncentracija.

Gautųjų priklausomybių grafikai pateikti 2.3.4 paveiksle.



a)

b)

c)

**2.3.4 pav.** „Kawabata“ aparatu metmenų kryptimi lenkiamo audinio histerizė a) iki maksimalios kreivio reikšmės; b) nuo maksimalios iki minimalios kreivio reikšmės; c) nuo minimalios kreivio reikšmės iki nulio

Prognozuojamų duomenų, gautų pagal (2.17) ir (2.18) formules, palygimas su eksperimento duomenim atliktas MS Excell faile „Kawabata prognozavimas.xls“. Eksperimento duomenų ir aproksimuotų funkcijų duomenų tarpusavio ryšio koreliacijos koeficientai yra ne mažesni nei 0,995.

Visi tiriamosios dalies skaičiavimai yra atlikti MS Excell ir Mathcad paketais ir yra patalpinti „Klūpdymas“, „TH7“ ir „Kawabata“ kataloguose.

### 3 MEDVILNĖS AUDINIO LENKIMO IR KLUPDYMO EKSPERIMENTŲ DUOMENŲ PERŽIŪROS PROGRAMA

Praeitame skyriuje aproksimavome kiekvieno eksperimento duomenis juos atitinkančiomis funkcijomis ir radome jų analizines išraiškas. Tačiau paprastam vartotojui tokios funkcijos yra pernelyg išplėstos. Todėl buvo sukurta mini duomenų bazė, kurioje vartotojui jau yra pateikiami norimi rezultatai, kuriuos apskaičiuoja programa pagal mūsų aproksimuotas funkcijas. Programa sukurta MS Excell pakete, prisijungiant makrokomandas. Ją galima rasti failiuke „ALK.xls“.

Mygtukai ir pranešimo tekstai programuoti Visual Basic kalba. Pasijungus „ALK.xls“ vartotojas išvysta langą, kuris yra pateiktas 3 priedo 1 paveiksle. MS Excell faile yra sukurti 4 puslapiai, kurių viena yra darbalaukis, o kiti trys – rezultatų langai. Pirmiausiai vartotojas turi įvykdyti visas reikiamas funkcijas puslapyje „programa“. Jis turi pasirinkti norimą metodą, ir audinio apdorojimo kryptį. Tai atlikant po pasirinkimo langais kiekvieną kartą pasirodo pranešimo tekstai. Jie matosi 3 priedo 2 paveiksle. Kitu žingsniu vartotojas turi įrašyti standiklio koncentracijos kiekį langelyje, kuris yra po užrašu „Įrašykite kokios koncentracijos standikliu turi būti apdorotas audinys ( nuo 0 iki 15 ml/l)“. Čia reikalaujama, įrašyti skaičių pakliūnantį į intervalą (0; 15), nes visi eksperimentuose 15 ml/l standiklio koncentracija buvo pati didžiausia. Tada jau vartotojas turi paspausti mygtuką „Patvirtinti įrašą“. Šiuo atveju jau galimi tolimesnio darbo du atvejai. Pirmu atveju, jei pasirinktas eksperimentas yra TH 7 arba Kawabata, pasirodo pranešimas kokios veiksmai atlikti. Tokio lango pavyzdys pateiktas 3 priedo 3 paveiksle. Paspaudus mygtuką „Rodyti rezultatus“ iškrenta rezultatų langas.

Jeigu vartotojas pasirenka klupdyimo eksperimentą, paspaudus mygtuką „Patvirtinti įrašą“, iškrenta užklausa, kuri reikalauja pasirinkti klupdyimo parametą. Ji pavaizduota 3 priedo 4 paveiksle. Jį pasirinkus reikia spausti mygtuką „Pasirinkti“. Tada užklausa pradingsta ir jau puslapio „programa“ apačioje matomas pranešimas apie atliktus veiksmus (3 priedo 5 paveikslas), Tada spaudžiamas mygtukas „Rodyti rezultatus“. Rezultatų langas parodytas 3 priedo 6 paveiksle.

Kai baigiamas darbas ir vartotojas jau sužino reikiamą rezultatą, reikia grįžti į „programa“ puslapį ir paspausti mygtuką „Atstatyti į pradinę padėtį“. Kitu atveju iš naujo atliekant pasirinkimo procedūras duomenys gali išsikraipyti ir taip suklaidinti vartotoją.

Apartos programos tekstas yra pateiktas 4 priede.

## IŠVADOS

- Nustatytos medvilnės audinio pagrindinių klūpdymo parametrų – bangos aukščio ir ploto po banga – funkcinės priklausomybės nuo poslinkio ir standiklio koncentracijos. Gauta, jog ploto po banga priklausomybė yra ekstremali.
  - Ištyrus lenkimo įrenginio TH7 gautus eksperimentinius duomenis, nustatyta tekstilės medžiagą veikusios lenkimo jėgos funkcinė priklausomybė nuo lenkimo kampo ir standiklio koncentracijos.
  - Ištyrus lenkimo įrenginio Kawabata gautus eksperimentinius duomenis, nustatyta medvilnės audinio lenkimo momento priklausomybė nuo kreivio ir standiklio tirpalo koncentracijos.
- Koreliacijos koeficientai, kurie apibūdina aproksimavimo tikslumą, yra didesni nei 95 proc.

## REKOMENDACIJOS

Darbe yra nustatytos lenkimo ir klupdymo parametrų funkcinės priklausomybės nuo dviejų poveikio faktorių tik medvilnės audiniui. Todėl tolimesniems šios temos tyrimams siūlomos gairės:

1. Nagrinėti eksperimentinius duomenis, gautus lenkiant ir klupdant kitus audinius.
2. Papildyti programos ALK.xls duomenų bazę, padedančią vartotojui nuspėti audinio elgseną tam tikro eksperimento metu. Šiuo metu programa duoda rezultatus tik apie medvilnės audinio parametrus. Galima sudaryti funkcines priklausomybes, susiejančias ir tarp kitus audinių parametrus.



## LITERATŪRA

1. MATUKONIS, A.; PALAIMA, J.; VITKAUSKAS, A. *Tekstilės medžiagotyra*. Vilnius, 1976.
2. ŽEMAITAITIS, A. *Polimerų fizika ir chemija*. Kaunas, 2001.
3. DOMSKIENĖ, J. Tekstilės medžiagų klupdymo tyrimas ir vertinimas. *Daktaro disertacija. technologijos mokslai, medžiagų inžinerija*, Kaunas, 2004.
4. DALHBERG, B. Buckling. *Textile Research Journal*. 1961, Vol 31(2), p. 95-99.
5. OZCELIK, G.; FRIDRICHOVA, L.; BAJZIK, V. The comparison of two different bending rigidity testers, (CD edition), *4 th Central European Conference proceedings*, 2005, p. 1-6.
6. ADLER, J. P., MARKOVA E. V., GARANOVSKIJ J. V. *planirovanije eksperimenta pri poiske optimalnych uslovij*. Maskva, 1971.
7. HU, J. *Structure and mechanics of woven fabrics*. Cambridge, England, 2004.
8. KANG, T. J.; JOO, K. H.; LEE, K. W. Analyzing fabric buckling based on nonlinear bending properties. *Textile Research Journal*. 2004, Vol 74(2), p. 172-177.
9. ČEKANAVIČIUS, V.; MURAUSKAS, G. *Statistika ir jos taikymai. I d.* Vilnius, 2003.

# 1 PRIEDAS. DUOMENŲ IR REZULTATŲ LENTELĖS

## 1 lentelė

Medvilnės audinio ploto po klūpdymo banga metemų ir įstriža kryptimis eksperimentiniai duomenys

Poslinkis, [mm]	Plotas po banga metmenų kryptimi, [mm]				Plotas po banga įstriža kryptimi, [mm]			
	kai standiklio konc. 0 ml/l	kai standiklio konc. 5 ml/l	kai standiklio konc. 10 ml/l	kai standiklio konc. 15 ml/l	kai standiklio konc. 0 ml/l	kai standiklio konc. 5 ml/l	kai standiklio konc. 10 ml/l	kai standiklio konc. 15 ml/l
5	276,64	353,68	546,36	539,15	333,48	426,69	560,35	488,73
10	411,37	457,35	717,60	729,17	440,13	605,14	733,78	705,78
15	533,16	644,93	854,22	856,01	522,31	734,46	854,37	831,05
20	641,32	803,58	924,31	910,35	576,35	800,26	908,42	905,88
25	715,82	861,84	954,33	948,33	613,84	861,88	952,46	947,42
30	747,37	892,49	968,57	959,49	644,25	863,23	955,56	958,09
35	761,83	882,68	962,42	950,87	653,60	865,58	937,30	940,41
40	763,27	879,68	944,76	922,97	657,85	835,07	922,54	917,71
45	764,46	836,12	906,05	884,94	639,62	808,01	874,41	887,24
50	758,24	786,61	863,80	834,04	623,89	766,68	828,70	835,39
55	704,41	733,24	803,36	774,29	587,99	714,41	775,03	776,26
60	652,85	666,54	737,20	716,40	539,44	650,25	702,88	711,03
65	586,04	589,79	672,15	636,44	489,67	576,55	634,45	634,99
70	522,54	514,77	594,23	562,59	427,64	511,83	551,38	563,23
75	447,99	432,82	510,14	481,65	363,48	439,01	472,56	486,43
80	361,22	350,21	421,02	405,05	287,19	365,43	392,43	401,63

## 2 lentelė

Medvilnės audinio klūpdymo bangos aukštis metemų ir įstriža kryptimis

Poslinkis, [mm]	Bangos aukštis metmenų kryptimi, [mm]				Bangos aukštis įstriža kryptimi, [mm]			
	kai standiklio konc. 0 ml/l	kai standiklio konc. 5 ml/l	kai standiklio konc. 10 ml/l	kai standiklio konc. 15 ml/l	kai standiklio konc. 0 ml/l	kai standiklio konc. 5 ml/l	kai standiklio konc. 10 ml/l	kai standiklio konc. 15 ml/l
5	10.29	10.73	12.85	12.46	11.12	11.90	13.47	11.81
10	14.82	15.92	17.59	17.50	15.22	16.83	18.09	17.48
15	18.69	19.62	21.36	21.42	18.78	20.79	21.91	21.21
20	21.49	23.11	24.57	24.14	21.71	23.54	24.74	24.64
25	24.20	25.88	26.90	26.84	24.24	26.45	27.49	27.01
30	26.04	27.90	29.08	28.62	26.40	28.21	29.47	29.43
35	28.19	29.75	30.85	30.70	28.25	30.29	30.91	30.69
40	29.91	31.66	32.45	32.21	29.88	31.81	32.89	32.33
45	31.90	32.58	33.83	33.64	31.56	32.82	33.67	33.60
50	33.62	34.01	34.86	34.87	32.98	34.25	35.15	35.20
55	34.33	34.82	35.90	35.59	34.06	35.05	36.14	36.14
60	35.36	35.56	36.87	36.58	34.97	36.01	36.76	36.92
65	36.19	36.21	37.80	36.98	35.55	36.40	37.44	37.46
70	36.91	36.82	38.04	37.64	36.34	36.87	38.26	38.01
75	37.39	36.71	38.78	38.23	36.66	37.37	38.58	38.86
80	37.24	37.41	38.71	38.50	36.63	37.32	38.59	38.72
85	37.71	37.75	38.73	38.42	37.27	37.57	38.70	38.97
90	38.02	38.49	38.89	38.69	38.55	38.07	38.89	39.10

## 3 lentelė

Medvilnės audinio lenkimo TH 7 aparatu ataudų kryptimi eksperimento duomenys

Lenkimo kampas, [°]	Lenkimo jėga, [Nm]			
	0 ml/l	5 ml/l	10 ml/l	15 ml/l
5,0	2	2,41	4,21	6,36
10,0	2,58	3,5	5,7	8,2
20,0	3,45	5,23	7,39	10,99
30,0	3,62	5,69	8,13	12,1
40,0	4,03	5,74	9,29	13,56
45,0	3,98	6,07	10,17	13,91
50,0	4,32	6,89	10,54	14,21
51,0	4,37	7,01	10,64	14,37
52,0	4,47	7,19	10,74	14,54
53,0	4,58	7,36	10,9	14,7
54,0	4,63	7,53	11,14	14,94
55,0	4,75	7,66	11,3	15,17
56,0	4,75	7,77	11,6	15,46
57,0	4,83	7,93	11,83	15,67
58,0	4,93	8,03	11,96	15,93
59,0	4,97	8,13	11,99	15,99
60,0	4,97	8,16	12,04	16,07
65,0	5,55	8,61	12,86	17,3
70,0	5,75	9,41	13,83	18,46
75,0	6,23	10,13	14,71	20,03
80,0	6,55	10,76	15,29	20,87
81,0	6,57	10,83	15,41	21,13
82,0	6,57	10,91	15,59	21,53
83,0	6,65	10,96	15,71	21,63
84,0	6,72	11,07	15,96	21,81
85,0	6,77	11,13	16,63	21,96
86,0	6,9	11,23	17,04	22,4
87,0	7	11,36	17,57	22,53
88,0	7,1	11,54	18,04	23,06
89,0	7,15	11,59	18,36	23,29
90,0	7,17	11,66	18,44	23,3
85,0	5,12	8,44	12,27	16,34
80,0	4,45	7,41	10,57	14,41
75,0	3,83	6,27	9,07	12,44
70,0	3,18	5,2	7,8	10,4
65,0	2,62	4,17	6,21	8,67
60,0	1,93	3,31	4,89	6,74
55,0	1,37	2,39	3,51	5,09
50,0	0,78	1,49	2,23	3,44
40,0	0,15	0,16	0,57	0,63
30,0	-0,22	-0,24	-0,2	-0,2
20,0	-0,62	-0,79	-0,89	-0,56
10,0	-1,58	-2,37	-2,81	-3,31
5,0	-2,08	-3,21	-3,96	-4,66
0,0	-2,63	-4,03	-5,04	-6,11
-5,0	-3,13	-4,8	-6,11	-7,51
-10,0	-3,67	-5,64	-7,27	-8,96
-20,0	-4,58	-7,23	-9,54	-11,97
-30,0	-5,63	-8,91	-11,96	-15,27
-40,0	-6,68	-10,86	-14,56	-18,97
-45,0	-7,25	-11,86	-15,89	-20,87
-50,0	-7,82	-12,9	-17,26	-22,8
-51,0	-7,95	-13,14	-17,61	-23,17
-52,0	-8,08	-13,33	-17,84	-23,53
-53,0	-8,18	-13,51	-18,19	-23,91
-54,0	-8,28	-13,69	-18,49	-24,43
-55,0	-8,43	-13,94	-18,69	-24,73
-56,0	-8,48	-14,11	-18,94	-25,17
-57,0	-8,63	-14,37	-19,31	-25,54
-58,0	-8,72	-14,54	-19,54	-26,03
-59,0	-8,87	-14,79	-19,86	-26,24
-60,0	-8,87	-14,94	-20,09	-26,4

## 4 lentelė

Medvilnės audinio lenkimo TH 7 aparatu metmenų kryptimi eksperimento duomenys

Lenkimo kampas, [°]	Lenkimo jėga, [Nm]			
	0 ml/l	5 ml/l	10 ml/l	15 ml/l
5.0	3.17	5.86	6.28	10
10.0	4.23	7.43	8.27	13.56
20.0	5.34	9.03	9.4	18.19
30.0	5.54	8.63	9.95	21.76
40.0	6.23	10.31	12.35	22.81
45.0	6.54	10.83	12.87	23.79
50.0	7.01	11.26	13.68	24.59
51.0	7.21	11.33	13.95	24.81
52.0	7.39	11.4	14.25	25.06
53.0	7.54	11.5	14.55	25.27
54.0	7.53	11.61	14.78	25.53
55.0	7.60	11.77	14.93	25.73
56.0	7.63	11.9	15.03	26
57.0	7.57	12.11	15.3	26.26
58.0	7.54	12.26	15.6	26.53
59.0	7.51	12.44	15.72	26.7
60.0	7.54	12.44	15.9	26.74
65.0	8.73	13.46	17.08	28.43
70.0	9.24	14.24	18.07	29.84
75.0	10.40	15.16	19.08	31.03
80.0	10.79	16.14	19.97	32.51
81.0	10.81	16.24	20.18	32.76
82.0	10.86	16.36	20.42	33.03
83.0	10.99	16.49	20.58	33.27
84.0	11.10	16.59	20.7	33.57
85.0	11.21	16.76	21	33.73
86.0	11.29	16.96	21.15	34
87.0	11.34	17.01	21.33	34.16
88.0	11.57	17.06	21.57	34.33
89.0	11.84	17.1	21.68	34.41
90.0	11.89	17.09	21.77	34.4
85.0	7.51	11.61	13.28	21.44
80.0	6.44	10.21	11.63	18.64
75.0	5.63	8.73	9.8	16.11
70.0	4.57	7.5	8.2	13.33
65.0	3.74	6.3	6.58	10.77
60.0	2.74	4.79	5.1	8.36
55.0	1.9	3.47	3.73	6.06
50.0	1.13	2.17	2.32	3.86
40.0	0.26	0.26	0.4	0.77
30.0	-0.33	-0.2	-0.25	-0.3
20.0	-1.16	-1.07	-1.02	-1.53
10.0	-2.77	-3.31	-3.47	-5.41
5.0	-3.57	-4.54	-4.6	-7.43
0.0	-4.46	-5.76	-6	-9.43
-5.0	-5.3	-7.03	-7.25	-11.39
-10.0	-6.01	-8.4	-8.62	-13.5
-20.0	-7.81	-10.74	-11.4	-17.99
-30.0	-9.41	-13.17	-14.27	-22.43
-40.0	-11.1	-15.63	-17.23	-27.31
-45.0	-11.97	-17.03	-18.78	-29.67
-50.0	-12.91	-18.4	-20.43	-31.93
-51.0	-13.16	-18.63	-20.78	-32.46
-52.0	-13.31	-18.96	-21.15	-33
-53.0	-13.5	-19.14	-21.4	-33.34
-54.0	-13.61	-19.43	-21.7	-34.01
-55.0	-13.87	-19.71	-22.05	-34.5
-56.0	-14.01	-19.97	-22.27	-34.91
-57.0	-14.23	-20.23	-22.63	-35.24
-58.0	-14.39	-20.79	-23.08	-35.76
-59.0	-14.64	-21.11	-23.32	-36.07
-53.0	-13.5	-21.19	-23.53	-36.17
-54.0	-13.61	-13.61	-13.61	-13.61
-55.0	-13.87	-13.87	-13.87	-13.87
-56.0	-14.01	-14.01	-14.01	-14.01
-57.0	-14.23	-14.23	-14.23	-14.23
-58.0	-14.39	-14.39	-14.39	-14.39
-59.0	-14.64	-14.64	-14.64	-14.64
-60.0	-14.64	-14.64	-14.64	-14.64

## 5 lentelė

TH 7 aparatu gautų eksperimento duomenų aproksimuotų polinomų koeficientai

Standiklio koncentracija	Koeficientai, kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°					Koeficientai, kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
0 ml/l	-0.00000065	0.00013696	-0.009103	0.2944	1.9797	0.00000018	-0.00000102	-0.00113	0.1467	-4.1832
5 ml/l	-0.00000101	0.00020256	-0.012981	0.4052	4.296	0.00000022	0.00000045	-0.00152	0.2103	-5.595
10 ml/l	-0.00000053	0.00009784	-0.005345	0.255	5.5457	0.00000034	0.000000570	-0.00223	0.2302	-5.6426
15 ml/l	-0.00000185	0.00041064	-0.031168	1.1618	4.786	0.00000054	-0.00000153	-0.00342	0.3693	-8.942

## 6 lentelė

“Kawabata” aparatu lenkiamo medvilnės audinio ataudų kryptimi eksperimentiniai duomenys

Eil. Nr.	Standiklio koncentracija							
	0 ml/l		5 ml/l		10 ml/l		15 ml/l	
	Kreivis, [cm <sup>-1</sup> ]	Momentas, [10 <sup>-2</sup> Nm/m]	Kreivis, [cm <sup>-1</sup> ]	Momentas, [10 <sup>-2</sup> Nm/m]	Kreivis, [cm <sup>-1</sup> ]	Momentas, [10 <sup>-2</sup> Nm/m]	Kreivis, [cm <sup>-1</sup> ]	Momentas, [10 <sup>-2</sup> Nm/m]
1	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
2	0,01	0,034	0,02	0,005	0,01	0,030	0,01	0,010
3	0,05	0,017	0,06	0,031	0,05	0,053	0,04	0,053
4	0,09	0,026	0,1	0,045	0,1	0,057	0,08	0,061
5	0,14	0,014	0,15	0,047	0,14	0,072	0,13	0,077
6	0,18	0,025	0,19	0,049	0,19	0,092	0,17	0,092
7	0,23	0,019	0,24	0,059	0,23	0,091	0,22	0,097
8	0,28	0,026	0,29	0,063	0,28	0,105	0,26	0,109
9	0,33	0,023	0,34	0,056	0,33	0,124	0,31	0,118
10	0,38	0,031	0,39	0,073	0,38	0,138	0,36	0,130
11	0,43	0,031	0,44	0,071	0,43	0,144	0,41	0,140
12	0,48	0,035	0,49	0,081	0,48	0,146	0,46	0,153
13	0,53	0,042	0,53	0,089	0,53	0,158	0,51	0,166
14	0,58	0,044	0,58	0,095	0,58	0,177	0,56	0,180
15	0,62	0,047	0,62	0,093	0,62	0,186	0,6	0,189
16	0,66	0,048	0,67	0,102	0,67	0,193	0,64	0,205
17	0,71	0,053	0,72	0,109	0,72	0,199	0,69	0,214
18	0,76	0,060	0,77	0,120	0,77	0,214	0,75	0,225
19	0,81	0,065	0,82	0,123	0,81	0,214	0,8	0,239
20	0,86	0,057	0,87	0,123	0,87	0,239	0,85	0,248
21	0,91	0,071	0,92	0,138	0,91	0,233	0,89	0,265
22	0,96	0,068	0,96	0,141	0,97	0,253	0,95	0,272
23	1,01	0,074	1,01	0,148	1,02	0,259	0,99	0,287
24	1,06	0,078	1,06	0,151	1,09	0,274	1,05	0,297
25	1,1	0,079	1,11	0,163	1,14	0,284	1,08	0,310
26	1,15	0,083	1,16	0,159	1,18	0,291	1,14	0,317
27	1,2	0,086	1,21	0,172	1,23	0,299	1,19	0,333
28	1,25	0,089	1,26	0,174	1,29	0,314	1,24	0,340
29	1,3	0,093	1,31	0,178	1,34	0,315	1,29	0,353
30	1,35	0,095	1,36	0,184	1,39	0,327	1,34	0,363
31	1,41	0,098	1,41	0,193	1,44	0,336	1,39	0,371
32	1,46	0,102	1,47	0,195	1,48	0,347	1,44	0,384
33	1,5	0,101	1,51	0,200	1,54	0,352	1,49	0,390
34	1,55	0,108	1,56	0,208	1,59	0,360	1,54	0,400
35	1,6	0,108	1,61	0,211	1,65	0,361	1,59	0,412
36	1,66	0,110	1,67	0,215	1,69	0,371	1,65	0,428
37	1,71	0,111	1,72	0,217	1,75	0,387	1,7	0,442
38	1,76	0,109	1,77	0,229	1,8	0,399	1,75	0,455
39	1,81	0,116	1,82	0,235	1,85	0,411	1,8	0,467
40	1,87	0,121	1,88	0,241	1,89	0,420	1,85	0,480
41	1,91	0,128	1,92	0,251	1,95	0,430	1,91	0,490
42	1,96	0,130	1,97	0,255	2	0,438	1,96	0,499
43	2,02	0,134	2,03	0,262	2,05	0,450	2	0,512
44	2,07	0,136	2,08	0,268	2,11	0,455	2,06	0,524
45	2,13	0,144	2,14	0,270	2,17	0,469	2,12	0,531
46	2,19	0,142	2,2	0,279	2,23	0,475	2,18	0,541

47	2,24	0,150	2,26	0,287	2,29	0,487	2,23	0,551
48	2,3	0,148	2,31	0,288	2,33	0,497	2,29	0,561
49	2,35	0,153	2,36	0,297	2,39	0,497	2,34	0,578
50	2,4	0,148	2,41	0,284	2,4	0,499	2,39	0,572
51	2,41	0,140	2,37	0,242	2,36	0,413	2,4	0,537
52	2,38	0,122	2,32	0,219	2,31	0,375	2,38	0,488
53	2,33	0,114	2,27	0,206	2,24	0,342	2,34	0,449
54	2,29	0,101	2,22	0,188	2,17	0,314	2,28	0,414
55	2,23	0,091	2,17	0,180	2,12	0,302	2,23	0,391
56	2,18	0,085	2,1	0,157	2,05	0,269	2,17	0,363
57	2,12	0,072	2,05	0,148	2,01	0,261	2,11	0,334
58	2,07	0,066	2	0,130	1,95	0,238	2,06	0,312
59	2,01	0,056	1,94	0,122	1,88	0,215	2	0,286
60	1,95	0,055	1,89	0,109	1,83	0,194	1,96	0,269
61	1,91	0,049	1,84	0,099	1,79	0,181	1,91	0,244
62	1,86	0,042	1,79	0,089	1,73	0,165	1,86	0,226
63	1,8	0,036	1,74	0,078	1,68	0,153	1,8	0,209
64	1,75	0,029	1,69	0,071	1,63	0,139	1,75	0,188
65	1,7	0,025	1,64	0,062	1,57	0,124	1,7	0,170
66	1,65	0,020	1,59	0,053	1,52	0,109	1,65	0,157
67	1,6	0,016	1,53	0,044	1,47	0,107	1,59	0,138
68	1,54	0,011	1,48	0,036	1,43	0,090	1,54	0,128
69	1,49	0,008	1,44	0,030	1,38	0,081	1,49	0,110
70	1,45	0,000	1,38	0,024	1,32	0,083	1,44	0,098
71	1,4	0,006	1,33	0,026	1,27	0,074	1,39	0,085
72	1,34	0,000	1,28	0,017	1,22	0,056	1,34	0,074
73	1,29	0,000	1,23	0,010	1,17	0,044	1,29	0,071
74	1,24	-0,010	1,18	0,000	1,12	0,032	1,24	0,061
75	1,19	-0,010	1,13	-0,010	1,07	0,028	1,19	0,042
76	1,14	-0,010	1,08	-0,010	1,03	0,016	1,13	0,031
77	1,09	-0,020	1,03	-0,020	0,98	0,007	1,08	0,018
78	1,04	-0,020	0,99	-0,020	0,93	0,000	1,04	0,006
79	1	-0,020	0,93	-0,030	0,88	0,000	0,99	0,000
80	0,95	-0,030	0,88	-0,030	0,83	-0,020	0,94	-0,010
81	0,9	-0,030	0,84	-0,040	0,78	-0,020	0,89	-0,020
82	0,84	-0,040	0,78	-0,050	0,73	-0,030	0,84	-0,030
83	0,8	-0,040	0,73	-0,050	0,68	-0,040	0,79	-0,040
84	0,75	-0,040	0,68	-0,060	0,62	-0,050	0,74	-0,050
85	0,69	-0,040	0,63	-0,060	0,46	-0,080	0,69	-0,060
86	0,64	-0,050	0,59	-0,060	0,44	-0,080	0,64	-0,070
87	0,61	-0,050	0,55	-0,080	0,41	-0,080	0,6	-0,080
88	0,56	-0,060	0,5	-0,080	0,36	-0,090	0,55	-0,080
89	0,51	-0,050	0,44	-0,090	0,31	-0,090	0,5	-0,090
90	0,46	-0,060	0,39	-0,090	0,26	-0,110	0,46	-0,100
91	0,41	-0,060	0,35	-0,090	0,22	-0,110	0,4	-0,110
92	0,36	-0,060	0,3	-0,100	0,18	-0,110	0,35	-0,120
93	0,31	-0,070	0,25	-0,110	0,12	-0,130	0,3	-0,120
94	0,26	-0,070	0,21	-0,110	0,07	-0,120	0,26	-0,130
95	0,21	-0,070	0,16	-0,110	0,03	-0,130	0,21	-0,130
96	0,17	-0,080	0,11	-0,120	-0,03	-0,150	0,16	-0,140
97	0,12	-0,070	0,06	-0,120	-0,08	-0,150	0,11	-0,150
98	0,07	-0,090	0,01	-0,130	-0,12	-0,170	0,06	-0,160
99	0,02	-0,090	-0,04	-0,140	-0,17	-0,170	0,02	-0,170
100	-0,03	-0,100	-0,09	-0,150	-0,23	-0,180	-0,03	-0,180
101	-0,08	-0,110	-0,14	-0,160	-0,26	-0,190	-0,08	-0,190
102	-0,13	-0,110	-0,19	-0,160	-0,32	-0,190	-0,14	-0,200
103	-0,18	-0,110	-0,23	-0,160	-0,37	-0,210	-0,18	-0,210
104	-0,23	-0,110	-0,28	-0,170	-0,42	-0,220	-0,22	-0,210
105	-0,27	-0,110	-0,33	-0,160	-0,47	-0,220	-0,28	-0,230
106	-0,32	-0,110	-0,38	-0,170	-0,52	-0,230	-0,32	-0,230
107	-0,37	-0,110	-0,43	-0,180	-0,56	-0,250	-0,38	-0,240
108	-0,42	-0,110	-0,48	-0,180	-0,61	-0,260	-0,42	-0,250
109	-0,47	-0,120	-0,53	-0,190	-0,66	-0,260	-0,47	-0,260
110	-0,52	-0,120	-0,58	-0,190	-0,7	-0,270	-0,52	-0,280
111	-0,57	-0,120	-0,62	-0,200	-0,75	-0,280	-0,57	-0,290
112	-0,62	-0,120	-0,67	-0,200	-0,8	-0,290	-0,62	-0,300
113	-0,66	-0,120	-0,71	-0,210	-0,85	-0,310	-0,66	-0,320
114	-0,7	-0,130	-0,77	-0,210	-0,9	-0,310	-0,71	-0,320
115	-0,75	-0,130	-0,81	-0,220	-0,95	-0,320	-0,76	-0,340
116	-0,8	-0,130	-0,86	-0,220	-1	-0,330	-0,8	-0,350
117	-0,85	-0,140	-0,92	-0,230	-1,06	-0,340	-0,86	-0,360
118	-0,91	-0,140	-0,97	-0,230	-1,09	-0,350	-0,91	-0,380
119	-0,95	-0,150	-1,02	-0,240	-1,15	-0,350	-0,96	-0,390
120	-1,01	-0,140	-1,07	-0,240	-1,2	-0,370	-1,01	-0,400
121	-1,06	-0,150	-1,11	-0,250	-1,25	-0,370	-1,06	-0,410
122	-1,11	-0,150	-1,16	-0,250	-1,3	-0,390	-1,1	-0,420
123	-1,15	-0,150	-1,21	-0,260	-1,35	-0,400	-1,15	-0,430



## 7 lentelė

“Kawabata” aparatu lenkiamo medvilnės audinio metmenų kryptimi eksperimentiniai duomenys

Eil. Nr.	Standiklio koncentracija							
	0 ml/l		5 ml/l		10 ml/l		15 ml/l	
	Kreisvis, [cm <sup>-1</sup> ]	Momentas, [10 <sup>-2</sup> Nm/m]	Kreisvis, [cm <sup>-1</sup> ]	Momentas, [10 <sup>-2</sup> Nm/m]	Kreisvis, [cm <sup>-1</sup> ]	Momentas, [10 <sup>-2</sup> Nm/m]	Kreisvis, [cm <sup>-1</sup> ]	Momentas, [10 <sup>-2</sup> Nm/m]
1	0,02	0,024	0,01	0,023	0,02	0,055	0,02	0,06
2	0,06	0,045	0,04	0,047	0,06	0,084	0,05	0,083
3	0,1	0,031	0,09	0,061	0,11	0,097	0,1	0,114
4	0,15	0,032	0,14	0,069	0,15	0,109	0,14	0,12
5	0,21	0,037	0,19	0,074	0,21	0,123	0,18	0,141
6	0,24	0,038	0,23	0,077	0,24	0,134	0,23	0,147
7	0,29	0,041	0,28	0,087	0,29	0,153	0,3	0,171
8	0,34	0,049	0,33	0,087	0,34	0,166	0,35	0,171
9	0,39	0,045	0,38	0,098	0,39	0,183	0,4	0,191
10	0,44	0,054	0,43	0,103	0,44	0,186	0,46	0,191
11	0,49	0,057	0,48	0,11	0,49	0,201	0,5	0,215
12	0,54	0,06	0,52	0,118	0,54	0,212	0,55	0,214
13	0,58	0,072	0,58	0,126	0,59	0,231	0,6	0,237
14	0,62	0,067	0,62	0,134	0,62	0,242	0,64	0,239
15	0,67	0,075	0,66	0,138	0,68	0,257	0,69	0,266
16	0,72	0,086	0,71	0,148	0,72	0,262	0,74	0,263
17	0,77	0,087	0,76	0,154	0,78	0,281	0,79	0,286
18	0,82	0,086	0,8	0,165	0,83	0,288	0,84	0,287
19	0,87	0,099	0,86	0,169	0,88	0,308	0,89	0,306
20	0,92	0,099	0,91	0,18	0,93	0,314	0,94	0,308
21	0,97	0,105	0,96	0,189	0,98	0,332	0,99	0,333
22	1,02	0,11	1,01	0,189	1,03	0,333	1,04	0,332
23	1,06	0,122	1,06	0,205	1,07	0,353	1,08	0,354
24	1,11	0,12	1,11	0,207	1,12	0,363	1,16	0,364
25	1,16	0,12	1,15	0,212	1,17	0,375	1,21	0,377
26	1,21	0,127	1,2	0,221	1,22	0,383	1,26	0,39
27	1,26	0,13	1,25	0,231	1,27	0,395	1,32	0,405
28	1,32	0,139	1,3	0,236	1,32	0,408	1,37	0,411
29	1,37	0,141	1,35	0,237	1,37	0,419	1,42	0,428
30	1,42	0,138	1,4	0,255	1,42	0,432	1,47	0,436
31	1,47	0,144	1,45	0,259	1,47	0,442	1,51	0,443
32	1,52	0,151	1,51	0,26	1,52	0,451	1,57	0,451
33	1,57	0,153	1,55	0,265	1,57	0,455	1,62	0,456
34	1,62	0,158	1,6	0,28	1,62	0,463	1,67	0,472
35	1,67	0,156	1,66	0,272	1,68	0,467	1,72	0,499
36	1,73	0,164	1,71	0,285	1,72	0,496	1,78	0,505
37	1,78	0,159	1,76	0,282	1,78	0,505	1,85	0,531
38	1,83	0,168	1,81	0,309	1,83	0,517	1,89	0,537
39	1,88	0,176	1,86	0,306	1,88	0,534	1,95	0,558
40	1,92	0,18	1,92	0,318	1,93	0,542	2	0,559
41	1,98	0,189	1,96	0,332	1,98	0,557	2,06	0,577
42	2,03	0,193	2,01	0,329	2,04	0,565	2,11	0,589
43	2,09	0,195	2,07	0,344	2,1	0,574	2,2	0,612
44	2,14	0,202	2,13	0,349	2,15	0,591	2,25	0,614
45	2,2	0,212	2,19	0,349	2,21	0,603	2,32	0,637
46	2,26	0,211	2,24	0,361	2,27	0,609	2,36	0,642
47	2,32	0,223	2,3	0,367	2,32	0,625	2,41	0,626
48	2,37	0,22	2,36	0,377	2,38	0,637	2,38	0,506
49	2,42	0,215	2,39	0,346	2,41	0,584	2,32	0,463
50	2,38	0,166	2,36	0,288	2,4	0,551	2,28	0,42
51	2,33	0,15	2,31	0,268	2,36	0,499	2,22	0,385
52	2,28	0,14	2,25	0,245	2,31	0,46	2,16	0,351
53	2,23	0,122	2,2	0,227	2,26	0,42	2,11	0,32
54	2,17	0,122	2,14	0,205	2,2	0,393	2,05	0,291
55	2,11	0,102	2,08	0,186	2,15	0,36	1,99	0,265
56	2,06	0,095	2,03	0,169	2,09	0,328	1,94	0,238
57	2	0,08	1,97	0,151	2,03	0,303	1,89	0,213
58	1,95	0,073	1,93	0,136	1,98	0,276	1,85	0,191
59	1,89	0,072	1,88	0,126	1,92	0,256	1,8	0,174
60	1,85	0,055	1,83	0,109	1,88	0,235	1,72	0,141
61	1,8	0,047	1,77	0,093	1,83	0,213	1,66	0,123
62	1,75	0,044	1,72	0,086	1,78	0,197	1,61	0,108
63	1,7	0,034	1,67	0,074	1,72	0,175	1,56	0,09
64	1,65	0,032	1,62	0,067	1,67	0,159	1,5	0,074



65	1,59	0,018	1,56	0,059	1,62	0,14	1,46	0,059
66	1,54	0,02	1,52	0,05	1,57	0,126	1,41	0,045
67	1,49	0,018	1,47	0,041	1,51	0,109	1,36	0,032
68	1,44	0,007	1,42	0,028	1,47	0,093	1,31	0,037
69	1,39	0,006	1,36	0,026	1,42	0,08	1,26	0,03
70	1,34	0,018	1,32	0,032	1,37	0,069	1,21	0,006
71	1,29	0,002	1,26	0,016	1,31	0,068	1,15	-0
72	1,24	-0,012	1,21	0,008	1,27	0,063	1,1	-0,02
73	1,19	-0,011	1,16	-0	1,21	0,041	1,06	-0,03
74	1,14	-0,013	1,11	-0,01	1,16	0,03	1,01	-0,04
75	1,08	-0,022	1,07	-0,01	1,11	0,011	0,96	-0,05
76	1,03	-0,028	1,02	-0,02	1,06	0,002	0,91	-0,06
77	0,99	-0,028	0,97	-0,03	1,02	-0,01	0,86	-0,07
78	0,95	-0,035	0,91	-0,03	0,97	-0,01	0,81	-0,08
79	0,89	-0,042	0,87	-0,04	0,92	-0,03	0,76	-0,09
80	0,85	-0,038	0,82	-0,05	0,87	-0,03	0,71	-0,1
81	0,79	-0,048	0,77	-0,05	0,82	-0,05	0,66	-0,11
82	0,75	-0,054	0,71	-0,06	0,77	-0,06	0,62	-0,12
83	0,69	-0,055	0,67	-0,06	0,72	-0,07	0,57	-0,13
84	0,64	-0,059	0,62	-0,08	0,66	-0,08	0,52	-0,14
85	0,6	-0,065	0,58	-0,07	0,62	-0,09	0,47	-0,15
86	0,55	-0,074	0,53	-0,08	0,58	-0,1	0,42	-0,16
87	0,5	-0,075	0,48	-0,09	0,53	-0,11	0,37	-0,17
88	0,46	-0,079	0,43	-0,09	0,48	-0,12	0,32	-0,17
89	0,4	-0,085	0,38	-0,1	0,43	-0,13	0,27	-0,18
90	0,36	-0,084	0,33	-0,1	0,38	-0,13	0,22	-0,19
91	0,3	-0,086	0,28	-0,11	0,33	-0,15	0,18	-0,2
92	0,25	-0,092	0,23	-0,11	0,28	-0,15	0,13	-0,21
93	0,21	-0,096	0,19	-0,12	0,23	-0,16	0,08	-0,22
94	0,16	-0,101	0,14	-0,12	0,18	-0,17	0,04	-0,23
95	0,11	-0,102	0,09	-0,13	0,14	-0,17	-0,02	-0,24
96	0,07	-0,113	0,04	-0,14	0,09	-0,18	-0,07	-0,26
97	0,02	-0,122	-0,01	-0,15	0,04	-0,19	-0,12	-0,26
98	-0,03	-0,129	-0,06	-0,17	-0,01	-0,19	-0,16	-0,28
99	-0,09	-0,135	-0,11	-0,17	-0,06	-0,21	-0,23	-0,29
100	-0,13	-0,138	-0,16	-0,18	-0,11	-0,23	-0,28	-0,29
101	-0,18	-0,136	-0,21	-0,18	-0,16	-0,24	-0,33	-0,3
102	-0,23	-0,14	-0,25	-0,19	-0,21	-0,25	-0,38	-0,31
103	-0,27	-0,138	-0,3	-0,19	-0,26	-0,26	-0,43	-0,32
104	-0,32	-0,142	-0,35	-0,2	-0,3	-0,26	-0,48	-0,34
105	-0,38	-0,146	-0,4	-0,2	-0,35	-0,27	-0,53	-0,35
106	-0,42	-0,151	-0,45	-0,21	-0,4	-0,28	-0,57	-0,36
107	-0,47	-0,152	-0,5	-0,21	-0,45	-0,3	-0,63	-0,37
108	-0,52	-0,153	-0,55	-0,22	-0,5	-0,31	-0,67	-0,38
109	-0,57	-0,163	-0,6	-0,23	-0,55	-0,32	-0,71	-0,4
110	-0,62	-0,166	-0,63	-0,23	-0,6	-0,33	-0,76	-0,41
111	-0,66	-0,169	-0,69	-0,24	-0,64	-0,34	-0,81	-0,42
112	-0,71	-0,175	-0,73	-0,24	-0,68	-0,35	-0,86	-0,43
113	-0,76	-0,176	-0,78	-0,25	-0,73	-0,36	-0,92	-0,45
114	-0,81	-0,182	-0,84	-0,26	-0,78	-0,38	-0,97	-0,45
115	-0,86	-0,186	-0,89	-0,26	-0,83	-0,39	-1,02	-0,47
116	-0,91	-0,191	-0,93	-0,27	-0,89	-0,4	-1,08	-0,49
117	-0,96	-0,195	-0,99	-0,27	-0,94	-0,41	-1,14	-0,5
118	-1,01	-0,2	-1,03	-0,28	-0,98	-0,42	-1,19	-0,51
119	-1,06	-0,203	-1,07	-0,29	-1,04	-0,44	-1,26	-0,52
120	-1,11	-0,211	-1,13	-0,3	-1,08	-0,46	-1,32	-0,54
121	-1,15	-0,209	-1,18	-0,3	-1,13	-0,46	-1,37	-0,55
122	-1,2	-0,22	-1,23	-0,31	-1,18	-0,47	-1,42	-0,56
123	-1,25	-0,221	-1,28	-0,31	-1,23	-0,49	-1,47	-0,57
124	-1,31	-0,227	-1,34	-0,32	-1,28	-0,5	-1,52	-0,59
125	-1,36	-0,229	-1,39	-0,33	-1,33	-0,51	-1,6	-0,61
126	-1,41	-0,236	-1,44	-0,34	-1,39	-0,52	-1,65	-0,62
127	-1,47	-0,237	-1,48	-0,34	-1,44	-0,54	-1,7	-0,64
128	-1,52	-0,244	-1,54	-0,35	-1,49	-0,54	-1,76	-0,65
129	-1,56	-0,245	-1,59	-0,36	-1,54	-0,56	-1,81	-0,64
130	-1,61	-0,254	-1,64	-0,37	-1,59	-0,57	-1,86	-0,65
131	-1,67	-0,254	-1,69	-0,37	-1,64	-0,58	-1,91	-0,66
132	-1,72	-0,26	-1,75	-0,38	-1,69	-0,59	-1,96	-0,67
133	-1,77	-0,248	-1,8	-0,39	-1,75	-0,61	-2,01	-0,69
134	-1,82	-0,256	-1,85	-0,37	-1,8	-0,62	-2,07	-0,71
135	-1,87	-0,262	-1,89	-0,39	-1,85	-0,61	-2,12	-0,72
136	-1,93	-0,273	-1,95	-0,39	-1,9	-0,62	-2,17	-0,74
137	-1,97	-0,272	-2	-0,4	-1,96	-0,63	-2,26	-0,76
138	-2,02	-0,288	-2,05	-0,41	-2	-0,64	-2,31	-0,77
139	-2,08	-0,278	-2,11	-0,42	-2,05	-0,66	-2,37	-0,8
140	-2,13	-0,299	-2,16	-0,43	-2,1	-0,67	-2,41	-0,77
141	-2,19	-0,291	-2,21	-0,43	-2,16	-0,69	-2,38	-0,65
142	-2,24	-0,306	-2,27	-0,44	-2,21	-0,7	-2,31	-0,6

143	-2,3	-0,303	-2,32	-0,45	-2,27	-0,72	-2,26	-0,56
144	-2,36	-0,321	-2,38	-0,46	-2,33	-0,73	-2,2	-0,53
145	-2,41	-0,302	-2,42	-0,45	-2,38	-0,75	-2,14	-0,49
146	-2,38	-0,261	-2,41	-0,39	-2,42	-0,7	-2,09	-0,47
147	-2,34	-0,245	-2,37	-0,37	-2,4	-0,63	-2,04	-0,44
148	-2,29	-0,232	-2,32	-0,34	-2,37	-0,61	-1,98	-0,42
149	-2,23	-0,211	-2,28	-0,33	-2,32	-0,56	-1,93	-0,39
150	-2,17	-0,197	-2,22	-0,3	-2,26	-0,53	-1,86	-0,37
151	-2,12	-0,195	-2,16	-0,29	-2,2	-0,5	-1,81	-0,34
152	-2,06	-0,178	-2,11	-0,27	-2,15	-0,47	-1,75	-0,33
153	-2,01	-0,17	-2,06	-0,26	-2,09	-0,44	-1,7	-0,3
154	-1,96	-0,153	-2	-0,24	-2,04	-0,42	-1,65	-0,29
155	-1,91	-0,154	-1,95	-0,23	-1,99	-0,39	-1,59	-0,27
156	-1,86	-0,148	-1,91	-0,21	-1,93	-0,37	-1,54	-0,26
157	-1,81	-0,14	-1,85	-0,21	-1,89	-0,35	-1,49	-0,25
158	-1,76	-0,124	-1,8	-0,19	-1,84	-0,33	-1,45	-0,23
159	-1,71	-0,124	-1,75	-0,18	-1,79	-0,31	-1,39	-0,22
160	-1,65	-0,114	-1,7	-0,17	-1,73	-0,29	-1,34	-0,21
161	-1,6	-0,113	-1,65	-0,16	-1,68	-0,27	-1,29	-0,18
162	-1,54	-0,107	-1,59	-0,15	-1,63	-0,26	-1,24	-0,18
163	-1,51	-0,105	-1,54	-0,15	-1,57	-0,24	-1,16	-0,15
164	-1,45	-0,103	-1,49	-0,14	-1,52	-0,24	-1,11	-0,14
165	-1,4	-0,103	-1,45	-0,13	-1,48	-0,21	-1,07	-0,14
166	-1,35	-0,084	-1,39	-0,12	-1,43	-0,2	-1,02	-0,12
167	-1,3	-0,081	-1,34	-0,12	-1,37	-0,18	-0,96	-0,11
168	-1,24	-0,074	-1,28	-0,1	-1,33	-0,16	-0,91	-0,1
169	-1,2	-0,067	-1,23	-0,09	-1,27	-0,15	-0,86	-0,09
170	-1,14	-0,062	-1,18	-0,09	-1,22	-0,15	-0,79	-0,07
171	-1,09	-0,062	-1,13	-0,08	-1,17	-0,12	-0,74	-0,06
172	-1,05	-0,048	-1,08	-0,07	-1,12	-0,11	-0,69	-0,05
173	-1	-0,049	-1,03	-0,06	-1,08	-0,11	-0,64	-0,04
174	-0,95	-0,043	-0,99	-0,05	-1,02	-0,1	-0,61	-0,03
175	-0,89	-0,037	-0,93	-0,05	-0,98	-0,08	-0,55	-0,03
176	-0,85	-0,03	-0,88	-0,04	-0,92	-0,07	-0,5	-0,01
177	-0,79	-0,03	-0,83	-0,04	-0,87	-0,06	-0,45	-0,02
178	-0,75	-0,026	-0,78	-0,03	-0,82	-0,05	-0,4	-0
179	-0,69	-0,02	-0,74	-0,02	-0,77	-0,04	-0,36	-0
180	-0,64	-0,014	-0,68	-0,02	-0,72	-0,03	-0,31	0,011
181	-0,6	-0,012	-0,63	-0,01	-0,67	-0,02	-0,26	0,024
182	-0,55	-0,012	-0,59	-0	-0,63	-0,01	-0,21	0,038
183	-0,5	-0,005	-0,54	-0,01	-0,58	0,001	-0,17	0,054
184	-0,46	0	-0,49	0,001	-0,53	-0	-0,12	0,067
185	-0,4	0,002	-0,45	0,006	-0,48	0,006	-0,06	0,099
186	-0,35	0,007	-0,39	0,01	-0,44	0,014	-0,02	0,093
187	-0,3	0,01	-0,34	0,018	-0,39	0,026		
188	-0,26	0,012	-0,29	0,025	-0,33	0,035		
189	-0,21	0,019	-0,24	0,034	-0,29	0,042		
190	-0,16	0,029	-0,19	0,044	-0,23	0,05		
191	-0,11	0,043	-0,15	0,049	-0,19	0,069		
192	-0,06	0,051	-0,1	0,063	-0,15	0,085		
193	-0,02	0,061	-0,05	0,078	-0,09	0,104		
194			-0,03	0,071	-0,04	0,117		
195					-0,01	0,11		

## 8 lentelė

“Kawabata” aparatu lenkiant audinį metmenų kryptimi gautų 1 ir 2 grupės duomenų aproksimuotų funkcijų koeficientai

Standiklio koncentracija	Aproksimuotos funkcijos koeficientai, kai kreivis pasiekia maksimalią reikšmę			Aproksimuotos funkcijos koeficientai, kai kreivis iš maksimalaus pasidaro minimalus neigiamas					
	D	D <sub>1</sub>	a	a	b	c	d	e	f
0 ml/l	0,0842	0,0212	445,2999	0,0014085	0,001623	-0,005358	-0,0018	0,0892	-0,1156
5 ml/l	0,1411	0,0475	57,4915	0,0019836	0,003920	-0,006111	-0,0094	0,1333	-0,1469
10 ml/l	0,2334	0,0915	23,0406	0,0019863	0,007153	-0,001001	-0,0235	0,2079	-0,2034
15 ml/l	0,2333	0,0938	36,4012	0,0029754	0,007594	-0,005423	-0,0248	0,2135	-0,2362

## 9 lentelė

“Kawabata” aparatu lenkiant audinį metmenų kryptimi gautų 3 grupės duomenų aproksimuotos funkcijos koeficientai

Standiklio koncentracija	Koeficientai					
	a	b	c	d	e	f
0 ml/l	0,0492949	0,286002	0,613270	0,57671	0,3154	0,0677
5 ml/l	0,0534197	0,307416	0,657487	0,60651	0,3503	0,0895
10 ml/l	0,0544950	0,315672	0,694458	0,64495	0,4264	0,1281
15 ml/l	0,0835682	0,471737	0,994144	0,89922	0,5252	0,1162

## 10 lentelė

Ploto po banga eksperimento duomenų prognozavimo tikslumas ataudų kryptimi

y_0	y_0_prog	sant. Pakl	y_5	y_5_prog	sant. Pakl	y_10	y_10_prog	sant. Pakl	y_15	y_15_prog	sant. Pakl
288,16	274,91	0,0482	306,43	298,85	0,0254	468,92	477,14	0,0172	495,93	505,46	0,0189
361,35	382,26	0,0547	450,68	465,46	0,0318	684,82	670,21	0,0218	711,83	695,92	0,0229
390,09	418,87	0,0687	550,36	568,56	0,0320	818,50	795,44	0,0290	842,65	821,80	0,0254
414,12	420,14	0,0143	627,12	627,29	0,0003	874,85	875,79	0,0011	917,75	904,58	0,0146
409,62	404,26	0,0133	655,68	653,40	0,0035	912,23	921,10	0,0096	947,80	952,62	0,0051
398,91	381,04	0,0469	666,99	655,36	0,0177	921,17	937,53	0,0175	948,31	971,03	0,0234
381,28	355,76	0,0717	651,68	639,64	0,0188	914,68	929,95	0,0164	936,96	963,99	0,0280
365,07	331,22	0,1022	630,76	611,33	0,0318	889,28	902,67	0,0148	917,74	935,51	0,0190
321,87	308,82	0,0423	594,15	574,44	0,0343	850,75	859,73	0,0104	875,63	889,60	0,0157
285,10	289,21	0,0142	535,70	532,18	0,0066	804,26	804,92	0,0008	821,56	830,27	0,0105
244,41	272,60	0,1034	480,90	487,04	0,0126	750,73	741,75	0,0121	796,28	761,42	0,0458
221,90	259,02	0,1433	421,75	440,96	0,0436	683,40	673,45	0,0148	696,75	686,73	0,0146
245,62	248,39	0,0111	382,31	395,41	0,0331	617,18	602,85	0,0238	620,60	609,52	0,0182
257,46	240,61	0,0700	339,67	351,46	0,0335	546,31	532,38	0,0262	541,99	532,66	0,0175
243,32	235,62	0,0327	305,21	309,87	0,0150	458,70	464,01	0,0115	461,59	458,50	0,0067
237,41	233,38	0,0173	288,81	271,14	0,0652	387,91	399,30	0,0285	372,89	388,87	0,0411

## 11 lentelė

Ploto po banga eksperimento duomenų prognozavimo tikslumas metmenų kryptimi

y_0	y_0_prog	sant. Pakl	y_5	y_5_prog	sant. Pakl	y_10	y_10_prog	sant. Pakl	y_15	y_15_prog	sant. Pakl
276,64	276,46	0,0007	353,68	338,30	0,0455	546,36	549,74	0,0061	539,15	544,74	0,0103
411,37	417,22	0,0140	457,35	512,13	0,1070	717,60	720,36	0,0038	729,17	721,79	0,0102
533,16	531,73	0,0027	644,93	647,40	0,0038	854,22	834,04	0,0242	856,01	835,97	0,0240
641,32	625,84	0,0247	803,58	752,22	0,0683	924,31	911,02	0,0146	910,35	909,96	0,0004
715,82	699,57	0,0232	861,84	827,87	0,0410	954,33	958,30	0,0041	948,33	952,30	0,0042
747,37	752,02	0,0062	892,49	874,65	0,0204	968,57	979,66	0,0113	959,49	967,93	0,0087
761,83	782,61	0,0266	882,68	893,44	0,0120	962,42	978,08	0,0160	950,87	960,68	0,0102
763,27	791,60	0,0358	879,68	886,16	0,0073	944,76	956,45	0,0122	922,97	934,06	0,0119
764,46	780,23	0,0202	836,12	855,78	0,0230	906,05	917,81	0,0128	884,94	891,53	0,0074
758,24	750,68	0,0101	786,61	806,20	0,0243	863,80	865,39	0,0018	834,04	836,53	0,0030
704,41	705,90	0,0021	733,24	741,86	0,0116	803,36	802,46	0,0011	774,29	772,41	0,0024
652,85	649,37	0,0054	666,54	667,48	0,0014	737,20	732,31	0,0067	716,40	702,36	0,0200
586,04	584,80	0,0021	589,79	587,64	0,0037	672,15	658,02	0,0215	636,44	629,32	0,0113
522,54	515,85	0,0130	514,77	506,53	0,0163	594,23	582,41	0,0203	562,59	555,85	0,0121
447,99	445,89	0,0047	432,82	427,67	0,0120	510,14	507,94	0,0043	481,65	484,16	0,0052
361,22	377,80	0,0439	350,21	353,83	0,0102	421,02	436,61	0,0357	405,05	415,98	0,0263

## 12 lentelė

Ploto po banga eksperimento duomenų prognozavimo tikslumas įstriža kryptimi

y_0	y_0_prog	sant. Pakl	y_5	y_5_prog	sant. Pakl	y_10	y_10_prog	sant. Pakl	y_15	y_15_prog	sant. Pakl
333,48	338,56	0,0150	426,69	428,9881	0,0053	560,35	562,55	0,0039	488,73	486,95	0,0036
440,13	433,48	0,0154	605,14	603,3146	0,0030	733,78	726,23	0,0104	705,78	679,46	0,0387
522,31	509,46	0,0252	734,46	721,4944	0,0180	854,37	832,99	0,0257	831,05	804,97	0,0324
576,35	571,39	0,0087	800,26	801,615	0,0017	908,42	903,21	0,0058	905,88	886,26	0,0221
613,84	619,08	0,0085	861,88	850,733	0,0131	952,46	943,98	0,0090	947,42	932,83	0,0156
644,25	651,47	0,0111	863,23	873,1384	0,0114	955,56	959,24	0,0038	958,09	950,57	0,0079
653,60	667,78	0,0212	865,58	872,3658	0,0078	937,30	952,11	0,0155	940,41	944,10	0,0039
657,85	667,91	0,0151	835,07	851,8222	0,0197	922,54	925,62	0,0033	917,71	917,60	0,0001
639,62	652,57	0,0198	808,01	814,9606	0,0085	874,41	882,96	0,0097	887,24	875,01	0,0140
623,89	623,30	0,0009	766,68	765,2692	0,0018	828,70	827,45	0,0015	835,39	820,11	0,0186
587,99	582,32	0,0097	714,41	706,1855	0,0116	775,03	762,44	0,0165	776,26	756,43	0,0262
539,44	532,34	0,0133	650,25	640,9833	0,0145	702,88	691,21	0,0169	711,03	687,24	0,0346
489,67	476,35	0,0280	576,55	572,6628	0,0068	634,45	616,84	0,0286	634,99	615,46	0,0317
427,64	417,31	0,0248	511,83	503,8597	0,0158	551,38	542,06	0,0172	563,23	543,61	0,0361
363,48	357,99	0,0153	439,01	436,7815	0,0051	472,56	469,22	0,0071	486,43	473,75	0,0268
287,19	300,78	0,0452	365,43	373,1747	0,0208	392,43	400,18	0,0194	401,63	407,52	0,0145

## 13 lentelė

TH 7 aparatu gaunamų eksperimento duomenų prognozavimo tikslumas ataudų kryptimi, kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°

angle	CO 0 A	CO 0 apsk	S <sub>R</sub>	CO 5 A	CO 5 apsk	S <sub>R</sub>	CO 10 A	CO 10 apsk	S <sub>R</sub>	CO 15 A	CO 15 apsk	S <sub>R</sub>
5,0	2,00	2,02	0,0004	2,41	2,46	0,0026	4,21	4,52	0,0946	6,36	6,29	0,0053
10,0	2,58	2,61	0,0008	3,5	3,57	0,0053	5,7	5,40	0,0925	8,2	8,35	0,0212
20,0	3,45	3,31	0,0202	5,23	4,89	0,1126	7,39	7,00	0,1547	10,99	10,89	0,0110
30,0	3,62	3,67	0,0030	5,69	5,59	0,0097	8,13	8,38	0,0645	12,1	12,22	0,0156
40,0	4,03	3,98	0,0022	5,74	6,18	0,1941	9,29	9,60	0,0955	13,56	13,21	0,1238
45,0	3,98	4,17	0,0377	6,07	6,54	0,2217	10,17	10,17	0,0000	13,91	13,76	0,0240
50,0	4,32	4,41	0,0076	6,89	6,98	0,0075	10,54	10,74	0,0393	14,21	14,41	0,0382
51,0	4,37	4,46	0,0081	7,01	7,07	0,0041	10,64	10,85	0,0455	14,37	14,55	0,0326
52,0	4,47	4,51	0,0020	7,19	7,17	0,0003	10,74	10,97	0,0526	14,54	14,70	0,0261
53,0	4,58	4,57	0,0001	7,36	7,28	0,0067	10,9	11,09	0,0348	14,7	14,86	0,0249
54,0	4,63	4,63	0,0000	7,53	7,39	0,0210	11,14	11,20	0,0042	14,94	15,02	0,0064
55,0	4,75	4,69	0,0037	7,66	7,50	0,0270	11,3	11,32	0,0006	15,17	15,19	0,0003
56,0	4,75	4,75	0,0000	7,77	7,61	0,0259	11,6	11,45	0,0236	15,46	15,36	0,0098
57,0	4,83	4,82	0,0002	7,93	7,73	0,0417	11,83	11,57	0,0677	15,67	15,54	0,0167
58,0	4,93	4,88	0,0023	8,03	7,85	0,0341	11,96	11,70	0,0701	15,93	15,73	0,0417
59,0	4,97	4,95	0,0004	8,13	7,97	0,0263	11,99	11,82	0,0278	15,99	15,92	0,0054
60,0	4,97	5,02	0,0025	8,16	8,09	0,0045	12,04	11,95	0,0075	16,07	16,11	0,0019
65,0	5,55	5,39	0,0251	8,61	8,75	0,0201	12,86	12,65	0,0432	17,3	17,18	0,0153
70,0	5,75	5,79	0,0018	9,41	9,44	0,0010	13,83	13,45	0,1432	18,46	18,35	0,0111
75,0	6,23	6,20	0,0008	10,13	10,12	0,0001	14,71	14,39	0,1047	20,03	19,61	0,1782
80,0	6,55	6,60	0,0021	10,76	10,73	0,0007	15,29	15,49	0,0418	20,87	20,88	0,0001
81,0	6,57	6,67	0,0101	10,83	10,84	0,0001	15,41	15,74	0,1093	21,13	21,13	0,0000
82,0	6,57	6,74	0,0298	10,91	10,94	0,0012	15,59	16,00	0,1644	21,53	21,38	0,0235
83,0	6,65	6,81	0,0263	10,96	11,04	0,0065	15,71	16,26	0,3022	21,63	21,62	0,0001
84,0	6,72	6,88	0,0252	11,07	11,13	0,0036	15,96	16,53	0,3289	21,81	21,86	0,0025
85,0	6,77	6,94	0,0298	11,13	11,21	0,0066	16,63	16,82	0,0351	21,96	22,09	0,0181

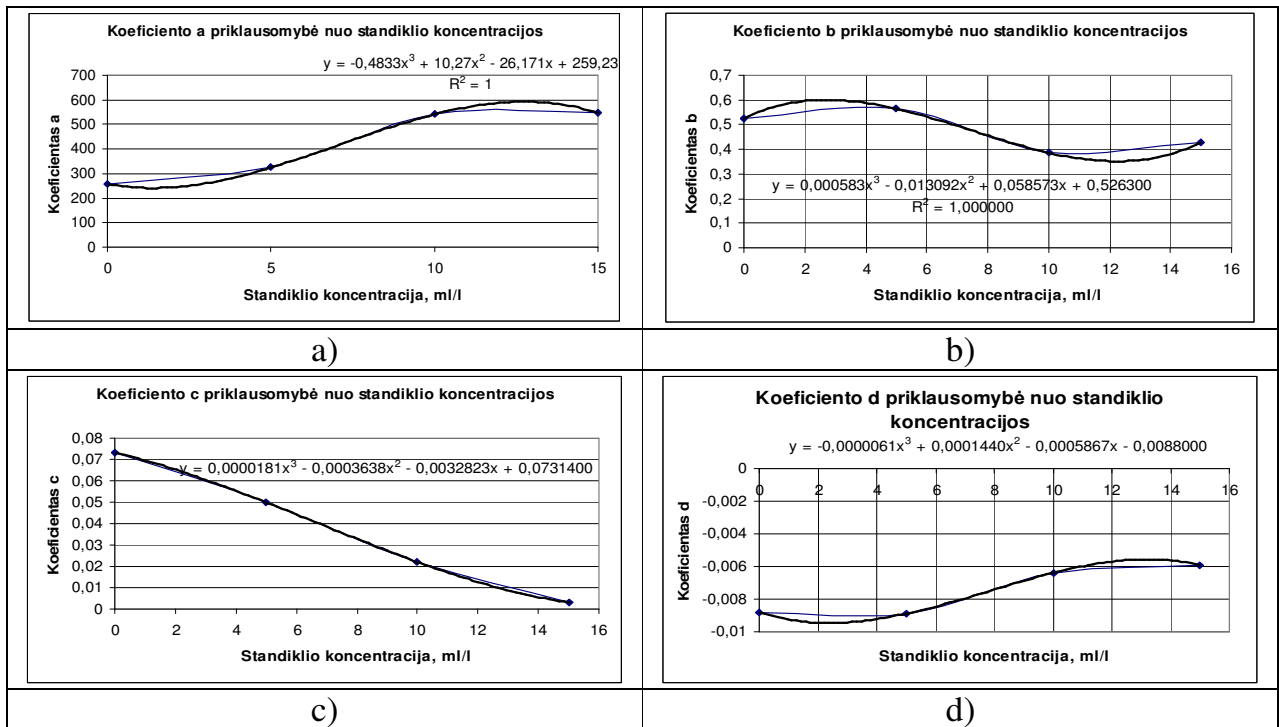
86,0	6,90	7,00	0,0106	11,23	11,28	0,0029	17,04	17,11	0,0051	22,4	22,32	0,0059
87,0	7,00	7,06	0,0035	11,36	11,35	0,0002	17,57	17,42	0,0236	22,53	22,55	0,0002
88,0	7,10	7,11	0,0001	11,54	11,40	0,0194	18,04	17,73	0,0945	23,06	22,76	0,0903
89,0	7,15	7,16	0,0001	11,59	11,44	0,0215	18,36	18,06	0,0899	23,29	22,97	0,1052
90,0	7,17	7,20	0,0011	11,66	11,47	0,0343	18,44	18,40	0,0016	23,3	23,16	0,0189
Suma:			<b>0,2574</b>			<b>0,8631</b>			<b>2,3632</b>			<b>0,8741</b>

## 14 lentelė

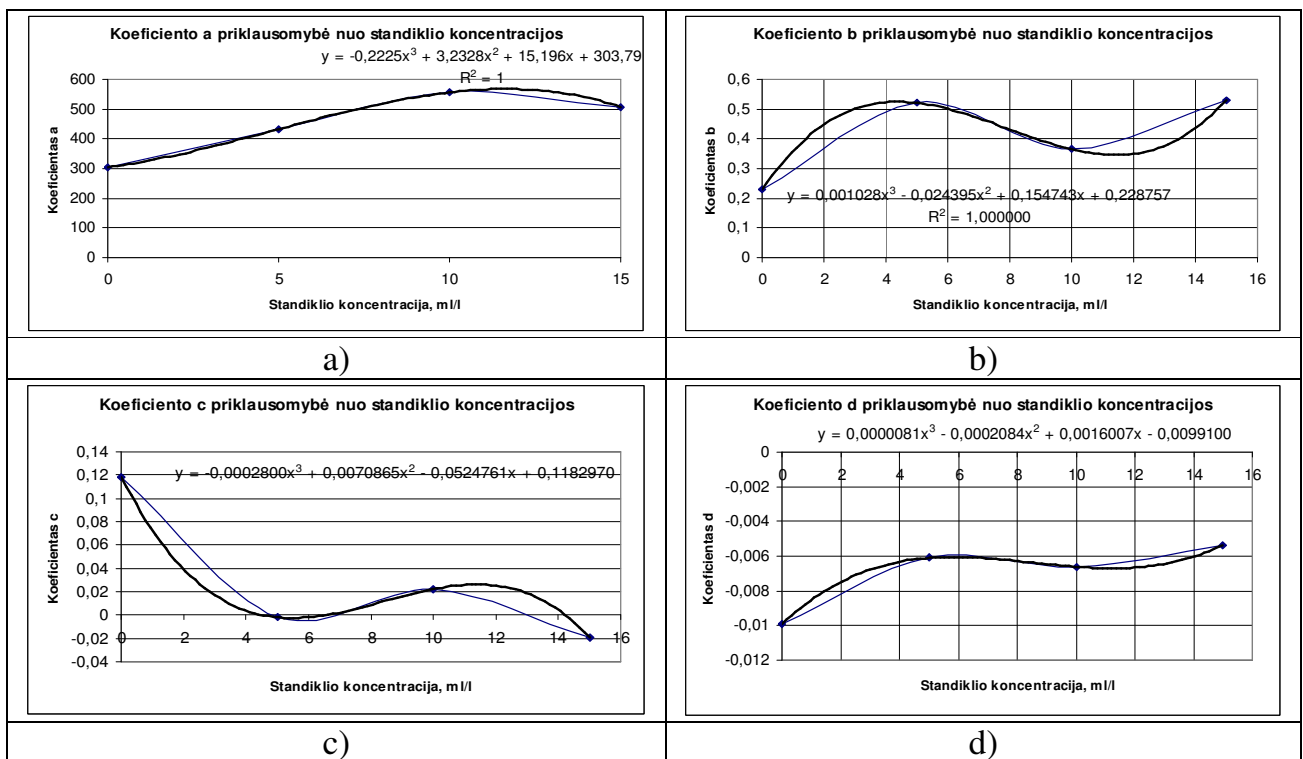
TH 7 aparatu gaunamų eksperimento duomenų prognozavimo tikslumas ataudų kryptimi, kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°

angle	CO 0 M	CO 0 apsk	S <sub>R</sub>	CO 5 A	CO 5 apsk	S <sub>R</sub>	CO 10 A	CO 10 apsk	S <sub>R</sub>	CO 15 A	CO 15 apsk	S <sub>R</sub>
85,0	5,12	5,31	0,0355	8,44	8,65	0,0458	12,27	12,5	0,0528	16,34	17,15074	0,6573
80,0	4,45	4,42	0,0008	7,41	7,27	0,0203	10,57	10,5	0,0100	14,41	14,3646	0,0021
75,0	3,83	3,65	0,0313	6,27	6,06	0,0426	9,07	8,7	0,1248	12,44	11,96361	0,2269
70,0	3,18	2,99	0,0378	5,2	5,02	0,0333	7,8	7,2	0,3577	10,4	9,895724	0,2543
65,0	2,62	2,40	0,0469	4,17	4,10	0,0043	6,21	5,9	0,1025	8,67	8,111846	0,3115
60,0	1,93	1,89	0,0014	3,31	3,30	0,0001	4,89	4,7	0,0206	6,74	6,565878	0,0303
55,0	1,37	1,44	0,0046	2,39	2,59	0,0403	3,51	3,7	0,0534	5,09	5,2147	0,0156
50,0	0,78	1,03	0,0612	1,49	1,95	0,2108	2,23	2,8	0,3768	3,44	4,018178	0,3343
40,0	0,15	0,30	0,0212	0,16	0,81	0,4183	0,57	1,3	0,4892	0,63	1,943474	1,7252
30,0	-0,22	-0,38	0,0266	-0,24	-0,25	0,0001	-0,2	-0,2	0,0012	-0,2	0,080349	0,0786
20,0	-0,62	-1,07	0,2044	-0,79	-1,32	0,2856	-0,89	-1,6	0,5218	-0,56	-1,78488	1,5003
10,0	-1,58	-1,82	0,0563	-2,37	-2,49	0,0152	-2,81	-3,2	0,1433	-3,31	-3,81818	0,2582
5,0	-2,08	-2,22	0,0198	-3,21	-3,13	0,0062	-3,96	-4,1	0,0084	-4,66	-4,93666	0,0765
0,0	-2,63	-2,65	0,0003	-4,03	-3,81	0,0479	-5,04	-5,0	0,0043	-6,11	-6,13776	0,0008
-5,0	-3,13	-3,10	0,0009	-4,8	-4,54	0,0696	-6,11	-6,0	0,0221	-7,51	-7,4288	0,0066
-10,0	-3,67	-3,58	0,0088	-5,64	-5,31	0,1103	-7,27	-7,0	0,0652	-8,96	-8,81412	0,0213
-20,0	-4,58	-4,60	0,0004	-7,23	-6,99	0,0577	-9,54	-9,3	0,0493	-11,97	-11,87	0,0100
-30,0	-5,63	-5,69	0,0041	-8,91	-8,84	0,0051	-11,96	-11,9	0,0106	-15,27	-15,2805	0,0001
-40,0	-6,68	-6,82	0,0207	-10,86	-10,81	0,0022	-14,56	-14,6	0,0001	-18,97	-18,9728	0,0000
-45,0	-7,25	-7,39	0,0184	-11,86	-11,83	0,0011	-15,89	-16,0	0,0050	-20,87	-20,8889	0,0004
-50,0	-7,82	-7,93	0,0130	-12,9	-12,85	0,0029	-17,26	-17,4	0,0091	-22,8	-22,8266	0,0007
-51,0	-7,95	-8,04	0,0083	-13,14	-13,05	0,0081	-17,61	-17,6	0,0005	-23,17	-23,2148	0,0020
-52,0	-8,08	-8,15	0,0046	-13,33	-13,25	0,0060	-17,84	-17,9	0,0049	-23,53	-23,6028	0,0053
-53,0	-8,18	-8,25	0,0053	-13,51	-13,46	0,0030	-18,19	-18,2	0,0000	-23,91	-23,9903	0,0065
-54,0	-8,28	-8,36	0,0059	-13,69	-13,66	0,0011	-18,49	-18,5	0,0008	-24,43	-24,3773	0,0028
-55,0	-8,43	-8,46	0,0009	-13,94	-13,86	0,0067	-18,69	-18,7	0,0021	-24,73	-24,7634	0,0011
-56,0	-8,48	-8,56	0,0067	-14,11	-14,06	0,0026	-18,94	-19,0	0,0046	-25,17	-25,1484	0,0005
-57,0	-8,63	-8,66	0,0010	-14,37	-14,26	0,0125	-19,31	-19,3	0,0010	-25,54	-25,5322	0,0001
-58,0	-8,72	-8,76	0,0016	-14,54	-14,46	0,0070	-19,54	-19,5	0,0001	-26,03	-25,9145	0,0133
-59,0	-8,87	-8,86	0,0002	-14,79	-14,65	0,0186	-19,86	-19,8	0,0020	-26,24	-26,2951	0,0030
-60,0	-8,87	-8,95	0,0069	-14,94	-14,85	0,0082	-20,09	-20,0804	0,0001	-26,4	-26,6737	0,0749
Suma:			<b>0,6557</b>			<b>1,4934</b>			<b>2,4443</b>			<b>5,6205</b>

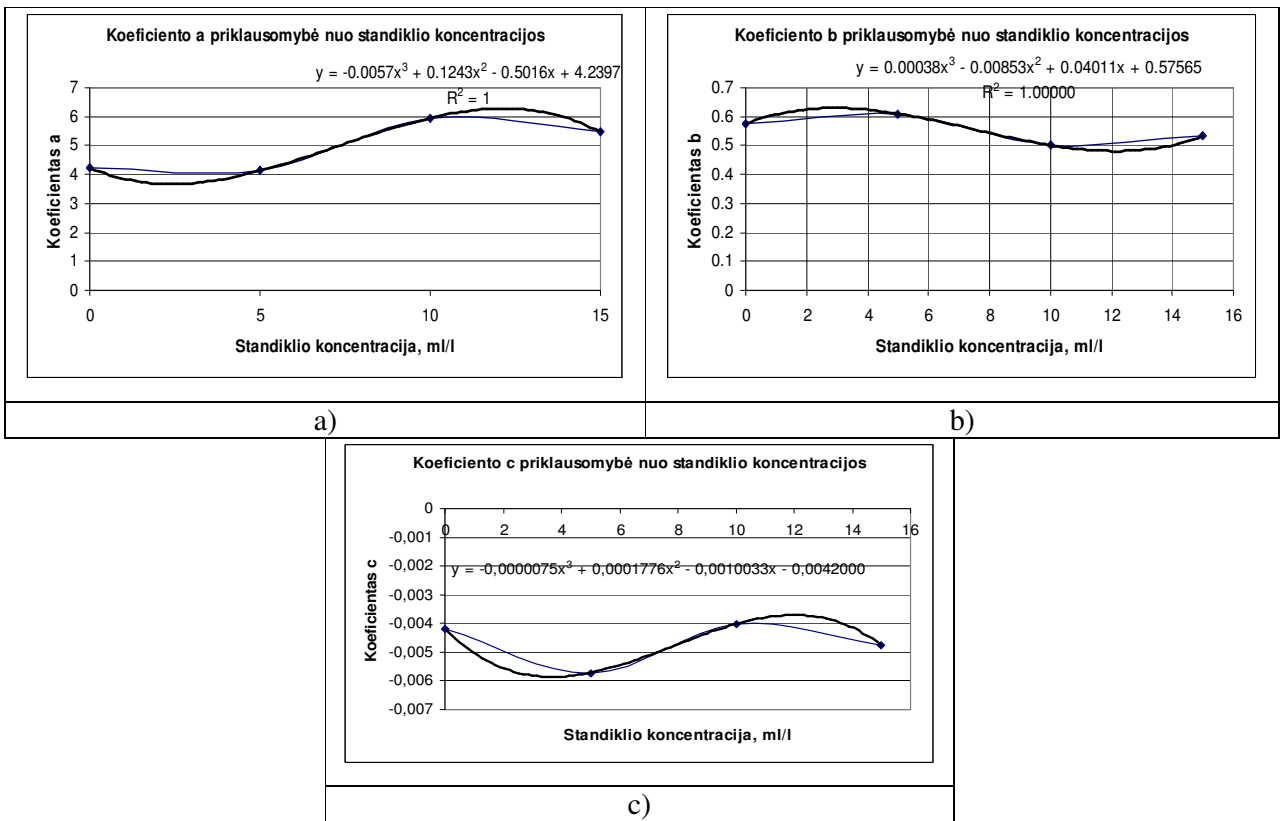
## 2 PRIEDAS. PRADINIŲ DUOMENŲ IR KOEFICIENTŲ KITIMŲ PAVEIKSLAI



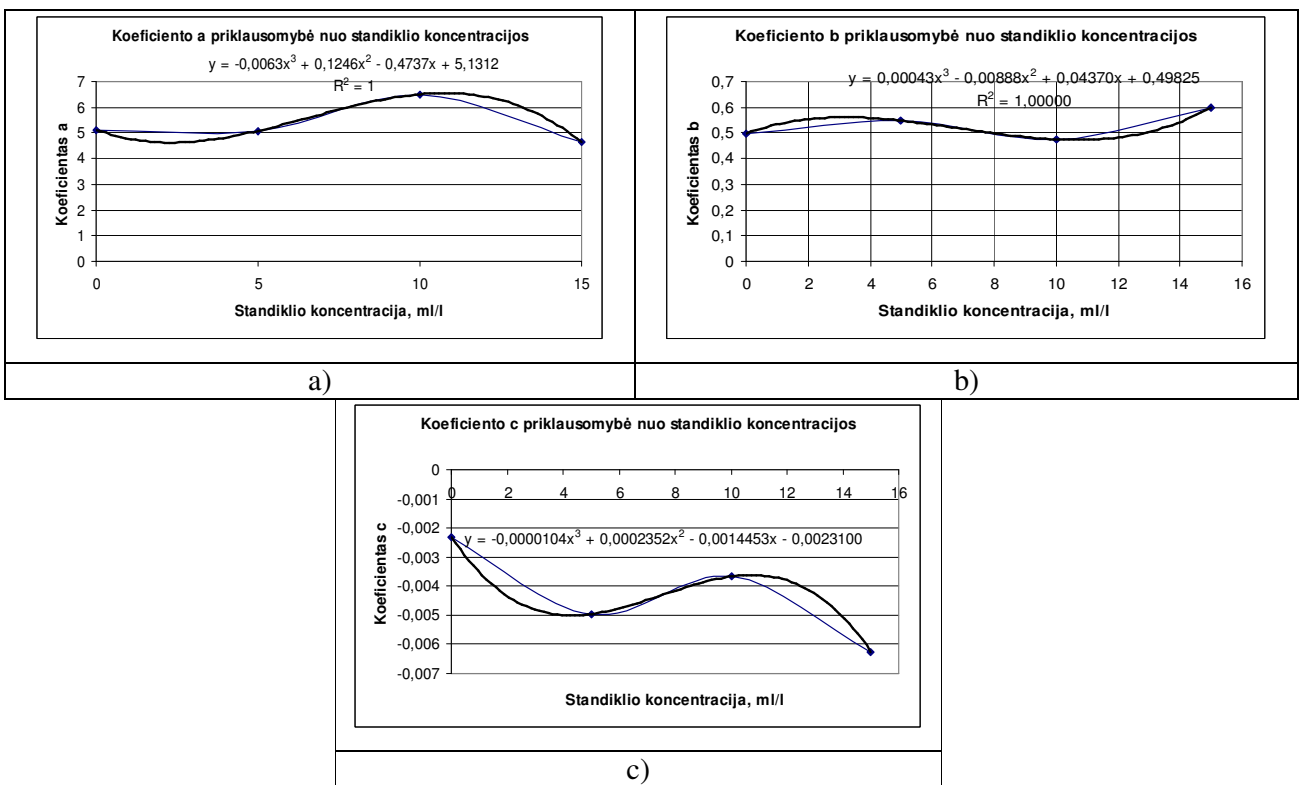
**1 pav.** Ploto po banga metmenų kryptimi aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d



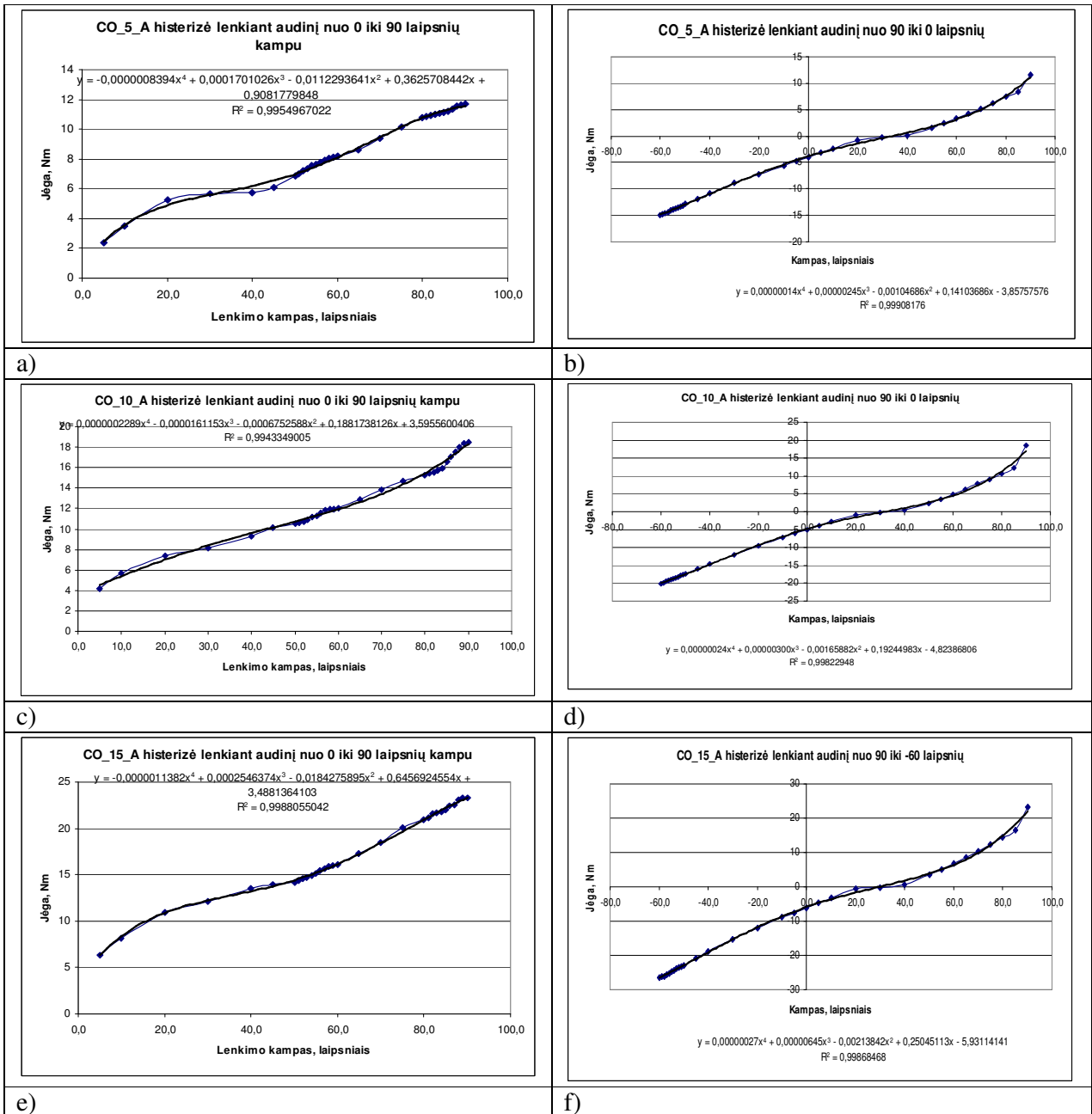
**2 pav.** Ploto po banga įstriža kryptimi aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d



**3 pav.** Bangos aukščio metmenų kryptimi aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c

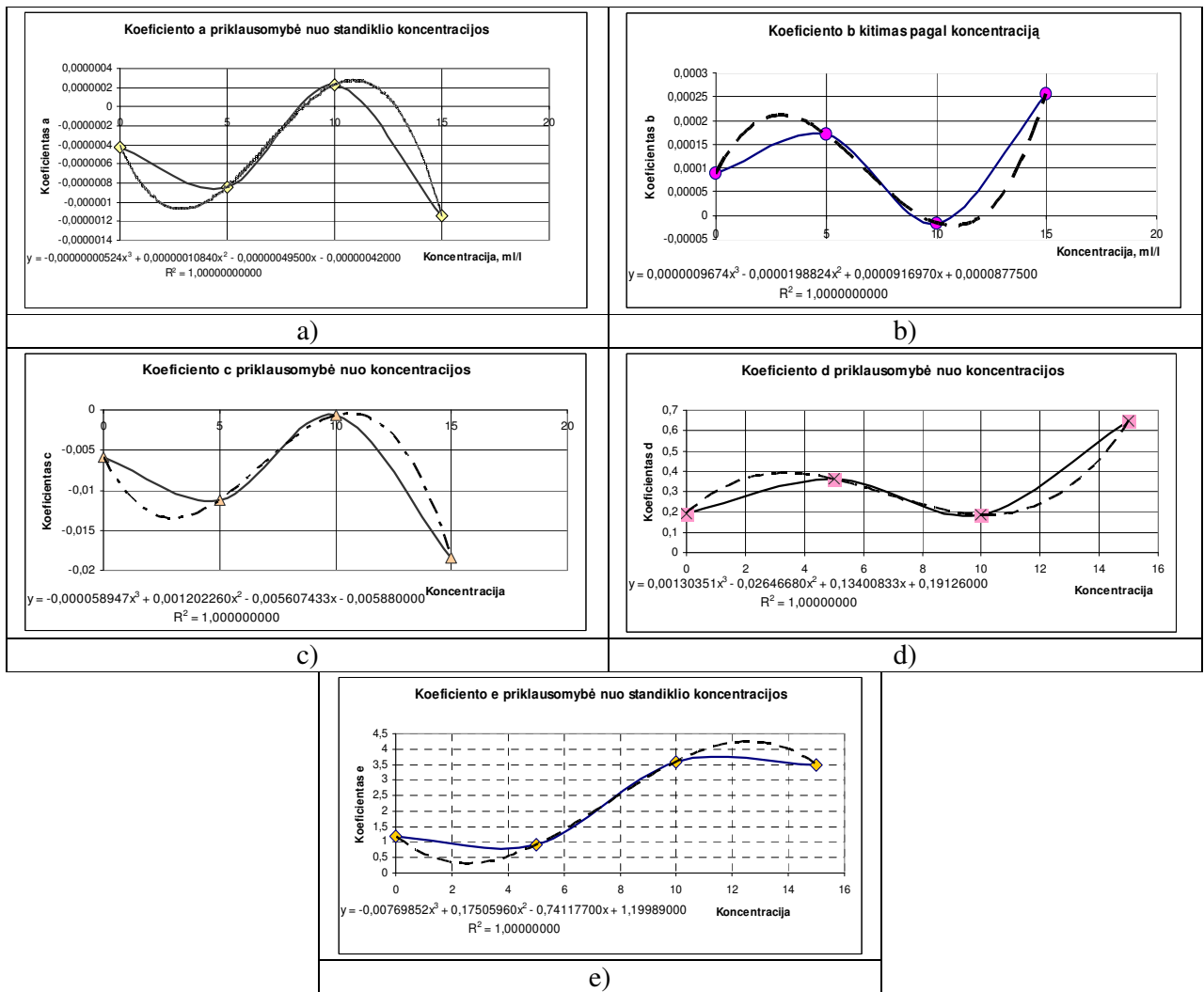


**4 pav.** Bangos aukščio įstriža kryptimi aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c

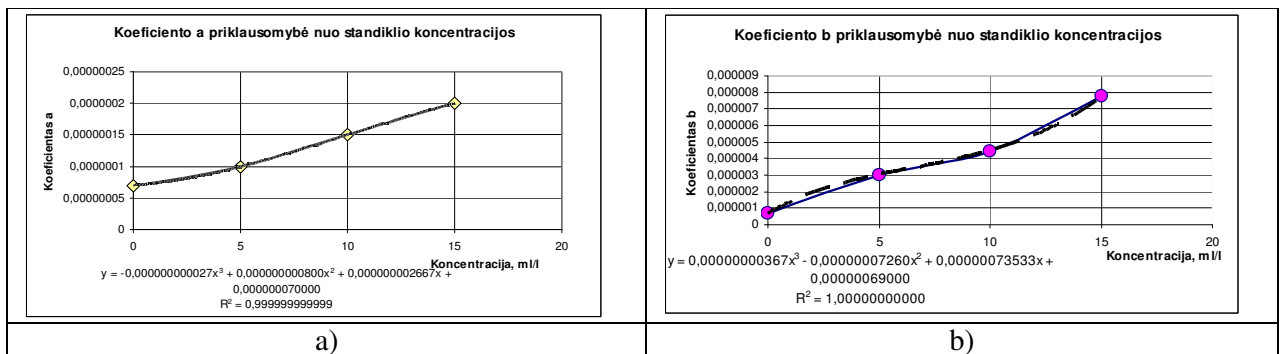


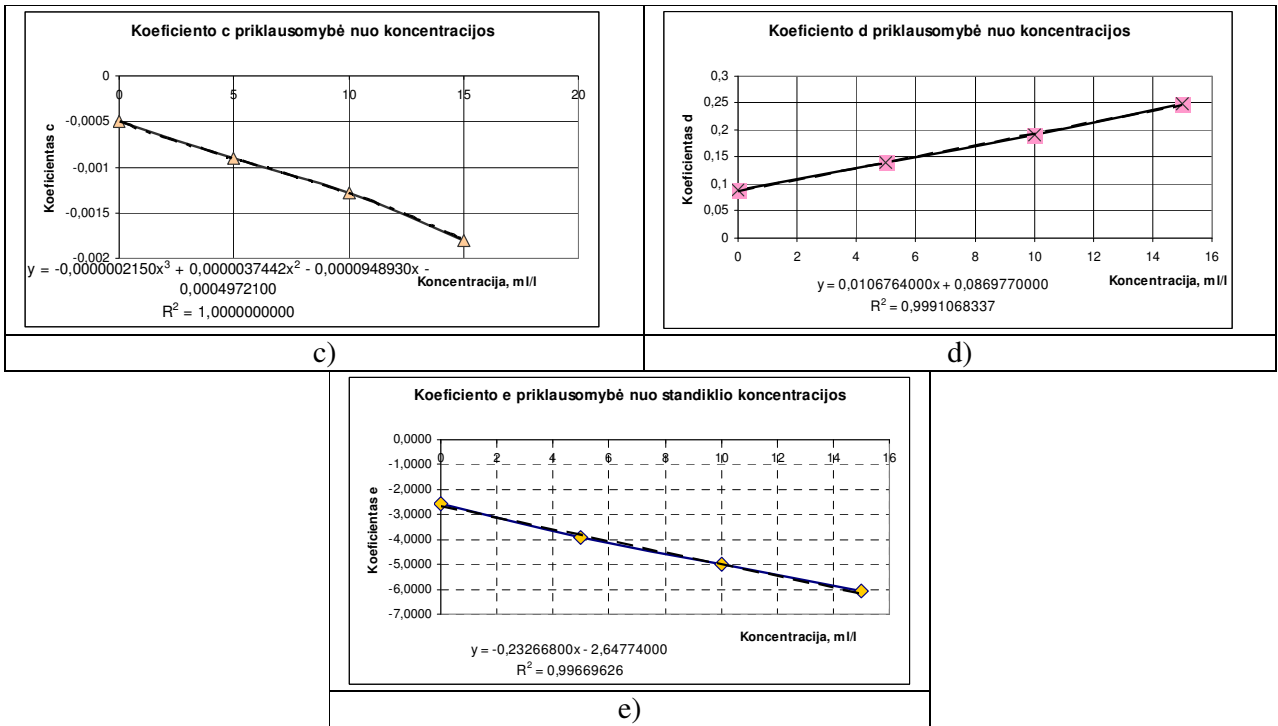
**5 pav.** TH 7 aparatu lenkiamos medvilnės ataudų kryptimi histerizės kilpos dalis a) kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°, o standiklio koncentracija 5 ml/l; b) kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°, o standiklio koncentracija 5 ml/l; c) kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°, o standiklio koncentracija 10 ml/l; d) kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°, o standiklio koncentracija 10 ml/l; e) kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°, o standiklio koncentracija 15 ml/l; f) kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°, o standiklio koncentracija 15 ml/l



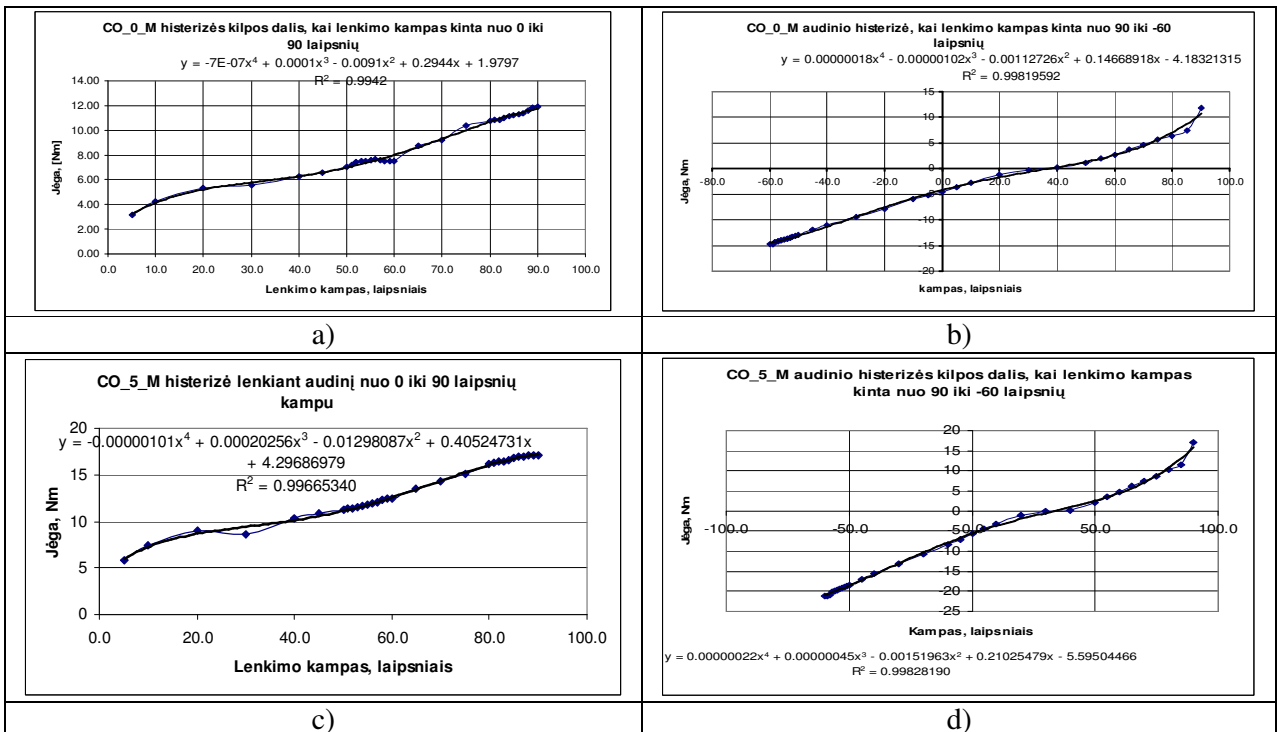


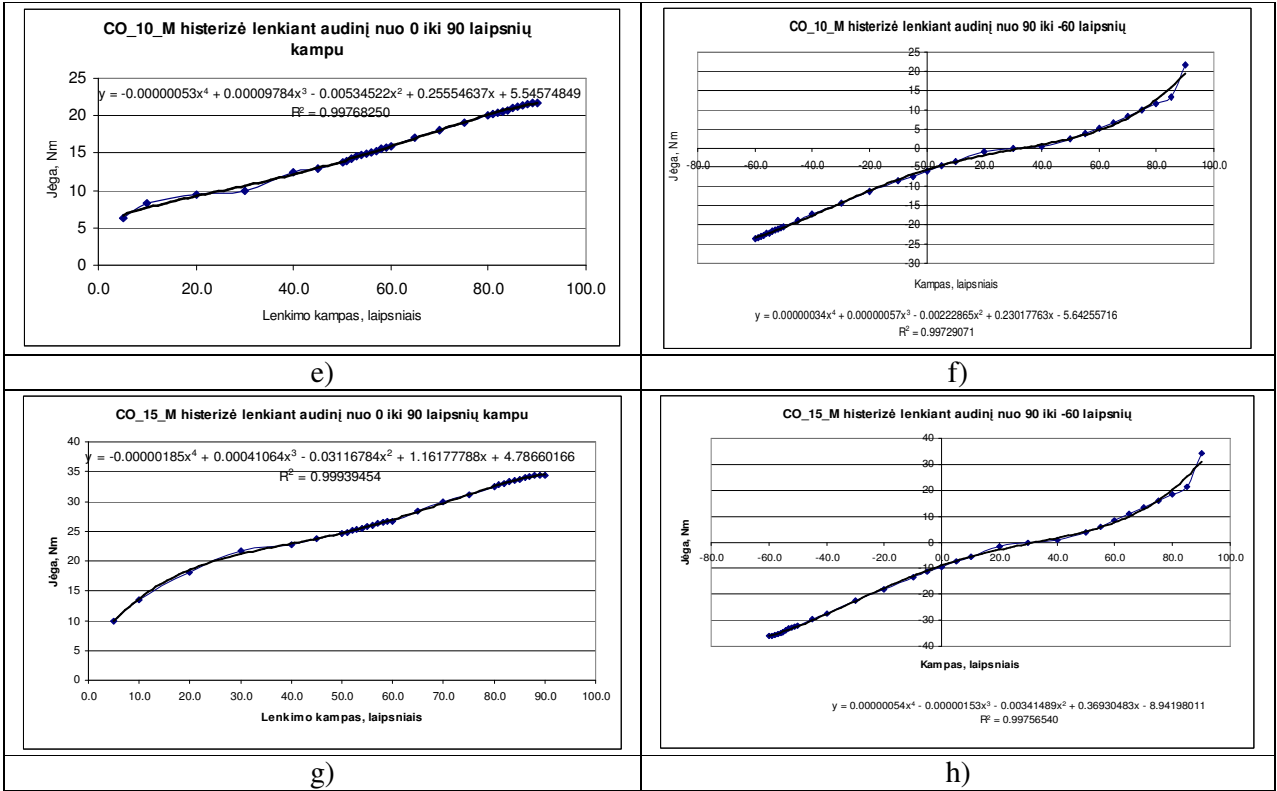
**6 pav.** TH 7 aparatu lenktos medvilnės ataudų kryptimi eksperimento duomenų aproksimuotų kreivių koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos, kai lenkimo kampas kinta nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$ : a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d; e) koeficiento e



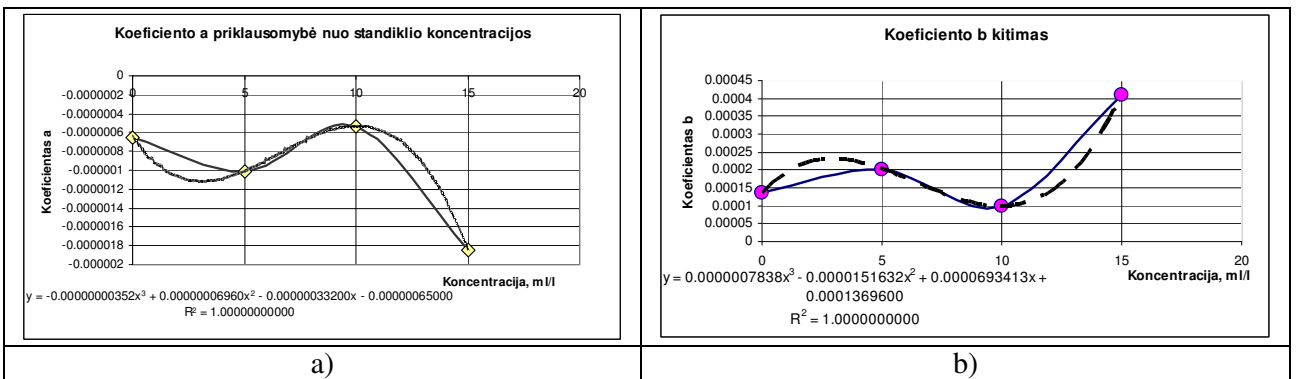


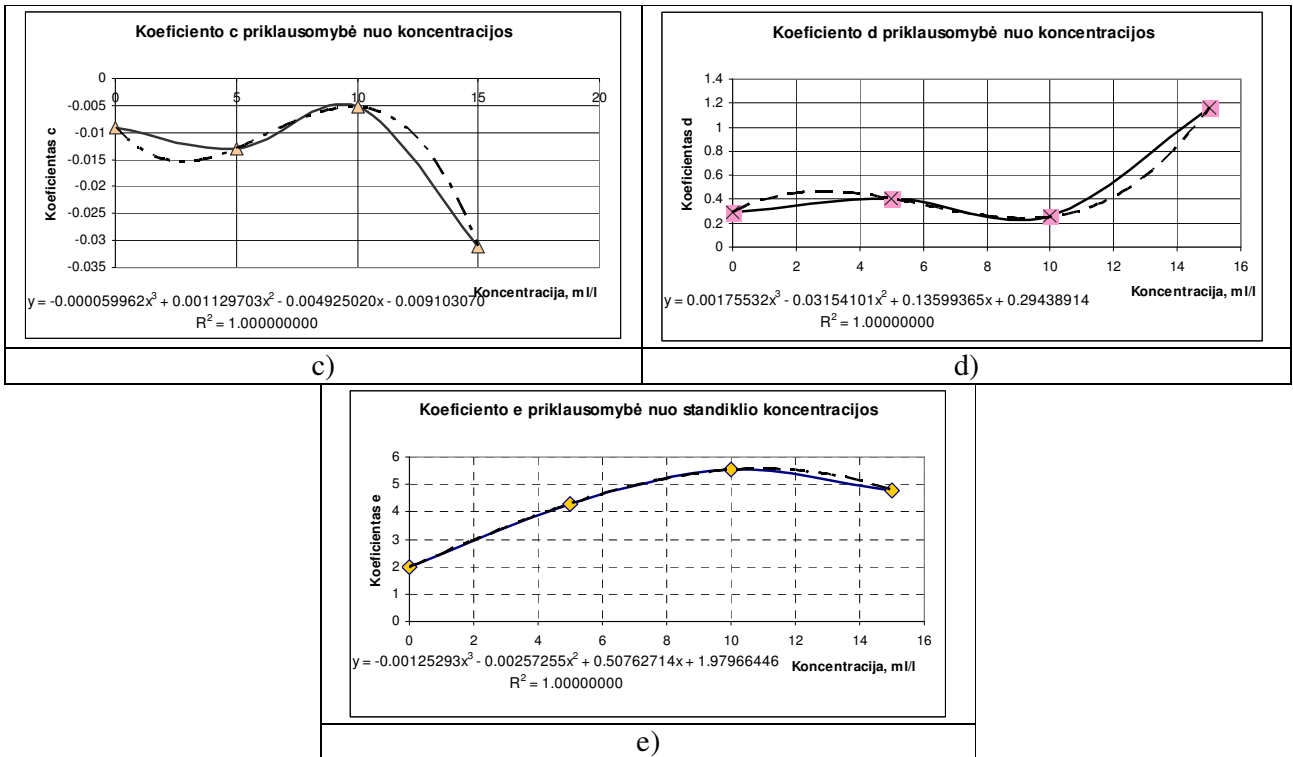
**7 pav.** TH 7 aparatu lenktos medvilnės ataudų kryptimi eksperimento duomenų aproksimuotų kreivių koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos, kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d; e) koeficiento e



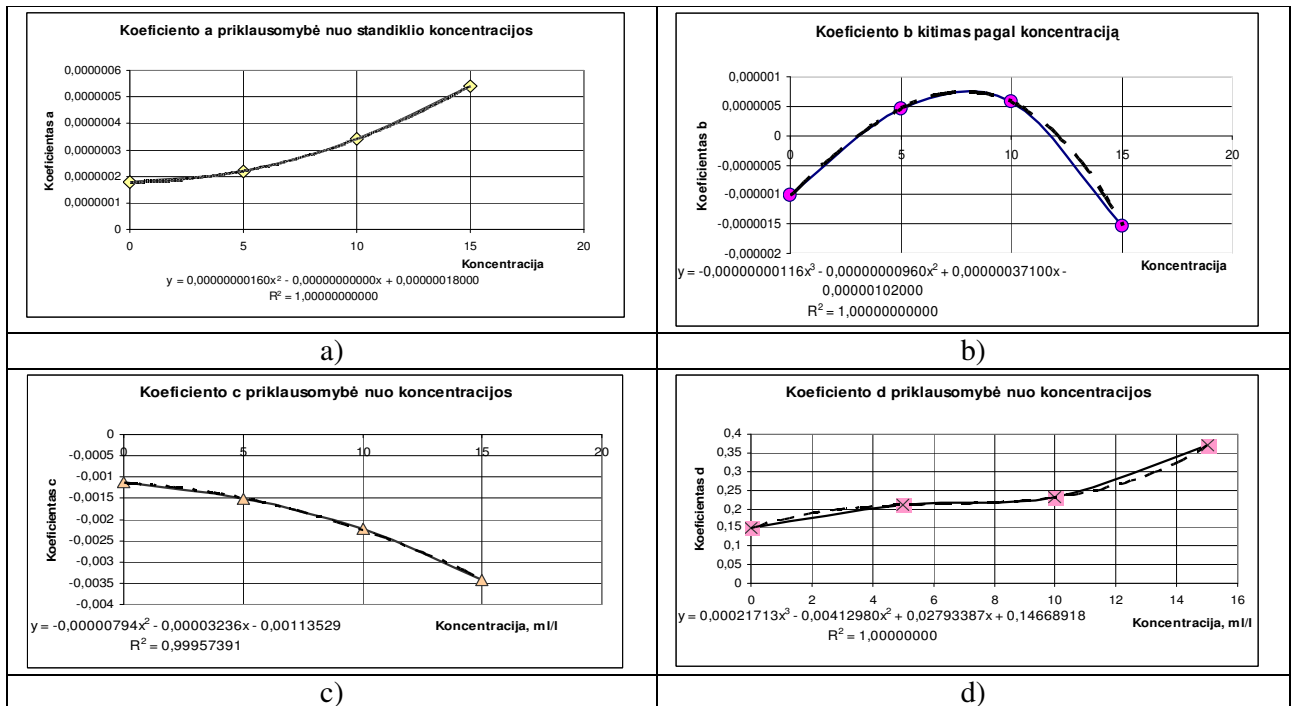


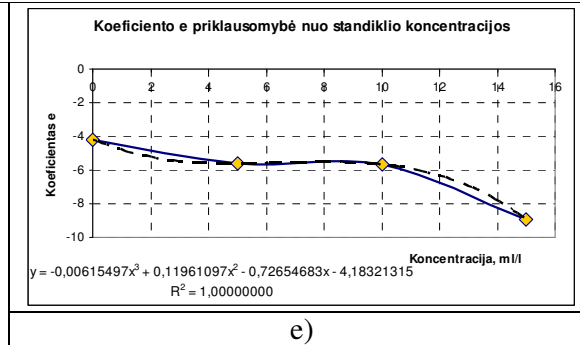
**8 pav.** TH 7 aparatu lenkiamos medvilnės metmenų kryptimi histerizės kilpos dalis a) kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°, o standiklio koncentracija 0 ml/l; b) kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°, o standiklio koncentracija 0 ml/l; c) kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°, o standiklio koncentracija 5 ml/l; d) kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°, o standiklio koncentracija 5 ml/l; e) kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°, o standiklio koncentracija 10 ml/l; f) kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°, o standiklio koncentracija 10 ml/l; g) kai lenkimo kampas kinta nuo 0° iki 90°, o standiklio koncentracija 15 ml/l; h) kai lenkimo kampas kinta nuo 90° iki -60°, o standiklio koncentracija 15 ml/l



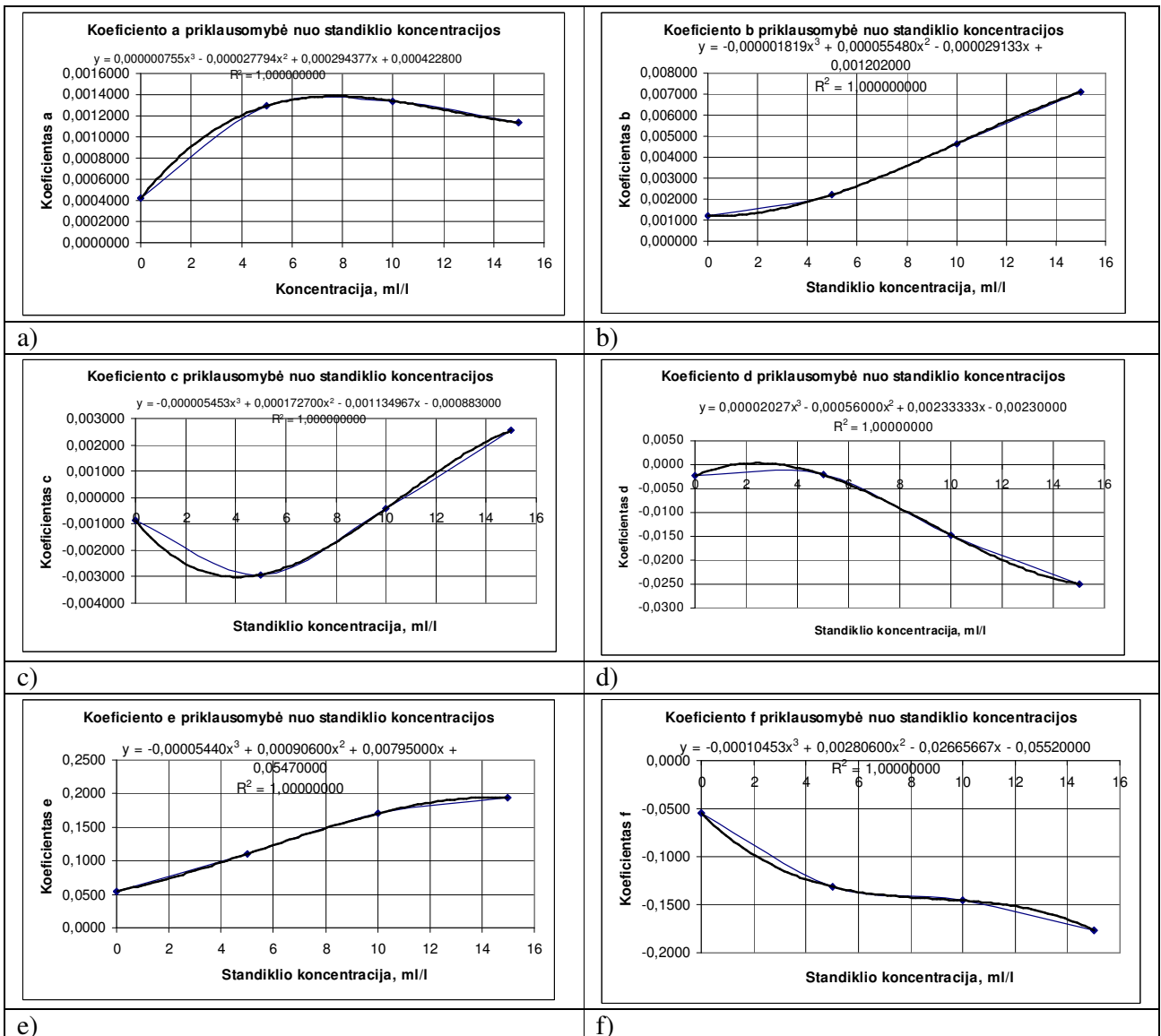


**9 pav.** TH 7 aparatu lenktos medvilnės metmenų kryptimi eksperimento duomenų aproksimuotų kreivių koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos, kai lenkimo kampas kinta nuo  $0^\circ$  iki  $90^\circ$ : a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d; e) koeficiento e



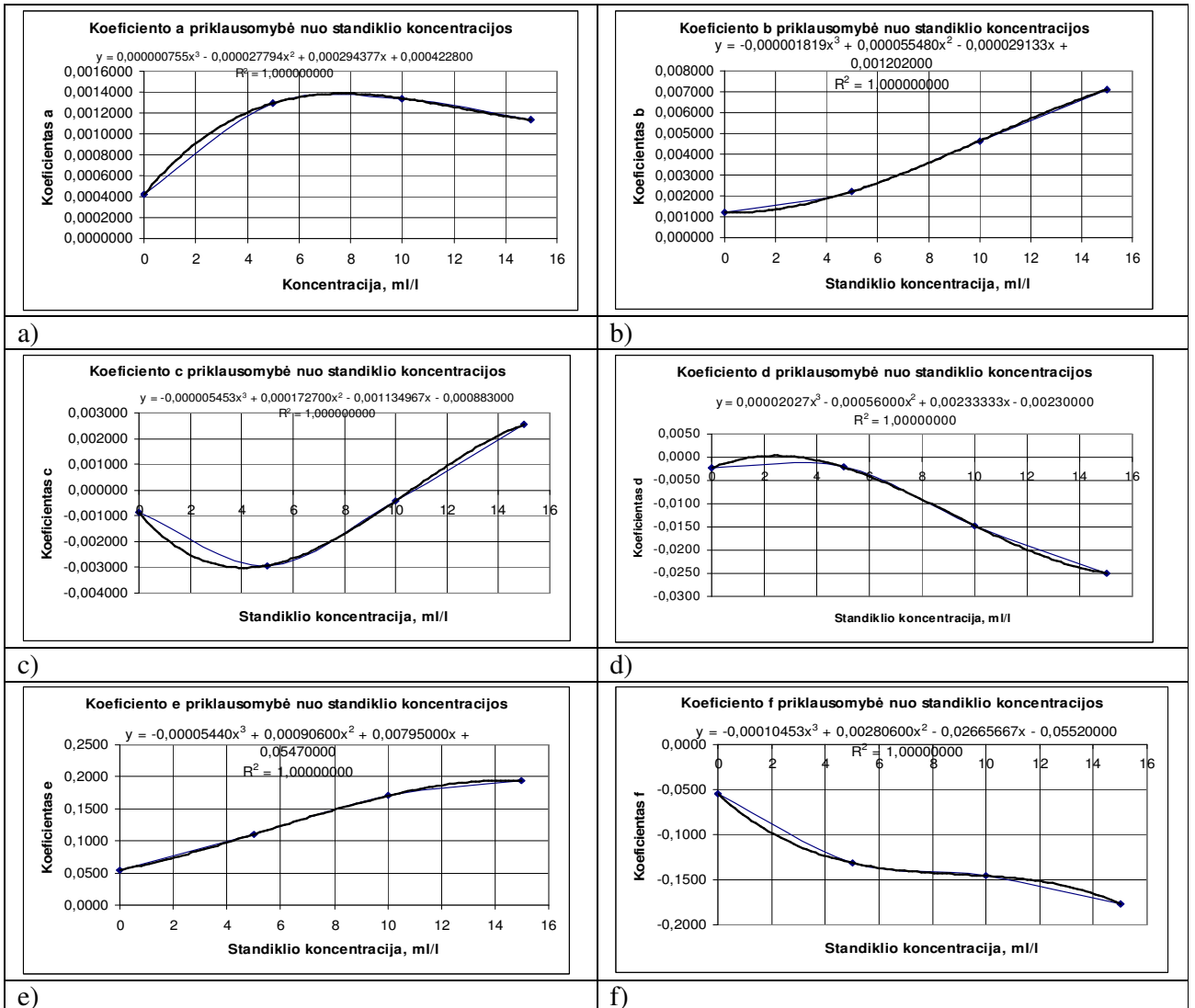


**10 pav.** TH 7 aparatu lenktos medvilnės metmenų kryptimi eksperimento duomenų aproksimuotų kreivių koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos, kai lenkimo kampas kinta nuo  $90^\circ$  iki  $-60^\circ$ : a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d; e) koeficiento e

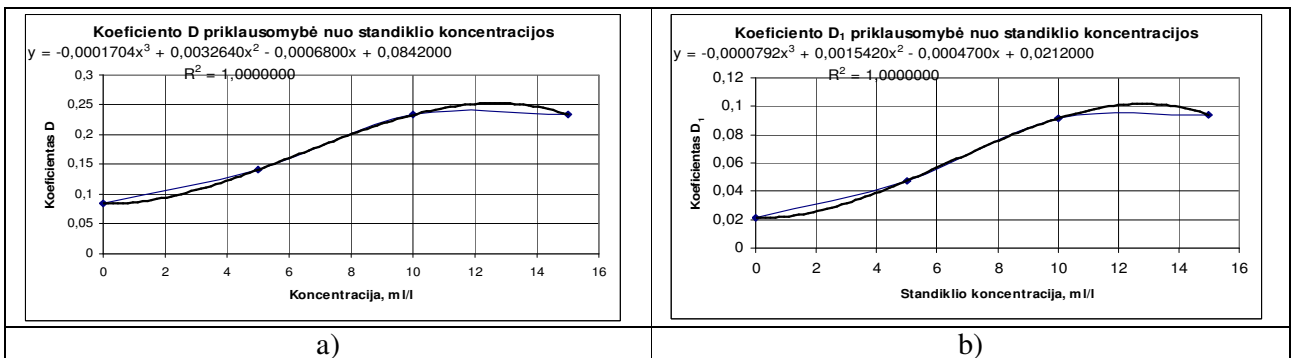


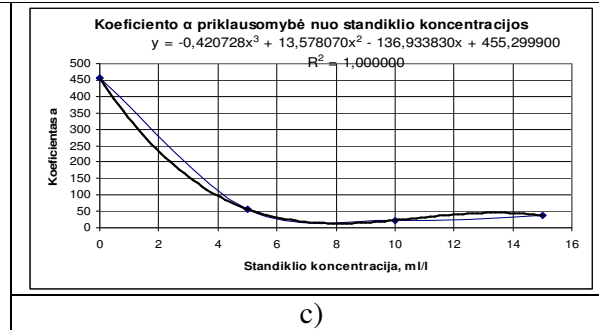
**11 pav.** “Kawabata” aparatu lenktos medvilnės ataudų kryptimi eksperimento duomenų aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos, kol kreivis iš maksimalaus

pasidaro minimalus neigiamas: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d; e) koeficiento e; f) koeficiento f

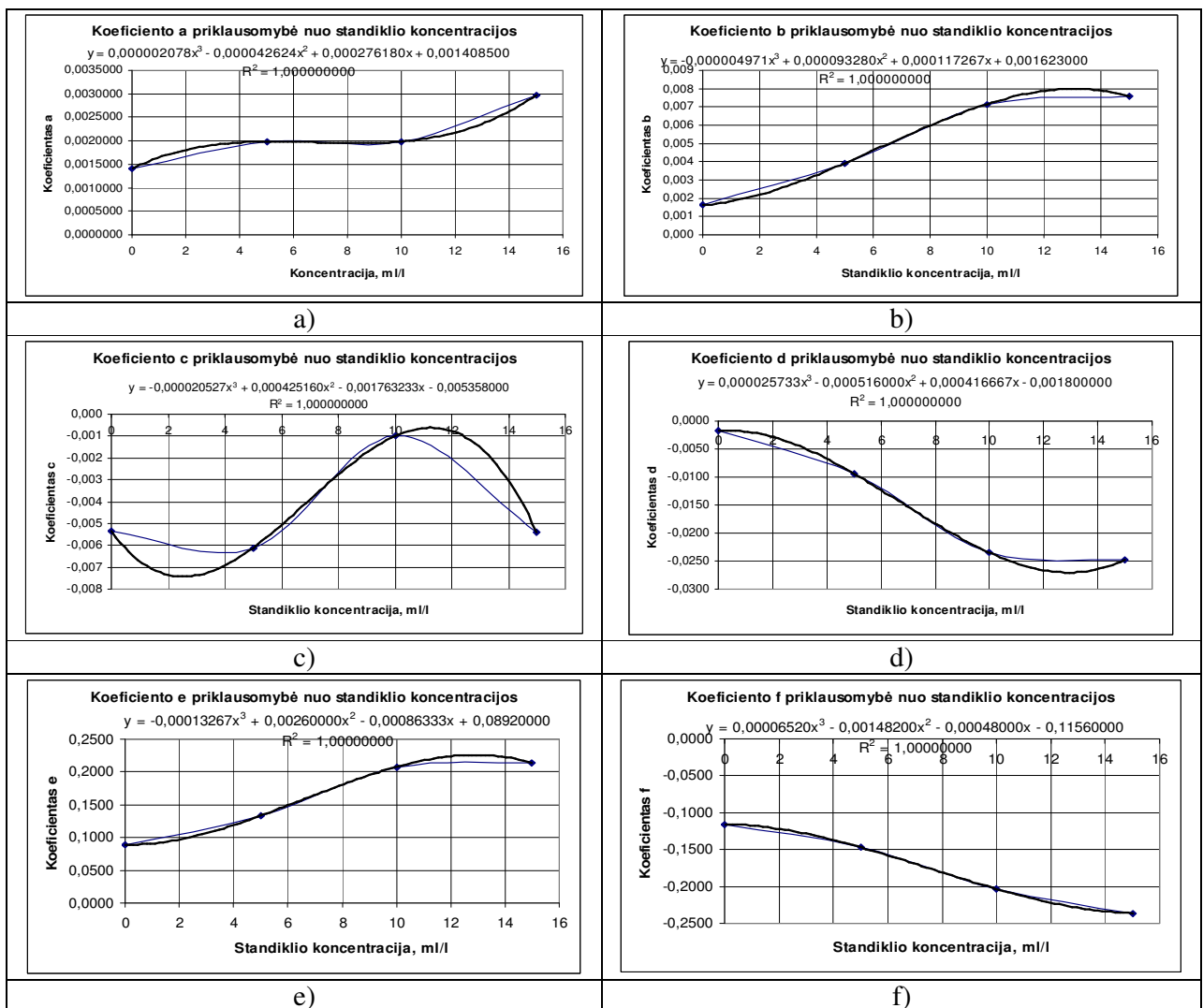


**12 pav.** “Kawabata” aparatu lenktos medvilnės ataudų kryptimi eksperimento duomenų aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos, kol kreivis iš minimalaus neigiamo pasidaro lygus 0: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d; e) koeficiento e; f) koeficiento f

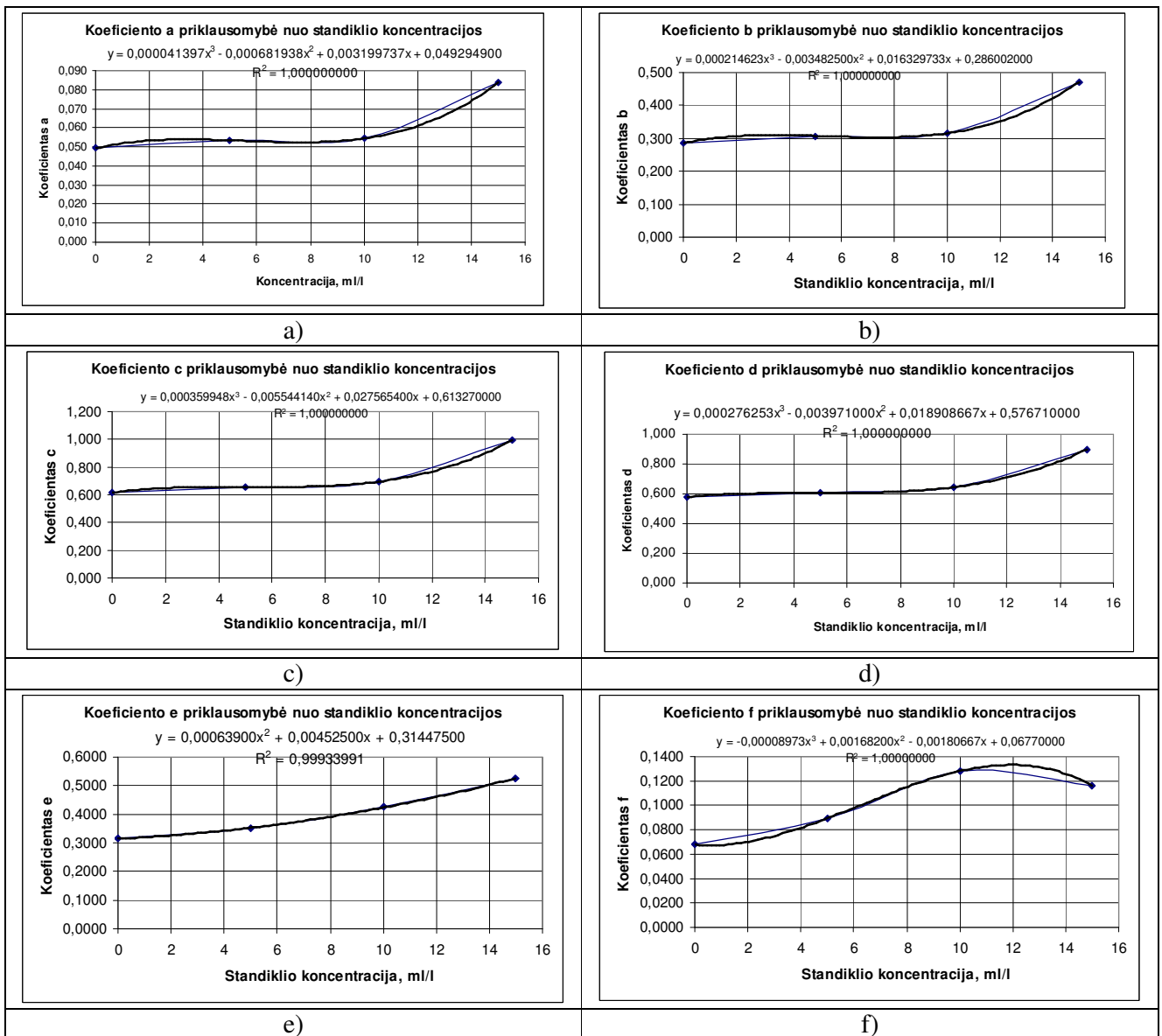




13 pav. “Kawabata” aparatu lenktos medvilnės metmenų kryptimi eksperimento duomenų aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo koncentracijos, kol kreivis pasidaro maksimalus: a)  $D$  priklausomybė nuo standiklio koncentracijos; b)  $D_I$  priklausomybė nuo standiklio koncentracijos; c)  $\alpha$  priklausomybė nuo standiklio koncentracijos



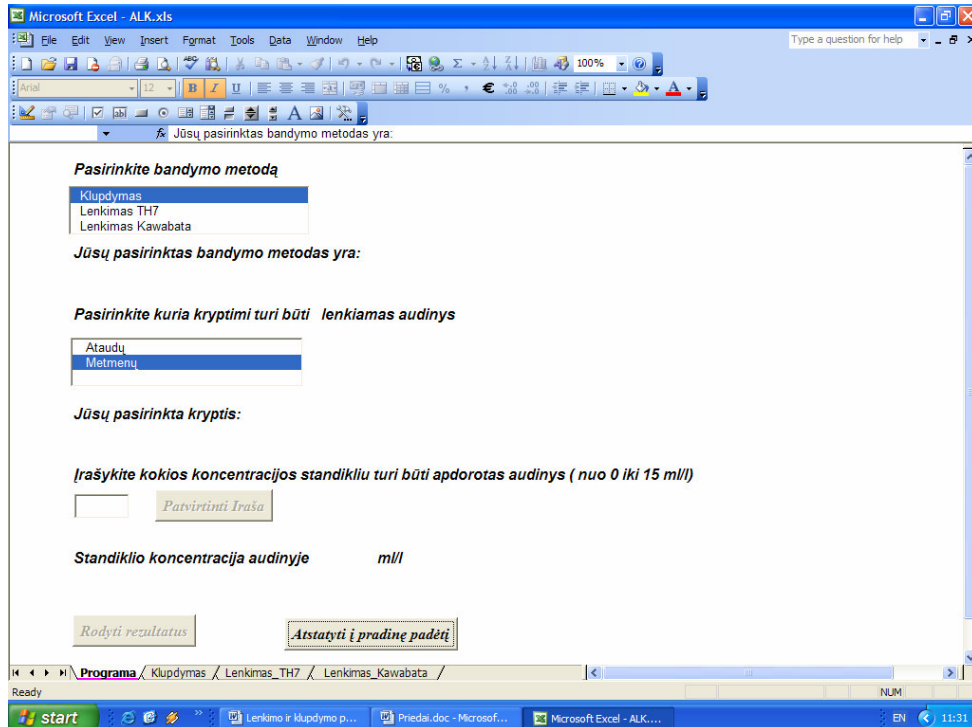
14 pav. “Kawabata” aparatu metmenų kryptimi lenktos medvilnės eksperimento duomenų aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos, kol kreivis iš maksimalaus pasidaro minimalus neigiamas: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d; e) koeficiento e; f) koeficiento f



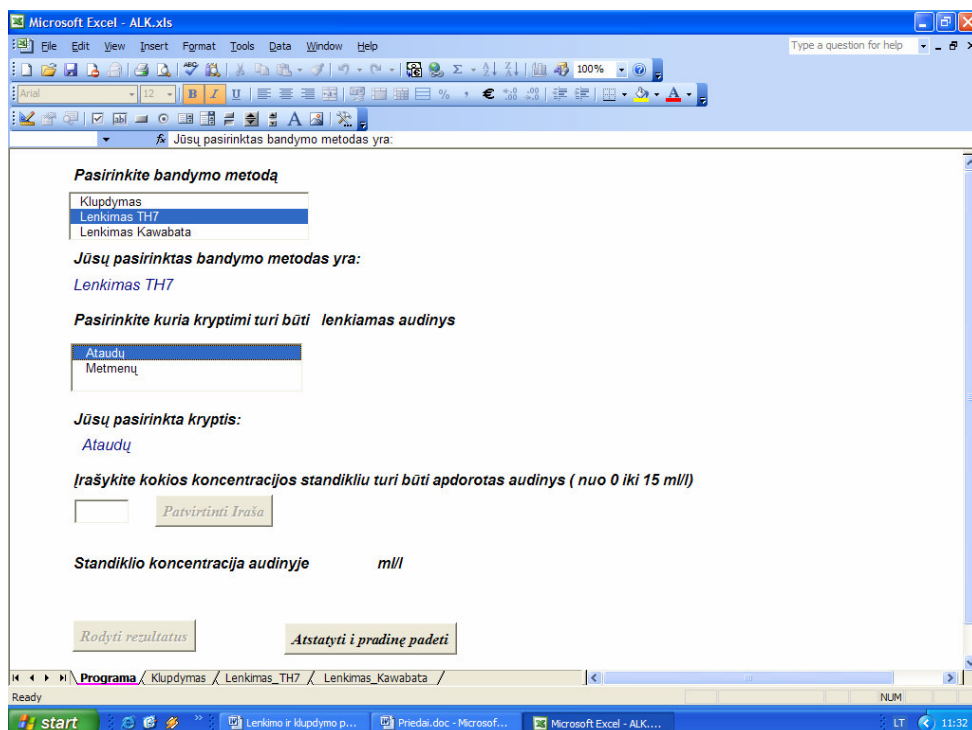
**15 pav.** “Kawabata” aparatu metmenų kryptimi lenktos medvilnės eksperimento duomenų aproksimuotos funkcijos koeficientų priklausomybės nuo standiklio tirpalo koncentracijos, kol kreivis iš minimalaus neigiamo pasidaro lygus 0: a) koeficiento a; b) koeficiento b; c) koeficiento c; d) koeficiento d; e) koeficiento e; f) koeficiento f



### 3 PRIEDAS. PROGRAMINĖ REALIZACIJA



1 pav. „ALK.xls“ pradinio pasijungimo langas



2 pav. „ALK.xls“ langas, kai pasirinktas bandymo metodas ir bandymo atlikimo kryptis

Microsoft Excel - ALK.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Type a question for help

100%

Jūsų pasirinktas bandymo metodas yra:

**Pasirinkite bandymo metodą**

- Klupdymas
- Lenkimas TH7
- Lenkimas Kawabata

Jūsų pasirinktas bandymo metodas yra:  
*Lenkimas TH7*

**Pasirinkite kuria kryptimi turi būti lenkiamas audinys**

- Ataudų
- Metmenų

Jūsų pasirinkta kryptis:  
*Ataudų*

**Įrašykite kokios koncentracijos standiklio turi būti apdorotas audinys ( nuo 0 iki 15 ml/l)**

Standiklio koncentracija audinyje *4* ml/l

Programa / Klupdymas / Lenkimas\_TH7 / Lenkimas\_Kawabata /

Ready

start | Lenkimo ir klupdymo p... | Priedai.doc - Microsof... | Microsoft Excel - ALK... | EN | 11:35

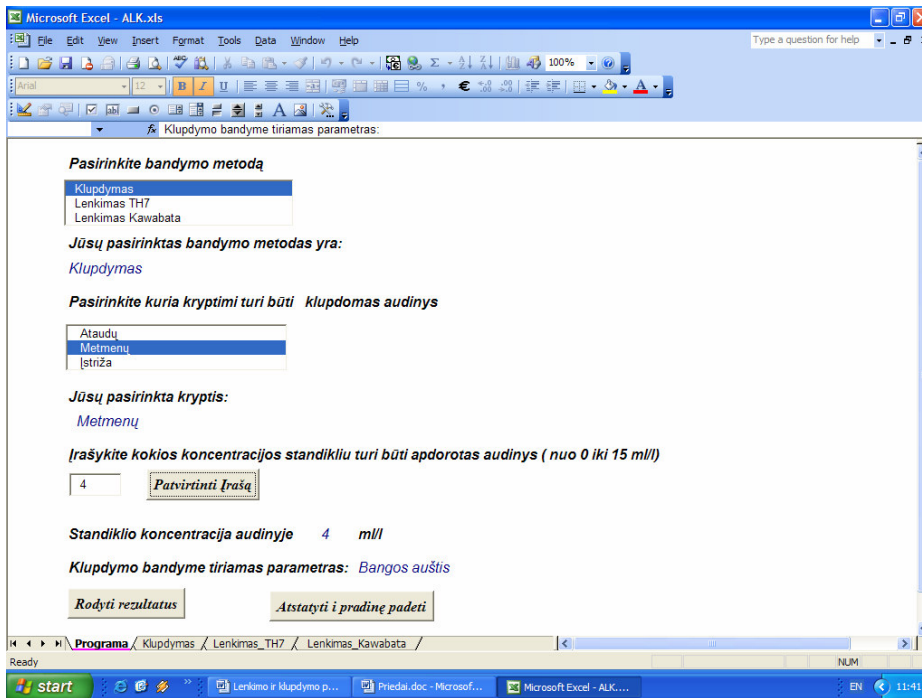
3 pav. „ALK.xls“ langas, kai įrašius standiklio tirpalo koncentraciją

Pasirinkite tiriamą parametą

*Bangos aukštis*

*Plotas po banga*

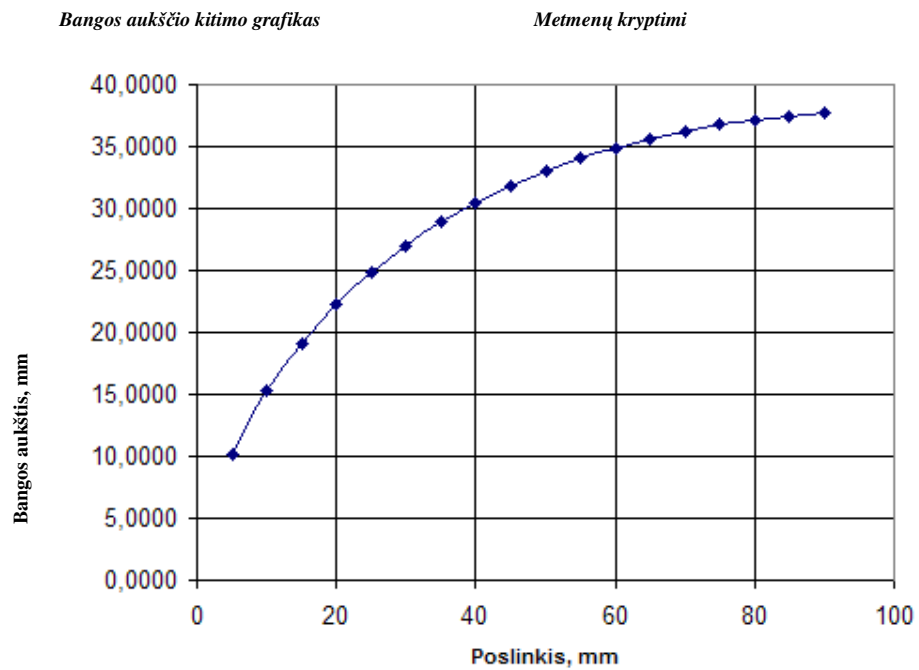
4 pav. Tiriamo parametro pasirinkimo užklausa



5 pav. „ALK.xls“ langas, kai pasirenkamas klūpdymo bandymas

Audinio klūpdymas *Metmenų* kryptimi  
 Tiriamas parametras *Bangos aukštis*  
 Standiklio koncentracija audinyje 4 ml/l

Poslinkis, mm	Bangos aukštis, mm
5	10,2245
10	15,3009
15	19,1362
20	22,2374
25	24,8216
30	27,0095
35	28,8782
40	30,4817
45	31,8596
50	33,0429
55	34,0558
60	34,9186
65	35,6480
70	36,2581
75	36,7612
80	37,1678
85	37,4873
90	37,7279



6 pav. Programos vykdymo rezultatas

## 4 PRIEDAS. PROGRAMOS TEKSTAS

### Komandų programavimas

```
Private Sub ListBox1_Click()
    ListBox2.Enabled = True
    Range("B19") = " "
End Sub

Private Sub TextBox1_Change()
    CommandButton1.Enabled = True
End Sub

Private Sub CommandButton1_Click()
    Dim X As String
    X = TextBox1.Text
    Range("E26") = X
    CommandButton2.Enabled = True
    If Range("B9") = "Kludymas" Then
        UserForm1.Show
        Range("B28") = "Kludymo bandyme tiriamas parametras: "
    Else
        Range("B28") = " "
    End If
End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
    If Range("B9") = "Kludymas" Then
        Worksheets("Kludymas").Activate
    Else
        If Range("B9") = "Lenkimas TH7" Then
            Worksheets("Lenkimas_TH7").Activate
        Else
            Worksheets("Lenkimas_Kawabata").Activate
        End If
    End If
End Sub
```

```
End If
  CommandButton1.Enabled = False
End Sub

Private Sub CommandButton3_Click()
  CommandButton2.Enabled = False
  CommandButton1.Enabled = False
  Range("B9") = " "
  Range("B19") = " "
  Range("B28") = " "
  Range("E26") = " "
  Range("F28") = " "
  TextBox1.Text = " "
End Sub
```

### **Tiriamio parametro pasirinkimo užklauskos programa**

```
Private Sub CommandButton1_Click()
  If OptionButton1 Then
    Range("F28") = "Bangos auštis"
  Else
    If OptionButton2 Then
      Range("F28") = "Plotas po banga"
    End If
  End If
  UserForm1.Hide
End Sub
```