



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Faktorinių eksperimentų imitatoriaus statistinis tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Edvinas Šufinskas**

Projekto autorius

**Doc. dr. Tomas Tekorius**

Vadovas

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

## **Faktorinių eksperimentų imitatoriaus statistinis tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Valdymo technologijos (6211EX014)

---

**Edvinas Šufinskas**

Projekto autorius

**Doc. dr. Tomas Tekorius**

Vadovas

**Prof. dr. Renaldas Urniežius**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Edvinas Šufinskas

## **Eksperimentų imitatoriaus statistinis tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Edvinas Šufinskas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Edvinas Šufinskas. Faktorinių eksperimentų imitatoriaus statistinis tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Doc. dr. Tomas Tekorius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: reakcijos paviršių metodas, polinominis modelis, faktoriai eksperimentai.

Kaunas, 2022. 44 p.

### **Santrauka**

Modeliuojama reakcijos paviršiaus metodika pagrįsta proceso optimizavimo procedūra, apimanti faktorių eksperimentų planavimą, statistinio modelio identifikavimą ir optimalaus reakcijos taško įvertinimą, siekiant iširti eksperimentinių paklaidų ir eksperimentinio projektavimo srities įtaką optimizavimo tikslumui. Taikant reakcijos paviršiaus metodiką tiriami optimizavimo rezultatai įvertintoms eksperimentinėms paklaidoms ir įvairiems faktorių variacijų diapazonams faktoriuose eksperimentuose, bei nustatomi optimalių taškų įverčių pasikliautinieji intervalai ir jų tikslumas.

Šufinskas, Edvinas. Statistical Investigation of Factorial Experiments Simulator. Master's Final Degree Project/ supervisor assoc. prof. dr. Tomas Tekorius; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: response surface methodology, polynomial model, factorial experiments.

Kaunas, 2022. 44 pages.

### **Summary**

A process optimization procedure based on the response surface methodology is modeled, which includes the planning of factor experiments, the identification of a statistical model, and the evaluation of the optimal response point to investigate the influence of experimental errors and experimental design on optimization accuracy. Using the reaction surface methodology, the optimization results for the estimated experimental errors and various ranges of factor variations in the factor experiments are investigated, and the confidence intervals of the optimal point estimates and their accuracy are determined.

## Turinys

Lentelių sąrašas .....	7
Paveikslų sąrašas .....	8
Santrumpų ir terminų sąrašas .....	9
Įvadas.....	10
<b>1. Kas yra reakcijos paviršiaus metodika .....</b>	<b>11</b>
1.1. Kodėl dažnai yra daromos klaidos naudojant RSM metodą .....	11
1.2. RSM metodo naudojimas biodyzelino gamybos optimizavimui.....	11
1.2.1. Reakcijos paviršiaus modelių į pašalinius faktorius analizė .....	12
1.2.2. Grafinis atvaizdavimas .....	12
1.2.3. Duomenys iš centrinio kompozicinio plano ir Box-Behnken plano taškų .....	13
1.2.4. Box-Behnken plano tyrimas .....	16
1.2.5. Tarpinės išvados .....	16
1.3. RSM optimizuojant išplovimo parametrus pelenų mažinimui iš žemos kokybės anglies .....	17
1.3.1. Daugialypis eksperimento planas .....	17
1.3.2. Modelio pritaikymas ir statistinė analizė.....	19
1.3.3. HF rūgštimi apdorotų anglių išplovimo mechanizmas.....	19
1.3.4. Modelio kūrimas.....	20
1.3.5. Tarpinės išvados .....	22
1.4. Reakcijos paviršiaus metodikos parametrų įvertinimas atsižvelgiant į nepriklausomų kintamųjų paklaidas.....	22
1.4.1. Kintamųjų paklaidų modeliai .....	22
1.4.2. Taikymo pavyzdys.....	23
1.4.3. Tarpinės išvados .....	25
<b>2. Eksperimentų imitatoriaus statistinis tyrimas.....</b>	<b>26</b>
2.1. Tyrimo variantų generavimas .....	26
2.2. Eksperimentinio tyrimo vidutinių reikšmių ir modeliavimo rezultatų skaičiavimas .....	26
2.3. Eksperimentinių tyrimų ir reakcijos paviršių ekstremumo koordinačių nustatymas .....	29
2.4. Ekstremumo taško koordinačių pasikliautinųjų intervalų ir tikslumo nustatymo tyrimas .....	32
2.5. Tyrimo rezultatai .....	34
<b>3. Tyrimų imitatoriaus vartotojo sąsaja.....</b>	<b>36</b>
3.1. Atlikta programavimo dalis.....	36
3.1.1. Technologinių procesų eksperimentinių tyrimų imitatorius.....	36
3.1.2. Programinis kodas .....	36
3.2. Rezultatai.....	40
<b>Išvados .....</b>	<b>41</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>42</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>45</b>
1 priedas. MATLAB eksperimentų imitatoriaus programinis kodas .....	45
2 priedas. Vartotojo sąsajos programinis kodas .....	58
3 priedas. Variantų duomenų generavimo programa Matlab .....	62

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. CCD ir vario cementavimo išėiga.....	12
1 lentelės tęsinys.....	13
2 lentelė. BBD stebėjimai.....	14
3 lentelė. Regresijos koeficientai ir standartinės paklaidos CCD.....	14
4 lentelė. Eksperimentiniai nepriklausomi kintamieji ir jų užkoduoti lygiai centriniam sudėtiniam dizainui.....	20
5 lentelė. Eksperimentiniai veiksniai koduotuose ir faktiniuose vienetuose ir eksperimentinės reakcijos.....	20
5 lentelės tęsinys.....	21
6 lentelė. Dispersijos analizė (ANOVA) reaguojant į paviršiaus kvadratinį modelį anglies pelenų mažinimui.....	21
6 lentelės tęsinys.....	22
7 lentelė. CCD ir vario cementavimo išėiga.....	24
8 lentelė. Duonos pakuotojų atsargų duomenų dispersijos analizė su kontrolės veiksnių paklaidomis.....	25
9 lentelė. Ortogonalusis kompozicinis eksperimentų planas ir rezultatai.....	26
9 lentelės tęsinys.....	27
10 lentelė. Eksperimentinių tyrimų faktorių vertės ekstremumo taškuose, eksperimentų rezultatai ir modelių adekvatumai.....	29
11 lentelė. Ekstremumo taško koordinacių pasikliautinieji intervalai.....	32

## Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Reakcijos paviršiaus ir kontūro diagramos priklausomai nuo $x_2$ ir $x_3$ . Kintamasis $x_1$ yra fiksuotas vertėmis $-1$ .....	15
1.2 pav. Skirtingų tipų CCD taškų kontūro diagramos parodomos priklausomai nuo $x_1$ ir $x_2$ . Kintamasis $x_3$ yra fiksuotas reikšmėmis $-1$ .....	15
1.3 pav. Kontūrinės schemos skirtingiems BBD taškų tipams išskirti priklausomai nuo $x_1$ ir $x_2$ . Kintamasis $x_3$ yra fiksuotas 0 reikšmėmis. ....	16
1.4 pav. Taškų vieta $2^3$ faktoriniam dizaine .....	19
2.1 pav. 3,11, 24 ir 55 variantų eksperimentinio tyrimo vidutinių reikšmių ir modeliavimo rezultatų palyginimas.....	28
2.2 pav. Reakcijos paviršiaus pjūviai ekstremumo taško aplinkoje, santykinės ir absoliutinės 3 varianto faktorių vertėmis.....	29
2.3 pav. Reakcijos paviršiaus pjūviai ekstremumo taško aplinkoje, santykinės ir absoliutinės 11 varianto faktorių vertėmis.....	30
2.4 pav. Reakcijos paviršiaus pjūviai ekstremumo taško aplinkoje, santykinės ir absoliutinės 24 varianto faktorių vertėmis.....	31
2.5 pav. Reakcijos paviršiaus pjūviai ekstremumo taško aplinkoje, santykinės ir absoliutinės 24 varianto faktorių vertėmis.....	31
2.6 pav. 56 varianto maksimumo taško koordinačių histogramos .....	33
2.7 pav. 9 varianto maksimumo taško koordinačių histogramos .....	33
2.8 pav. 21 varianto maksimumo taško koordinačių histogramos .....	34
2.9 pav. Excel lentelės išvedami duomenys .....	34
3.1 pav. Vartotojo sąsajos prisijungimo langas .....	36
3.2 pav. Prisijungimo lango kodas.....	37
3.3 pav. Neteisingo prisijungimo klaidos langas .....	37
3.4 pav. Pradinis puslapis .....	37
3.5 pav. Individualaus darbo puslapis su laukeliu įvesti savo individualaus darbo variantą .....	38
3.6 pav. Sugeneruotų duomenų- faktorių pagal parinktą variantą išduodama lentelė.....	38
3.7 pav. Duomenų generavimo ir pateikimo kodo dalis.....	38
3.8 pav. Faktoriai ir jų kitimų lygiai bei apskaičiuoti žvaigždiniai taškai.....	39
3.9 pav. Išėjimo signalo skaičiavimo kodas <i>Javascript</i> kalboje.....	39
3.10 pav. Eksperimentų rezultatų skaičiuoklė.....	40
3.11 pav. Iššokanti lentelė kuomet trūksta duomenų .....	40



## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

RSM – reakcijų paviršių metodologija (angl. Response Surface Methodology)

CCD – centrinis kompozicinis planas (angl. Central Composite Design)

BBD – angl. Box-Behnken Design

ANOVA – Dispersijos analizė (angl. Analysis of Variance)

HF – Vandenilio fluoridas (angl. Hydrogen fluoride)

CCRD – centrinis kompozicinis rotacinis planas (angl. Central Composite Rotational Design)

FCD – angl. Face-centered Cubic Design

### Terminai:

Java script – objektiškai orientuota *skriptų* programavimo kalba, besiremianti prototipų principu. Dažniausiai kalba naudojama internetinių puslapių interaktyvumo realizacijai, bet taip pat naudojama ir kaip galimybė *skriptais* manipuluoti tam tikromis programomis.

HTML – Hiperteksto žymėjimo kalba arba HTML yra standartinė dokumentų, skirtų rodyti žiniatinklio naršyklėje, žymėjimo kalba.

CSS – Cascading Style Sheets (CSS) yra stiliaus lapų kalba, naudojama dokumento, parašyto žymėjimo kalba, pvz., HTML, pateikimui apibūdinti.

Excel – Microsoft Office programų paketo elektroninė skaičiuoklė.

ASTM – dar žinoma kaip Amerikos bandymų ir medžiagų draugija, yra tarptautinė standartų organizacija, kurianti ir skelbianti savanoriškus konsensuso techninius standartus įvairioms medžiagoms, gaminiams, sistemoms ir paslaugoms.

## Įvadas

Faktorinių eksperimentų imitatorius yra skirtas studijų modulio „Technologinių procesų eksperimentinė analizė“ individualaus darbu atlikti. Faktorinis eksperimentas yra eksperimentas, kurio planą sudaro du ar daugiau veiksnių, kurių kiekvienas turi atskiras galimas reikšmes.

Taikant reakcijos paviršiaus metodologiją yra identifikuojamas statistinis modelis, patikrinamas jo adekvatumas ir surandamos reakcijos paviršiaus ekstremumo koordinatės.

Eksperimento metu modeliuojamos paklaidos, todėl apskaičiuotos ekstremumo koordinatės turi atsitiktinę dedamąją. Tikrinant studentų ataskaitas svarbu žinoti tų koordinačių pasikliautinuosius intervalus. Tuo tikslu būtina atlikti eksperimentų imitatoriaus visų variantų statistinį tyrimą.

Iki šiol naudojamas imitatorius yra pateiktas *Matlab* programinėje kalboje. Kadangi *Matlab* paketas nėra laisvai platinamas, todėl nuspręsta imitatoriaus programą perkelti į internetinę erdvę.

Šio darbo tikslas: statistiškai ištirti faktorinių eksperimentų imitatorių ir sukurti imitatoriaus vartotojo sąsają.

Šiam darbo tikslui pasiekti keliami uždaviniai:

- Atlikti literatūros analizę apie faktorinių eksperimentų planavimą ir reakcijos paviršiaus metodologijos taikymą.
- Sukurti programą *Matlab* aplinkoje eksperimentiniam tyrimui ir reakcijos paviršiaus ekstremumo koordinačių nustatymui.
- Panaudoti Eksperimentinių tyrimų imitatoriaus užduočių variantų generuojamus duomenis reakcijos paviršių ekstremumų koordinačių nustatymo tikslumo tyrimui ir pasikliautinių intervalų nustatymui.
- Sukurti faktorinių eksperimentų imitatoriaus vartotojo sąsają.

## 1. Kas yra reakcijos paviršiaus metodika

Reakcijų paviršių metodas (RSM) yra 1950-ųjų metų pradžioje George E. P. Boxo ir K. B. Wilsono pristatytas įrankis. RSM tai matematinių ir statistinių metodų rinkinys, kuris yra naudingas optimizuoti ir aproksimuoti stochastinius modelius. Objektyvi funkcija, susieta su tokiais modeliais, yra atsitiktinio triukšmo pavidalu ir vadinama triukšminga arba stochastine objektyvia funkcija. Šis metodas taip pat turi svarbų pritaikymą kuriant bei formuojant naujus produktus, o taip pat ir tobulinant esamų produktų dizainą. [1]

### 1.1. Kodėl dažnai yra daromos klaidos naudojant RSM metodą

Taikant RSM, svarbu gauti kreivės sritį, kad nustatytumėte antros eilės modelį ir pasiektumėte vietinį optimalumą. Norint pasiekti kreivumą, svarbu teisingai parinkti kontrolinių veiksnių lygius. Jei atstumas tarp šių lygių yra per mažas, bus sunku išgauti kreivumą. Kita vertus, dideli atstumai tarp lygių gali pažeisti faktorinių lygių galimybes. Kita būdas yra ieškoti kreivumo srities naudojant aukščiausio pakilimo metodą. RSM liekamoji paklaida išreiškiama pagal centrinių taškų dispersiją. Jei naudojamo proceso dispersija šioje sąlygoje yra didesnė už faktorių lygių skirtumus, reikšmingumas nebus pasiektas ir atitinkamai, tinkamo modelio, kuris atitiktų naudojamo proceso duomenis. Jiems svarbu ištirti savo proceso ir matavimo sistemos kintamumą. Veiksnių lygių pasirinkimas gali būti atliekamas atliekant atrankos testus ir atsižvelgiant į literatūrą.

### 1.2. RSM metodo naudojimas biodyzelino gamybos optimizavimui

RSM šiais laikais įgauna didelę reikšmę optimizuojant įvairius procesus, įskaitant biodyzelino gamybą. Šiame procese paprastai naudojami statistiniai ir matematiniai metodai. RSM yra pripažįstamas kaip būtinas būdas optimizuoti specifinę reakciją, kuriai įtakos turi kintamieji. Taigi svarbiausias eksperimentinės reakcijos modeliavimas, norint gauti optimalius rezultatus, yra susijęs su pabrėžtinu RSM naudojimu, nors taip pat jo naudojimas dabar išplėstas iki skaitmeninių eksperimentų modeliavimo ir optimizavimo, kas yra pagrindinis modeliavimo tikslas [2]. Taigi RSM yra labai vertinga priemonė reakcijos kintamiesiems kurti, optimizuoti bei tobulinti, ir jį galima matematiškai išreikšti taip:

$$y = f(x_1, x_2) + e \quad (1)$$

kur „y“ yra dominantanti reakcija ir priklausanči nuo „x1 ir x2“ nepriklausomų kintamųjų, o „e“ yra eksperimentinė paklaida, parodanti suskaičiuojamosios paklaidos, jei tokia yra, įtaką dominančiai reakcijai.

Pagrindė yra naudojami pirmos ir antros eilės reakcijos paviršiaus modeliai. Pirmos eilės modelis gali būti naudojamas siekiant nustatyti reakcija pagrįstą funkciją, kurią paprastai atspindi nepriklausomo pobūdžio kintamųjų linijinė funkcija. Paprasčiausias pirmos eilės modelis gali būti išreikštas taip:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + e \quad (2)$$

Kur  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  ir  $\beta_2$  reiškia regresijos koeficientus.

Palyginus su pirmos eilės, antrosios eilės modelis paprastai atspindi apytikslę funkciją su dviem ar daugiau kintamųjų. Be pirmosios eilės sąveikos modelio terminų, jis taip pat atsižvelgia į visus kvadratinius ir kryžminius produktus [2]. Antrosios eilės modelį matematiškai galima apibūdinti taip:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + e \quad (3)$$

Centrinis kompozicinis dizainas (CCD) yra priimtinausias dizainas, kuris pastarąjį dešimtmetį visame pasaulyje pritraukė mokslo bendruomenę procesų optimizavimui. CCD pasižymi arba visu faktorių projektu su dviem lygiais ( $2^k$ ), arba su daliniais faktorių projektais ( $2^{k-f}$ ), turinčiais kelis projektavimo taškus. Šį dizainą sudaro faktūriniai taškai  $n_f$ , ašiniai taškai  $n_a$  ir centriniai taškai  $n_c$ . Visi galimi regresijos parametrai gali būti matuojami naudojant CCD, atsižvelgiant į bendrus projektavimo taškų rezultatus. Be to, CCD yra laikomas pasukamu, jei dispersija priklauso nuo projektavimo centro (dominančios) reakcijos, o ne nuo krypties. Apskritai RSM tikslas yra topografinis reakcijos paviršių supratimas, siekiant rasti optimalią reakciją.

### 1.2.1. Reakcijos paviršiaus modelių į pašalinius faktorius analizė

Kaip ir prieš tai minėtame skyrelyje RSM gali būti naudojamas apibrėžiant santykius tarp reakcijos ir įvesties bei veiksmų poveikio. Šiuo atveju yra daroma prielaida, kad tikrasis funkcinis ryšys iš tikrųjų yra nežinoma.

$$y = f(x, \theta) + \varepsilon \quad (4)$$

Čia kintamieji  $x_1, x_2 \dots x_k$  yra išdėstyti centruose ir masteliuose. Tokiu atveju yra aptariamas reakcijos paviršiaus dizainas naudojamas, kad atitiktų antrojo laipsnio reakcijos paviršiaus modelį kaip tikro reakcijos paviršiaus aproksimaciją mažame regione kurią galime išreikšti taip:

$$y(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (5)$$

Terminas  $\varepsilon$  yra įprastas atsitiktinių paklaidų komponentas. Kad modelis atitiktų mažiausių kvadratų modelį RSM, imame kad,  $E(\varepsilon) = 0$  ir  $V(\varepsilon) = I_n \sigma^2$ . Matricos žymėjime  $y(X) = X\beta + \varepsilon$  yra reakcijos stebėjimų  $n \times 1$  vektorius, atitinkantis tam tikras regresoriaus kintamųjų reikšmes projekcinėje matricioje  $X$ ,  $X$  yra  $n \times k$  matrica, kurios  $n > k$  ir  $i$ -inė eilė išreiškiama kaip:

$$x_i^T = [1, x_{i1}, \dots, x_{ik}, x_{i1}^2, x_{i1}x_{i2}, \dots, x_{i(k-1)}x_{ik}], i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

### 1.2.2. Grafinis atvaizdavimas

Paprastai reakcijos paviršiaus diagrama ir kontūro diagrama gali atspindėti įvertinto reakcijos kontūrą ir vaidinti svarbų vaidmenį atliekant RSM analizę. Jie gali daug sužinoti apie reakcijos paviršiaus sistemos pobūdį. Reakcijos paviršiaus diagrama yra trimatis grafikas, rodantis santykį tarp reakcijos ir nepriklausomų kintamųjų. Dviejų matmenų reakcijos diagramos, vadinamos kontūriniu, rodymas yra pastovaus reakcijos linijos, nubrėžtos įėjimų plokštumoje. Tačiau turime nepamiršti, kad reakcijos paviršiaus modelis yra tik Taylora eilutės tikrosios funkcinės lygties aproksimacija; ir be to, reakcijos funkcijoje naudojami koeficientai yra tik reakcijos paviršiaus modelio  $\beta$  įverčiai, taigi kontūrai (arba paviršiai) atspindi įvertinto reakcijos kontūrus, o ne tikrąją paviršiaus sistemos struktūrą.

1 lentelė. CCD ir vario cementavimo išeiğa

Nustatyti parametų duomenys			Stebėjimai	Nukrypę signalai		
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y$	faktorialas	ašinis	centras
-1	-1	-1	6.6	6.6	6.6	6.6
1	-1	-1	6.9	6.9	6.9	6.9
-1	1	-1	7.9	7.9	7.9	7.9

1 lentelės tęsinys

x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y	faktorialas	ašinis	centras
1	1	-1	6.1	6.1	6.1	6.1
-1	-1	1	9.2	9.2	9.2	9.2
1	-1	1	6.8	6.8	6.8	6.8
-1	1	1	10.4	10.4	10.4	10.4
1	1	1	7.3	11.37	7.3	7.3
-1.625	0	0	9.8	9.8	9.8	9.8
1.625	0	0	5.0	5.0	5.0	5.0
0	-1.625	0	6.9	6.9	6.9	6.9
0	1.625	0	6.3	6.3	6.3	6.3
0	0	-1.625	4.0	4.0	4.0	4.0
0	0	1.625	8.6	8.6	13.70	8.6
0	0	0	10.1	10.1	10.1	10.1
0	0	0	9.9	9.9	9.9	9.9
0	0	0	12.2	12.2	12.2	12.2
0	0	0	9.7	9.7	9.7	9.7
0	0	0	9.7	9.7	9.7	9.7
0	0	0	9.6	9.6	9.6	15.09

### 1.2.3. Duomenys iš centrinio kompozicinio plano ir Box-Behnken plano taškų

Naudojant centrinį sudėtinio sukamojo metodo eksperimentą, siekiant ištirti trijų veikimo veiksnių efektyvumą, t.y. sandarinimo temperatūrą (x<sub>1</sub>), aušinimo baro temperatūrą (x<sub>2</sub>) ir polietileno priedo procentinę dalį (x<sub>3</sub>) bei išėjimo signalo kintamąjį (y) kuris apibrėžiamas kaip duonos pakavimo medžiagų stiprumas gramais kvadratiniam colyje. Pagrindinis eksperimento tikslas buvo rasti faktoriaus lygių derinį, kuris suteikia numatomą reakciją nejudančiame taške ir tvirtumo testą aplink stacionarų tašką. 1 lentelėje pateikiamas visų veiksnių lygių planas ir atitinkamos jų išėjimų vertės. Skaičiavime naudojama  $s = \hat{\sigma} = \sqrt{MS_E}$  išraiška, kuri nurodo vidutinio kvadrato paklaidą. Įvertis  $\sigma^2$  yra lygus 0,9920, remiantis stebėjimų dispersija. Norint gauti išlenktą duomenų rinkinį, 8, 14 ir 20 eksperimentų rezultatai 5s nukrypsta nuo apskaičiuoto priklausomo kintamojo y vidurkio, kai duomenų rinkinyje yra s = 0,996 nepriklausomų kintamųjų reikšmės.

O kiti duomenys naudojant BBD. Kad būtų paprasčiau rodyti duomenis, duomenys, įskaitant tik pirminę reakciją ir užterštos reakcijos vertes, pateikti 2 lentelėje. Panašiai  $\sigma^2$  įvertis yra 9,00. Nukreipti duomenys gaunami aukščiau paminėtu metodu. Reiktų atkreipti dėmesį, kad du  $\sigma^2$  įverčiai nėra vienodi ir toliau BBD taškai vadinami blokinais taškais, išskyrus centrinus taškus, nes dizaino klasė remiasi subalansuotų neišsamių blokų konstrukcija.

2 lentelė. BBD stebėjimai

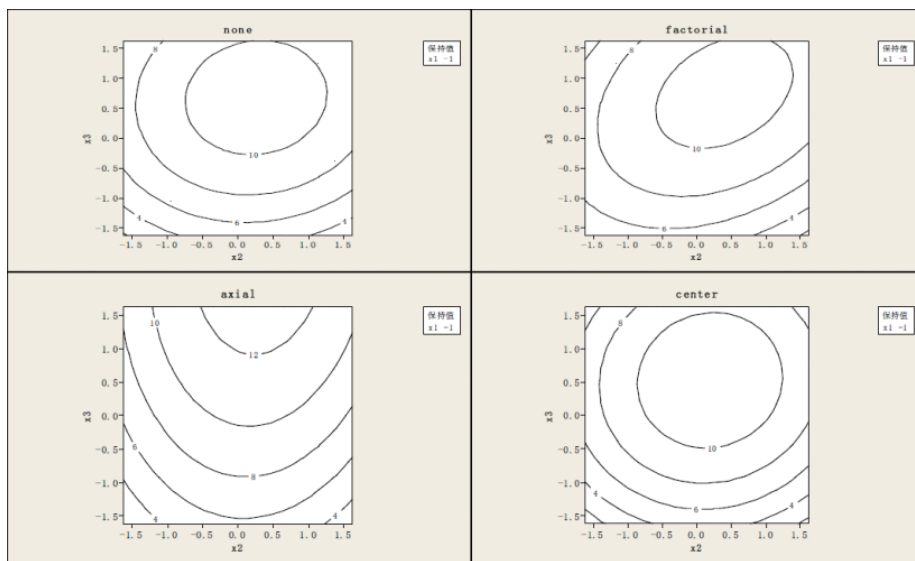
Nustatyti parametru duomenys			Stebėjimai	Nukrypę signalai
$x_1$	$x_2$	$x_3$	y	
-1	-1	0	53	53
1	-1	0	58	58
-1	1	0	59	59
1	1	0	56	56
-1	0	-1	64	64
1	0	-1	45	45
-1	0	1	35	35
1	0	1	60	60
0	-1	-1	59	59
0	1	-1	64	64
0	-1	1	53	53
0	1	1	65	77.25
0	0	0	65	65
0	0	0	59	59
0	0	0	62	77

3 lentelė. Regresijos koeficientai ir standartinės paklaidos CCD

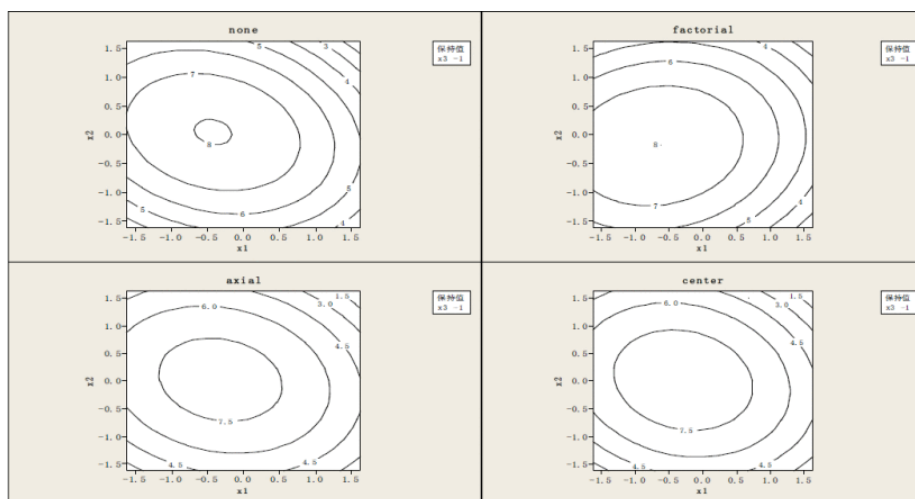
Sąlyga	Nukrypę taškai							
	Viršūnių		Kampiniai		Briaunų		Vidurio	
	Koef.	SE koef.	Koef.	SE koef.	Koef.	SE koef.	Koef.	SE koef.
$x_1$	-1.1144	0.3206	-0.8034	0.4424	-1.1144	0.4154	-1.1144	0.4988
$x_2$	0.0922	0.3206	0.4032	0.4424	0.0922	0.4154	0.0922	0.4988
$x_3$	1.0296	0.3206	1.3406	0.4424	1.6512	0.4154	1.0296	0.4988
$x_1^2$	-0.7444	0.3238	-0.6236	0.4469	-0.9694	0.4196	-1.0606	0.5038
$x_2^2$	-1.0473	0.3238	-0.9265	0.4469	-1.2724	0.4196	-1.3635	0.5038
$x_3^2$	-1.1609	0.3238	-1.0402	0.4469	-0.4241	0.4196	-1.4772	0.5038
$x_1x_2$	-0.3500	0.4131	0.1663	0.5700	-0.3500	0.5352	-0.3500	0.6427
$x_1x_3$	-0.5000	0.4131	0.0163	0.5700	-0.5000	0.5352	-0.5000	0.6427
$x_2x_3$	0.1500	0.4131	0.6663	0.5700	0.1500	0.5352	0.1500	0.6427

Svarbesnė situacija yra reakcijos optimizavimas, ypač nustatant stacionaraus taško vietą. Neprarandant bendrumo, 1 paveiksle parodyta reakcijos paviršiaus diagrama ir išėjimo reakcijos kontūro diagrama, atsižvelgiant į proceso kintamuosius  $x_2$  ir  $x_3$ , kuriuos trečiasis kintamasis  $x_1$  fiksuoja aukštu lygiu. Iš paveikslų aiškiai matyti, kad stacionarus taškas išeina netoli 0,226 ir 0,681 kintamųjų  $x_2$  ir  $x_3$  ir kad reakcija šiuo metu yra didžiausias, be to, kontūro grafike parodomas lankstumas, esantis aplink apskaičiuotą optimalų. Siekdamas vizualizuoti atokių objektų įtaką modelio matui CCD, autorius atsižvelgia į kontūro diagramas, skirtas išsklaidyti skirtingų tipų

projektavimo taškuose, minėtus 1 paveikslo apačioje. ir ašiniai važiavimai, kontūro brėžinių formos dramatiškai keičiasi nuo nejudančio taško, bet ne centre, o tai panašu į rezultatus, gautus tiriant  $x_1$  reikšmes  $-1, 0, 1, 1,625$  [9]. Pavyzdžiui, jei išorinis matavimas būtų didesnis, tuomet būtų pasiektas akivaizdesnis rezultatas. Tačiau pastovios reakcijos kontūruose, parodytuose įvairiuose  $x_3$  kintamojo lygiuose 1.2 paveiksle, darome palyginamus su nenuosekliais rezultatais, kurie aptarėme aukščiau, kad faktorių ir ašių išorinių diagramų formos šiek tiek nežymiai keičiasi nei kitos. Taigi, žvelgiant iš reakcijos paviršiaus, tai prieštarauja dabartinei praktikai, kuriai reikia daugybės centrinių taškų pakartojimų ir beveik jokių kitų taškų. Iš pateiktų tyrimo rezultatų, gautų dėl centrinio kompozicinio rotacinio plano (CCRD) išorinių duomenų (3 lentelė), buvo naudojamas kitokio tipo CCD, vadinamas „Face-centered Cubic Design“ (FCD). [18]. Daugiau informacijos apie šią reakciją nepateikiama.



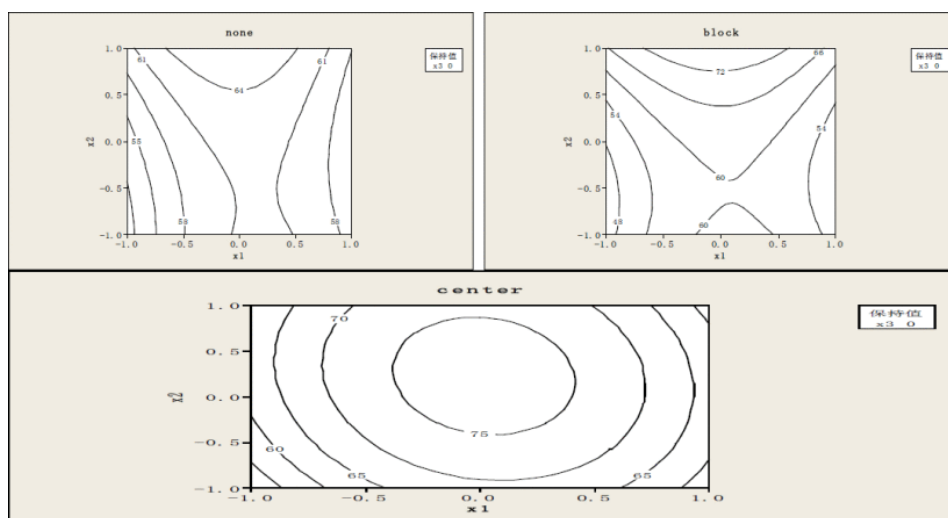
1.1 pav. Reakcijos paviršiaus ir kontūro diagramos priklausomai nuo  $x_2$  ir  $x_3$ . Kintamasis  $x_1$  yra fiksuotas vertėmis  $-1$



1.2 pav. Skirtingų tipų CCD taškų kontūro diagramos parodomos priklausomai nuo  $x_1$  ir  $x_2$ . Kintamasis  $x_3$  yra fiksuotas reikšmėmis  $-1$

### 1.2.4. Box-Behnken plano tyrimas

Įvertintų regresijos koeficientų vertės ir jų standartinės paklaidos taip pat gaunamos panašiai kaip 3 lentelėje. Dėl erdvės priežasčių jis nebuvo rodomas. Iš pateiktų vaizdų galima pastebėti, kad bloko nuokrypiai keičia kintamųjų, susijusių su išoriniu tašku, ir grynųjų kvadratinų terminų linijinius ir sąveikos koeficientus. Iš tolimesnės bloko ribų analizės, reikia pažymėti, kad užterštų koeficientų dydis didėja arba mažėja didėjant nuokrypio laipsniui. Centro pašaliniais rodikliais tai reiškia grynus kvadratinus ir perimamuosius terminus, o standartinės koeficientų paklaidos tampa nepaprastai didesnės už blokines paklaidas. Pateikti trys pastovaus reakcijos kontūro diagramos, pateiktos 3 paveiksle, siekiant parodyti vieno išorinio bloko stebėjimo įtaką apskaičiuoto modelio poveikiui ar centro eigose RSM. Dėl kontūro ribų yra reikšmingas kontūrų grafikų pokytis. Balno taškas transformuojamas į maksimalų tašką atliekant centrinius pašalinius eksperimentus. Tai rodo, kad RSM yra toks jautrus Box-Behnken plano (BBD) išskirtinumui, kad realiose situacijose mato duomenys turėtų būti atliekami atsargiai; Jei tai yra leidžiama, gali prireikti kai kurių testavimo pakartojimų, žinoma jei tai yra leidžiama, o nustatymas ir tvirta regresija bus nereikalinga.



1.3 pav. Kontūrinės schemas skirtingiems BBD taškų tipams išskirti priklausomai nuo  $x_1$  ir  $x_2$ . Kintamasis  $x_3$  yra fiksuotas 0 reikšmėmis.

### 1.2.5. Tarpinės išvados

Nuokrypių problemoms RSM pramonės inžinieriai skyrė labai mažai dėmesio. Šiame straipsnyje pateikiama gana išsami eksperimentų, atliktų pagal centrinio sudėtinio ir „Box-Behnken“ reakcijos paviršiaus modelius, analizė. Šio darbo aiški žinia, kurią aiškiai galima pamatyti 1.2.4 skyrelyje, yra ta, kad veiksnių poveikio kontūro schemai mažiau įtakos turės centro išorinis taškas, išskyrus faktūrinius ir ašinius išorinius taškus. Be to, BBD atrodo jautresnis pašaliniams rodikliams, į kuriuos turėtų būti atsižvelgta atliekant išsamią eksperimentų su išorine verte analizę, atliekamą pagal centrinio sudėtinio ir „Box-Behnken“ reakcijos paviršiaus dizainą[22][29]. Analizuojant užterštą modelį buvo iliustruojami keli kiti klausimai. Jie gali būti naudingi kai kuriose situacijose, ypač kai eksperimentuotojas turi mažiau laisvės išplėsti dizainą ar nuspręsti dėl eksperimentų skaičiaus pasirinkimo, pavyzdžiui, kai kuriuose inžineriniuose eksperimentuose, kur šių dizainų ir jų faktoriaus lygių pakeisti neįmanoma surinkus duomenis. Analizuojant šią regresiją ir reakciją, galime įgyti daug



žinių apie poveikį skirtingų tipų nuokrypių taškams, taigi turime pranašumą, palyginti su praktinėmis taikymo sritimis. Atrodo, kad tai yra naudinga pagalba renkant duomenis ir tvirtai planuojant ar pritaikant būsimus tyrimus.

### **1.3. RSM optimizuojant išplovimo parametrus pelenų mažinimui iš žemos kokybės anglies**

Anglimi kūrenamų šiluminės energijos sektoriai yra pirmaujantys energijos tiekėjai, kurie pasaulyje smarkiai auga. Indija yra trečia pagal dydį šalis pasaulyje anglies gavybos srityje, o maždaug 85 % visos anglies produkcijos sunaudojama šiluminėse elektrinėse. Anglis yra pagrindinis dominuojantis energijos šaltinis gaminant elektrą, ir tikimasi, kad per ateinančius kelis dešimtmečius jos labai padidės. Labai sunku pašalinti mineralines medžiagas iš anglies matricos plaunant dėl Indijos anglies dreifuojančios kilmės ir plačios gamtos įvairovės. Todėl, norint pagerinti žemos kokybės anglies kokybę, reikalingi tinkami sodrinimo būdai. Sunku sumažinti pelenų kiekį iki tam tikros ribos naudojant įprastą anglies plovimo techniką, nes anglies matricoje yra būdingų mineralų. Indijos anglys paprastai turi daug pelenų ir drėgmės, o tai daro didelę įtaką jų panaudojimui, todėl tokios anglys nėra nei priimtinos geležies gamybai, nei elektros gamybai. Šiais laikais žemos kokybės anglis atnaujinti yra kuriamos įvairios sodrinimo technologijos, kurios gali būti tinkamos įvairioms sritims. Šie sodrinimo būdai kitaip vadinami anglies paruošimu, kai nepageidaujamos priemaišos fiziškai atskiriamos nuo anglies. Fiziniai sodrinimo būdai yra pagrįsti mineralo paviršiaus savybėmis (drėkinamumu) ir tankiu, susijusiu su anglies matrica. Privaloma sumažinti pelenų kiekį iš anglies, kad būtų geriau panaudota, taikant reikiamą tinkamą sodrinimo techniką, siekiant sumažinti aplinkos taršą. Cheminis išplovimas yra veiksmingas būdas pašalinti iš anglies tiek organines, tiek neorganines sieros mineralines medžiagas, nes cheminiai tirpikliai lengvai išsisklaidytų per anglies matricą ir ištirpintų mineralus. Todėl cheminis sodrinimas yra vienas iš naujų metodų, galinčių pašalinti būdingą mineralą ir sumažinti pelenų turintį mineralą iš anglies matricos.

Pastaruoju metu įvairiuose chemijos sektoriuose naudojama daugybė statistinių eksperimentinių projektavimo metodų proceso parametrų optimizavimui. Kelių kintamųjų sistemos optimizavimas įprastu būdu atliekamas vienu metu atliekant bandymus su vienu veiksniumi. Įprastoms technikoms reikia atlikti daug eksperimentų, o tokie metodai neatspindi bendro poveikio. Tam taip pat reikia daugiau duomenų, kad būtų galima nustatyti optimalų lygį ir užtrukti ilgiau, o tai yra nepatikima [14].

Viename iš straipsnių buvo tirtas bendras koncentracijos, laiko ir temperatūros poveikis išplovimo procesui, o proceso parametrai buvo optimizuoti naudojant centrinį kompozitinį projektavimą (CCD) kartu su RSM metodu. Eksperimento planu buvo sukurtas modelis optimalioms išplovimo sąlygoms nustatyti, kai iš anglies gaunamas didžiausias pelenų sumažėjimas.[3]

#### **1.3.1. Daugialypis eksperimento planas**

Parametras, naudojamas pelenų mažinimui iš žemos kokybės anglies cheminiu plovimu, buvo analizuojamas standartinio reakcijos paviršiaus metodikos (RSM) projektu, vadinamu centriniu sudėtinu projektu (CCD). RSM metodas tinka kvadratiniam paviršiui pritaikyti ir padeda optimizuoti proceso parametrus atliekant minimalų eksperimentų skaičių, taip pat analizuoti parametrų sąveiką.

Paprastai CCD susideda iš  $2^n$  faktoriaus eigos su  $2^n$  ašinėmis eigomis, o eksperimentinė paklaida matuojama centrinėmis eigomis (nc). Šis eksperimentinis projektas sudarytas iš  $2^n$  faktorialo, užkoduoto  $\pm 1$  žymėjimu, padidinti  $2^n$  ašiniais taškais  $(\pm a, 0, 0 \dots 0)$ ,  $(0, \pm a, 0 \dots 0)$ ...  $(0, 0, \pm a \dots 0)$  ir nc centriniai taškai  $(0, 0, 0 \dots 0)$  [27]. Kiekvienas kintamasis tiriamas dviem lygmenimis, o

didėjant kintamųjų (n) skaičiui, visiško dizaino pakartojimo eigų skaičius greitai didėja. Kvadratiniam efektui buvo naudojamas CCD, nes individualaus antrosios eilės efekto atskirai įvertinti neįmanoma pagal 2n faktorių. Todėl kuriant pelenų mažinimo iš anglies modelį yra naudojamas CCD. Atliekant statistinę analizę, modeliuota reakcija su atitinkamais parametrais, siekiant optimizuoti proceso sąlygas norimai reakcijai. ANOVA naudojama statistiniams parametrams apskaičiuoti, naudojant reakcijos paviršiaus metodus naudojamus [5][12][13][16][17] šaltiniuose.

Optimizavimas naudojant RSM metodą apima tris pagrindinius žingsnius; tai, pirma, yra statistiškai sukurti eksperimentai, antra, įvertinami koeficientai matematiname modelyje ir galiausiai numatoma reakcija ir patikrinamas modelio tinkamumas eksperimento metu [26][27][28]. Viename iš atliktų tyrimų statistiniam eksperimento planavimui buvo pasirinkti trys nepriklausomi kintamieji: ploviklio koncentracija (X1, tūrio%), temperatūra (X2, ° C) ir laikas (X3, min). Veiksnių diapazonas ir lygis kito pagal eksperimento planą. Nustatyta, kad šie trys kintamieji ir jų atitinkami diapazonai yra kritiniai parametrai efektyviam pelenų mažinimui iš žemos kokybės anglies.

$$y = f(X_1, X_2, X_3 \dots X_n) \quad (7)$$

kur Y yra sistemos atsakas, o Xn yra nepriklausomas veikimo kintamasis, vadinamas veiksniais.

Tyrimė buvo daroma prielaida, kad nepriklausomas kintamasis eksperimentuose yra tęstinis ir reguliuojamas eksperimentais su nereikšmingomis paklaidomis. Eksperimentinio projekto tikslas buvo optimizuoti atsako kintamuosius (Y). Jai reikėjo rasti tinkamą apytikslę ryšį tarp nepriklausomų kintamųjų ir reakcijos paviršių [15]. Eksperimentinis bandymas buvo atsitiktinai parinktas, kad būtų sumažinta nekontroliuojamų veiksnių paklaida ir poveikis. Gauta reakcija buvo naudojama generuojant empirinį modelį, kuris koreliuoja su eksperimentiniais kintamaisiais, naudojant antrojo laipsnio polinomo lygtį (8).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (8)$$

kur Y yra numatoma reakcija;  $\beta_0$  pastovus koeficientas;  $\beta_i$  linijiniai koeficientai;  $\beta_{ii}$  kvadratiniai koeficientai;  $\beta_{ij}$  sąveikos koeficientai; n eksperimentuose ištirtų ir optimizuotų veiksnių skaičius;  $X_i$  ir  $X_j$  koduojamos kintamųjų parametrų vertės išplovimo procesui; ir  $\varepsilon$  atsitiktinė paklaida. Kodai apskaičiuojami kaip kiekvieno veiksnio dominančio diapazono funkcija, kaip parodyta 2 lentelėje [30]. Kuriant regresijos lygtį, bandomieji kintamieji buvo užkoduoti pagal lygtį (9).

$$x_i = \frac{(X_i - X_i^*)}{\Delta X_i} \quad (9)$$

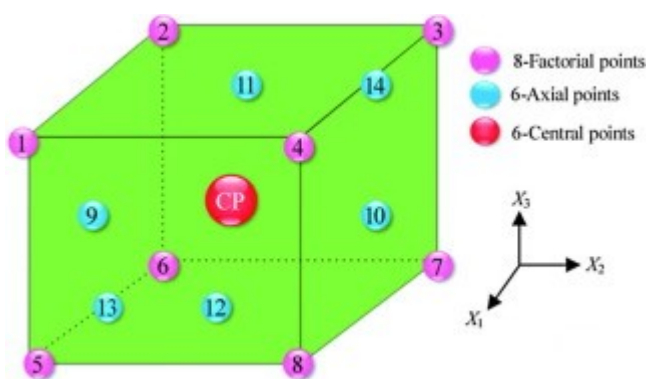
kur  $x_i$  yra be matmenų užkoduotos vertės i-asis nepriklausomas kintamasis; nekoduota i-ojo nepriklausomo kintamojo reikšmė žymima  $X_i$ ; panašiai, centre, nekoduota i-ojo nepriklausomo kintamojo reikšmė, žymima  $X_i^*$ ; o žingsnio keitimo vertę apibrėžia  $\Delta X_i$ .

CCD reikalingų bandymų skaičių įtraukiamas N kaip bendras bandymų ar eksperimentų skaičius, standartiniai 2n faktorių taškai, kurių pradžia yra centre. Kvadratiniai terminai generuojami iš centro

atstumu  $\alpha$  (šiam tyrime  $\alpha$  vertė buvo fiksuota 1,6817), iš fiksuotų  $2n$  ašinių taškų ir centre eina pakartojimai, kad būtų išvengta paklaidų; kur  $n$  yra nepriklausomų kintamųjų skaičius. Ašiniai taškai ( $2n$ ) skirti atrankos analizei ir įskaitomumui, kuris patikrina modelio numatymo dispersiją ir yra pastovus visuose taškuose, esančiuose tolygiai nuo projektavimo centro.  $n_c$  yra centrinių taškų, pateikiančių bandymo pakartojimus centre, skaičius ir labai reikalingi norint pateikti nepriklausomą eksperimentinės paklaidos įvertinimą [3].

$$N = 2^n + 2n + n_c = 2^3 + (2 * 3) + 6 = 20 \quad (10)$$

Trims eksperimentų kintamiesiems CCD projektuojant buvo naudojami aštuoni faktoriaus taškai, šeši ašiniai taškai ir šeši pakartojimai centriniuose taškuose. Taškų skaičius buvo parodytas 2 pav. Taigi bendras trijų nepriklausomų kintamųjų bandymų skaičius ( $N$ ) yra 20, kaip parodyta lygtį (10). Apibrėžus norimą kintamųjų diapazono vertę, jie yra koduojami  $\pm 1$  faktorių taškais, 0 - centriniais taškais ir  $\pm \alpha$  - ašiniais taškais.



1.4 pav. Taškų vieta  $2^3$  faktoriniam dizaine

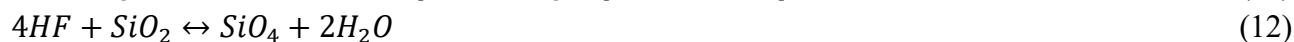
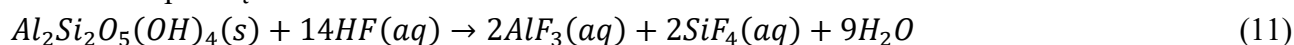
### 1.3.2. Modelio pritaikymas ir statistinė analizė

ANOVA (dispersijos analizė) buvo naudojama grafinė duomenų analizei apibrėžti sąveiką tarp proceso kintamųjų ir reakcijos išėjimų, kad būtų galima įvertinti statistinius parametrus. Statistinis programinės įrangos paketas „Design Expert“, „Stat-Ease, Inc.“, Mineapolis, JAV, buvo naudojamas eksperimentinių duomenų regresinei analizei, reakcijos paviršiams ir kontūro brėžiniams optimizuoti. Statistinis reikšmingumas buvo patikrintas F testu toje pačioje programoje. Sumontuoto polinomo modelio tikslumas buvo nustatytas pagal koeficientą  $R^2$ . Reikšmingi modelio terminai buvo įvertinti pagal tikimybės vertę ( $P$  reikšmė) esant 95% pasiklovimo intervalui.

### 1.3.3. HF rūgštimi apdorotų anglių išplovimo mechanizmas

Tipiška Indijos anglių pelenų analizė parodė, kad anglies pelenuose buvo rasta daugiau kaip 50% silicio dioksido. Didelis silicio dioksido ir aliuminio oksido kiekis yra aliuminio silikato junginio, pavyzdžiui, molio  $(\text{NaMgAl})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ , kaolinito  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  ir kvarco  $(\text{SiO}_2)$ , pavidalu. Išplovimo proceso mechanizmas gali atsirasti dėl anglies matricos viduje difunduojančios HF rūgšties, kuri reaguoja į pagrindinius mineralus ir ištirpdo beveik visus Al, Si ir K komponentus bei kitus mineralinius junginius [3]. Mineralų tirpimas išplaunant yra koncentracijos, laiko ir temperatūros funkcija. HF rūgštis yra efektyviausias reagentas, turintis didesnę išplovimo potencialą, palyginti su kitais cheminiais tirpikliais. Didesnio tirpimo laipsnio priežastis gali būti didelis fluoro

jonų (F<sup>-</sup>) giminingumas akmens anglių matricos mineralams. Pagrindiniai anglies mineralai kaip molis ar kaolinitas išplovimo metu buvo maišomi su HF rūgštimi ir susidarė tirpūs fluoro junginiai, tokie kaip CaF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>, AlF<sub>3</sub> ir SiF<sub>4</sub>, NaAlF<sub>4</sub>, kaip parodyta formulėse. (11), (12). Elementai, tokie kaip Na, Mg, Al, Ca iš įvairių mineralų, buvo pašalinti iš anglies išplovus HF rūgštį ir tuo pačiu sumažinant pelenų turinčius mineralus.



### 1.3.4. Modelio kūrimas

Šiame straipsnyje yra naudojama statistinė „Design-Expert 8.0.7.1“ programinė įranga eksperimentinių duomenų regresijos analizei tirti ir reakcijos paviršiaus diagramai nubraižyti. Statistiniai parametrai įvertinti taikant ANOVA. Plovimo tyrimui reikalingas eksperimentinis diapazonas ir užkoduotas kintamųjų lygis pateikiami 4 lentelėje. 5 lentelėje, kurioje parodytas eksperimentų planas kartu su eksperimento rezultatais [10] bei panašaus tipo matematiniai skaičiavimai atliekami [11]. Kaip siūloma „Design-Expert“ programinėje įrangoje, kvadratiniam modeliui nebuvo taikomas signalų apriukšminimas. Kvadratiniam modeliui nebuvo uždėtas Galutinis empirinis modelis, kalbant apie koduotą pelenų mažinimo faktorių (Y,%), parodytas (13) lygtys:

$$(Y, \%) = 74.48 + 3.66X_1 + 0.85X_2 + 0.43X_3 - 0.071X_1X_2 - 0.064X_1X_3 - 0.11X_2X_3 - 0.96X_1^2 + 0.33X_2^2 + 0.28X_3^2 \quad (13)$$

Čia neigiamas ženklas rodo antagonistinį poveikį, o teigiamas - sinerginį poveikį.

Eksperimentiniai nepriklausomi kintamieji ir jų užkoduoti lygiai centriniam sudėtiniam dizainui.(CCD)

4 lentelė. Eksperimentiniai nepriklausomi kintamieji ir jų užkoduoti lygiai centriniam sudėtiniam dizainui.

Nepriklausomas kintamasis	Simbolis	Kintamųjų lygiai				
		-α	Žemas	Vidutinis	Aukštas	+α
		-1.6817	-1	0	+1	+1.6817
Ploviklio koncentracija (vol.%)	X <sub>1</sub>	10	12	15	18	20
Temp. (°C)	X <sub>2</sub>	60	68	80	92	100
Laikas (min)	X <sub>3</sub>	90	108	135	162	180

5 lentelė. Eksperimentiniai veiksniai koduotuose ir faktiniuose vienetuose ir eksperimentinės reakcijos.

Standartinis bandymo nr.	Bandymas	Nepriklausomų kintamųjų santykinės vertė			Nepriklausomų kintamųjų absoliutinės vertė			Pelenų sumažinimas Y (%)
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> (vol.%)	X <sub>2</sub> (°C)	X <sub>3</sub> (min)	
1	20	-1	-1	-1	12	68	108	69.25
2	4	+1	-1	-1	18	68	108	75.93
3	5	-1	+1	-1	12	92	108	70.68
4	14	+1	+1	-1	18	92	108	78.36
5	1	-1	-1	+1	12	68	162	70.15

## 5 lentelės tęsinys

Standartinis bandymo nr.	Bandymas	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> (vol.%)	X <sub>2</sub> (°C)	X <sub>3</sub> (min)	Pelenų sumažinimas Y (%)
6	19	+1	-1	+1	18	68	162	77.86
7	6	-1	+1	+1	12	92	162	72.43
8	3	+1	+1	+1	18	92	162	78.57
9	13	-α	0	0	9.95	80	135	65.27
10	12	+α	0	0	20.05	80	135	78.21
11	2	0	-α	0	15	59.82	135	73.98
12	15	0	+α	0	15	100.18	135	76.84
13	16	0	0	-α	15	80	89.59	74.93
14	7	0	0	+α	15	80	180.41	75.61
15	17	0	0	0	15	80	135	74.64
16	10	0	0	0	15	80	135	74.58
17	9	0	0	0	15	80	135	74.24
18	8	0	0	0	15	80	135	74.74
19	11	0	0	0	15	80	135	74.16
20	18	0	0	0	15	80	135	74.55

Siekiant pritaikyti gerą modelį, buvo atliktas regresijos modelio ir individualaus modelio koeficientų reikšmingumo testas, nesant tinkamumo testo. Paprastai reikšmingi veiksniai buvo suskirstyti pagal F vertę arba P vertę (tikimybės reikšmę) 95% patikimumo lygiu. 6 lentelėje parodyta EOV generuotų duomenų ANOVA. pelenų mažinimui iš žemos kokybės anglies. Didesnė F reikšmė ir mažesnė „P“ reikšmė (Prob.> F) rodo reikšmingesnę atitinkamą koeficientą. F reikšmė 120,95 rodo, kad modelis yra reikšmingas. Be to, modelio terminai yra reikšmingi tik tada, kai reikšmės „Prob. > F“ yra mažesnės nei 0,05. Šiuo atveju X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>1</sub><sup>2</sup>, X<sub>2</sub><sup>2</sup> ir X<sub>3</sub><sup>2</sup> yra reikšmingi modelio terminai. „F-fit trūkumas“ 6,31 reiškia, kad „tinkamumo trūkumas“ yra reikšmingas. Didesnės P vertės („Tinkamumo trūkumas“ > 0,05) 5 lentelėje rodo, kad F statistinė vertė yra nereikšminga. Yra tik 3,22% tikimybė, kad dėl triukšmo atsiranda „tinkamos F vertės“ trūkumas.

6 lentelė. Dispersijos analizė (ANOVA) reaguojant į paviršiaus kvadratinį modelį anglies pelenų mažinimui.

Šaltinis	Kvadratų suma	Laisvės laipsnis	Vidutinis kvadratas	F	Prob.>F (P vertė)	Reikšmingumas
Modelis	213.33	9	23.7	120.95	<0.0001	Svarbus
X <sub>1</sub>	182.86	1	182.86	933.04	<0.0001	Svarbus
X <sub>2</sub>	9.95	1	9.95	50.80	<0.0001	Svarbus
X <sub>3</sub>	2.58	1	2.58	13.15	0.0046	Svarbus
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0.041	1	0.041	0.21	0.6587	
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	0.033	1	0.033	0.17	0.6924	
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.095	1	0.095	0.48	0.5030	

## 6 lentelės tęsinys

Šaltinis	Kvadratų suma	Laisvės laipsnis	Vidutinis kvadratas	F	Prob.>F (P vertė)	Reikšmingumas
$X_1^2$	13.37	1	13.37	68.22	<0.0001	Svarbus
$X_2^2$	1.61	1	1.61	8.22	0.0167	Svarbus
$X_3^2$	1.17	1	1.17	5.97	0.0347	Svarbus
Likutis	1.96	10	0.196			
Tinkamumo trūkumas	1.69	5	0.338	6.31	0.0322	Svarbus
Gryna paklaida	0.27	5	0.054			
Bendra koreliacija	215.29	19				

Kiekvieno kintamojo lygis buvo apskaičiuotas pagal išankstinę ekstruziją. Ašinių taškų atstumas nuo centro buvo  $\pm 1,6817$  ir jis buvo apskaičiuotas pagal  $\alpha = (2n) 0,25$ , kur n yra kintamųjų skaičius.

Signalas ir triukšmo santykis matuojamas tinkamumo tikslumu, kuris apima numatomą vertę projektavimo taškuose ir vidutinę prognozavimo paklaidą. Šiame tyrime tinkamumo tikslumo santykis yra 42,289 ir pageidautinas, nes šis santykis buvo didesnis nei 4. Taigi, sukurtą modelį galima naudoti projektavimo erdvei nukreipti.

### 1.3.5. Tarpinės išvados

Šioje publikacijoje buvo taikomas vieno etapo metodas sustabdyti HF rūgšties išplovimą į žemo laipsnio anglį, o taip pat pelenų sumažinimo mastas buvo maksimaliai padidintas esant optimizuotoms išplovimo sąlygoms, kad būtų galima gauti aukštos kokybės anglį išplovus rūgštimi. Sėkmingą HF rūgšties išplovimo imobilizavimą patvirtino anglies struktūriniai pokyčiai, mineralų išsiskyrimas ir akmens anglies paviršiaus savybės prieš ir po apdorojimo. Taip pat anglies mineralinės juostos sumažėjo dėl išplovimo efekto, o tai vėliau pagerino anglies kokybę. Taikant RSM kartu su CCD ir esant optimalioms išplovimo sąlygoms, buvo pasiektas maksimalus žemos kokybės anglies pelenų sumažinimas. Nustatyta, kad koncentracija turi didžiausią poveikį pelenų pašalinimui iš anglies, kad būtų gauta švari anglis. Atliktas išplovimo proceso optimizavimas ir gautos pelenų mažinimo eksperimentinės vertės artimesnės gautoms, kaip prognozuojama modeliais.

## 1.4. Reakcijos paviršiaus metodikos parametrų įvertinimas atsižvelgiant į nepriklausomų kintamųjų paklaidas

### 1.4.1. Kintamųjų paklaidų modeliai

Naudojant kintamųjų paklaidų modelį, tikrosioms kintamųjų reikšmėms taikomos matavimo paklaidos. Daugialypiu atveju laikomas nepastebimas vektorius  $z_i$  ir stebimas vektorius  $x_i$  yra  $x_i = z_i + u_i$  su  $u_i$  nepriklausomu ir identiška pasiskirsčiusiu vektoriumi, kurio vidutinė ir įstrižinė kovariacijos matrica  $\sigma_u^2 I$ . Regresijos modelyje daroma prielaida, kad  $y_i = z_i^T \beta + v_i$ , kur  $z_i$  ir  $v_i$  yra nepriklausomi, o  $v_i$  laikoma nepriklausomu vidutiniu nuliu ir dispersija  $\sigma^2$  atsitiktiniais kintamaisiais. Tačiau galima stebėti tik eksperimentinius kintamuosius  $x_i$  ir  $y_i$ , o jų santykis yra  $y_i = x_i^T \beta + \varepsilon_i$ .

O ordinačių mažiausių kvadratų pagrindu apskaičiuojami parametrai  $\beta$ , remiantis stebėtais kintamaisiais, taip

$$\hat{\beta} = [(X^T X)^{-1}(Z + U)^T Z] \beta + (X^T X)^{-1} X^T v \quad (14)$$

Kur  $X$ ,  $Z$ ,  $U$  ir  $v$  yra atitinkamai  $x_i$ ,  $z_i$ ,  $u_i$  ir  $v_i$  centruotų reikšmių matrica arba vektorius žymėjimas. Tarkime, kad egzistuoja atvirkštinė matrica. Regresijos koeficientų vertintojas sumažės iki  $\beta$ , kai nebus matavimo paklaidų, nes antrasis terminas neturi nulinės tikimybės. Kitaip tariant,  $\beta$  vertintojas nėra objektyvus  $\beta$  atžvilgiu. Nepaisant to, matavimo paklaidos yra realiose problemose, tada pirmasis terminas parodo  $\beta$  šališkumą. Norint palyginti numatomųjų kintamųjų paklaidų poveikį reakcijos paviršiaus metodikoje, tikrieji nepriklausomi kintamieji  $z_i$  laikomi fiksuotais. Vienkartinėje analizėje Fulleris parodė, kad  $\beta$  įvertintojo lūkesčiai yra

$$\mathcal{E}(\hat{\beta}) = \beta \left[ \frac{1}{1 + n\sigma_u^2 / \sum z_i^2} \right] \quad (15)$$

Nukrypimas visada yra didelis, nebent matavimo paklaidos yra mažos, palyginti su nepriklausomo kintamojo tikrųjų verčių kitimu. Tačiau prognozuojančių kintamųjų paklaidų neišvengiama ir jas sunku sumažinti daugelyje sričių, pavyzdžiui, kalibruojant [3].

#### 1.4.2. Taikymo pavyzdys

Toliau pateiktame sukamame centriniame sudėtiniame dizaine (CCD) pateikiamas [21] naudojamas duomenų rinkinys, norint iliustruoti kintamųjų paklaidų modelį. Duomenys susideda iš trijų centruotų ir pakeistų skalės valdymo kintamųjų: sandarinimo temperatūra ( $x_1$ ), aušinimo baro temperatūra ( $x_2$ ) ir polietileno priedo procentinė dalis ( $x_3$ ) bei reakcijos išėjimas: bandelės vyniotinio stiprumas gramais kvadratiname colyje. Pagrindinis šiame straipsnyje atliekamo bandymo tikslas buvo rasti faktoriaus lygių derinį, kuris suteikia numatomą reakcijos vertę nejudančiame taške. Norint sukurti nepriklausomų kintamųjų paklaidas, trijuose nepriklausomuose kintamuosiuose atitinkamai buvo generuojami 20 nepriklausomų normaliai paskirstytų paklaidų, kurių uždelsimas yra 0 ir standartinis dispersija  $\sigma = 1$ . Tikroji vertė, vertė su paklaidomis numatamuosiuose kintamuosiuose ir pirminė reakcija pateikta 7 lentelėje.

Svarbesnė situacija yra reakcijos optimizavimas norint nustatyti stacionaraus taško vietą. Naudojant kintamųjų paklaidų modelį, mažiausių kvadratų procedūra suteikia antrosios eilės reakcijos funkciją:

$$\hat{y} = 8.786 - 1.309x_1 + 0.077x_2 + 0.429x_3 - 0.074x_1^2 - 0.279x_2^2 + 0.071x_3^2 - 0.508x_1x_2 + 0.449x_1x_3 + 0.350x_2x_3 \quad (16)$$

Dispersijos analizė pateikiama 7 lentelėje. Šioje lentelėje programinės įrangos paketas apskaičiuoja modelio tiesinių, kvadratinių ir sąveikos terminų kvadratų sumas. Remiantis terminų  $P$  reikšmėmis, kvadratinių, sąveikos terminų  $F$  testas nėra reikšmingas, kuris akivaizdžiai skiriasi nuo gautų rezultatų iš tikrųjų verčių. Tuo tarpu dauginio nustatymo koeficientas  $R^2$  ir pakoreguotas  $R^2$  nėra patenkinamas. Todėl  $R^2$  yra lygi nuliui. Norint teisingai palyginti regresijos koeficientus ir optimalią vertę, atsižvelgiama į visą modelį.

Stacionarus taškas apskaičiuojamas pagal montavimo modelį

$$x_s = [5.799, -7.282, -3.411] \quad (17)$$

Prognozuojamas reakcija stacionariame taške, kuri suteikia regresijos modelis, yra 3,978.

Originalus modelis yra

$$\hat{y} = 10.165 - 1.1036x_1 + 0.0872x_2 + 1.020x_3 - 0.760x_1^2 - 1.042x_2^2 - 1.148x_3^2 - 0.350x_1x_2 - 0.500x_1x_3 + 0.150x_2x_3 \quad (18)$$

Nejudantis taškas yra [-1.011, 0.260, 0.681], o didžiausias taške yra 11.08.

Galiausiai lyginant abu modelius matoma, kad nepriklausomų kintamųjų paklaidos daro didelę įtaką modelio pritaikymui ir optimizavimui. Dėl jų blogai apskaičiuojami regresijos koeficientai arba nustatyta didelė eksperimentinė paklaida, o tai taip pat padidina regresijos koeficientų dispersijas. Tuo pačiu metu valdymo kintamųjų optimali veikimo sąlyga yra toli nuo pradinės optimalios sąlygos, kuri ir buvo ieškoma. Be to, sunaikintos sukamos CCD savybės, tokios kaip ortogonalumas, pasukamumas. Deja paklaidos labai iškraipo reakcijos ir nepriklausomų kintamųjų santykį.

7 lentelė. CCD ir vario cementavimo išėiga

	Faktorių santykinės vertės			Faktorių absoliutinės vertės su paklaidomis			Stebimas išėjimas
	X <sub>i1</sub>	X <sub>i2</sub>	X <sub>i3</sub>	X <sub>i1</sub>	X <sub>i2</sub>	X <sub>i3</sub>	
1	-1	-1	-1	0.121	-2.335	-0.526	6.6
2	1	-1	-1	0.927	-0.259	-0.323	6.9
3	-1	1	-1	-0.912	1.473	-1.595	7.9
4	1	1	-1	1.540	1.166	0.633	6.1
5	-1	-1	1	0.145	-0.782	1.355	9.2
6	1	-1	1	3.436	-1.176	0.951	6.8
7	-1	1	1	-0.142	1.531	1.299	10.4
8	1	1	1	0.309	-0.215	0.990	7.3
9	-1.682	0	0	-0.617	-0.475	0.952	9.8
10	1.682	0	0	3.037	0.998	1.222	5.0
11	0	-1.682	0	-0.533	-2.148	0.219	6.9
12	0	1.682	0	-0.279	-0.147	-1.027	6.3
13	0	0	-1.682	1.333	0.511	-2.677	4.0
14	0	0	1.682	0.607	1.599	1.473	8.6
15	0	0	0	-1.983	-0.050	1.040	10.1
16	0	0	0	-0.073	0.908	0.624	9.9
17	0	0	0	-1.265	-0.228	-1.641	12.2
18	0	0	0	-0.038	-0.513	-0.290	9.7
19	0	0	0	-0.040	-1.526	0.152	9.7
20	0	0	0	-0.104	1.365	-1.039	9.6



8 lentelė. Duonos pakuotojų atsargų duomenų dispersijos analizė su kontrolės veiksnių paklaidomis

Variacijos šaltinis	Kvadratų suma	Laisvės rodiklis	Koreguota kvadrato suma	Koreguota vidutinė kvadrato suma	F	P
Regresija	58.2474	9	58.2474	6.4719	2.71	0.068
Linijinė	43.6661	3	27.9259	9.3087	3.89	0.044
Kvadratinė	3.4235	3	2.8159	0.9387	0.39	0.761
Sąveika	11.3378	3	11.3378	3.7793	1.58	0.255
Paklaidos	23.9226	10	23.9226	2.3923		
Bendra	82.1700	19				

### 1.4.3. Tarpinės išvados

Šiame straipsnyje prognozuojamų kintamųjų paklaidų įtaka modelio pritaikymui tiriama pasukamoje CCD. Iš pateiktų modelių galima pastebėti, kad matavimo paklaidų atveju, jos labai iškraipo gaunamus rezultatus bei CCD praranda savo savybes, o taip pat turi paklaidą nuo įprastų mažiausių kvadratų. Iš to galime daryti išvadą, jog taikyti CCD optimizavimui nėra pravartu kuomet yra didelės nepriklausomų kintamųjų paklaidos, nes CCD praranda savo savybes.

## 2. Eksperimentų imitatoriaus statistinis tyrimas

### 2.1. Tyrimo variantų generavimas

Buvo atliekamas naujų tyrimo variantų generavimas/sukūrimas siekiant praplėsti esamą variantų skaičių, jog studentų darbai nesikartotų ir juos būtų galima ilgiau naudoti studijų procese.

Pats naujų variantų generavimas buvo atliekamas remiantis dabartiniu *Matlab* programiniu kodu, senesniais variantų duomenimis bei eksperimentais, kuriuose yra taikomas reakcijų paviršiaus metodas tam, kad atliekant eksperimentus būtų gaunami kuo panašesni duomenys į tyrimus atliekamus laboratorijose tam, kad studentai galėtų labiau įsigilinti bei suprasti tokių bandymų prasmę ir įgauti teisingos patirties tokiose srityse. Taip duomenų bazė buvo praplėsta papildomais 60 variantų. Taip pat, kad išgauti kuo tikslesnius rezultatus visi variantai buvo testuojami po 1000 iteracijų.

Kaip yra pateikiama [3] [4] [7][14][15] šaltiniuose šiuos tyrimus galima atlikti ir su 6-iais, 3-imis bei 2-iem faktoriais. Tačiau šiuo tyrimu buvo bandoma tikrinti 4 faktorių darbą.

### 2.2. Eksperimentinio tyrimo vidutinių reikšmių ir modeliavimo rezultatų skaičiavimas

Eksperimentinio tipo priklausomybei aprašyti parenkamas tokios struktūros antros eilės polinominis modelis (19):

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n a_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_i x_j \quad (19)$$

9 lentelė. Ortogonalusis kompozicinis eksperimentų planas ir rezultatai

Plano tipas	Eksp. Nr.	Eksperimentų planas (faktorių vertės normuotame mąstelyje)				Pakartotinių eksperimentų rezultatai		Vidutinė vertė
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	
PFE planas	1	+1	+1	+1	+1	41.0843	43.9288	42.51
	2	-1	+1	+1	+1	77.6832	76.2008	76.94
	3	+1	-1	+1	+1	31.0679	31.7753	31.42
	4	-1	-1	+1	+1	68.9740	68.2367	68.61
	5	+1	+1	-1	+1	89.6344	93.6307	91.63
	6	-1	+1	-1	+1	93.7754	93.0568	93.42
	7	+1	-1	-1	+1	79.8361	78.9978	79.42
	8	-1	-1	-1	+1	81.3211	82.7920	82.06
	9	+1	+1	+1	-1	53.4832	53.4907	53.49
	10	-1	+1	+1	-1	87.0607	85.3482	86.20
	11	+1	-1	+1	-1	25.1727	26.0049	25.59
	12	-1	-1	+1	-1	59.2142	59.7117	59.46
	13	+1	+1	-1	-1	100.5831	99.6441	100.11
	14	-1	+1	-1	-1	102.4381	101.4527	101.95

9 lentelės tęsinys

Plano tipas	Eksp. Nr.	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>vid</sub>
PFE planas	15	+1	-1	-1	-1	73.0503	71.1952	72.12
	16	-1	-1	-1	-1	74.9803	76.1617	75.57
Žvaigždiniai taškai	17	+1	0	0	0	84.9473	85.1837	85.07
	18	-1	0	0	0	109.0429	113.0373	111.04
	19	0	+1	0	0	109.0352	108.0508	108.54
	20	0	-1	0	0	82.1602	79.3515	80.76
	21	0	0	+1	0	76.3035	76.1767	76.24
	22	0	0	-1	0	121.5420	121.5362	121.54
	23	0	0	0	+1	40.5306	40.9549	40.74
24	0	0	0	-1	43.5187	41.7206	42.62	
Plano centras	25	0	0	0	0	122.8872	121.7101	122.3

Pagal sudarytą ortogonalų kompozicinį planą (9 lentelė) yra apskaičiuojami visi galimi eksperimento rezultatai ir vidutinės jų vertės. Tuomet taikant (20) apskaičiuojami modelio parametrai bei su gautais duomenimis yra skaičiuojamas proceso išėjimo eksperimentinės vertės pagal matematinį modelį (19).

$$A = [F^T F]^{-1} F^T Y \quad (20)$$

čia A yra modelio parametrų vektorius, o F yra modelio nepriklausomų kintamųjų matrica:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{11}^2 & \dots & x_{11}x_{21} & \dots & x_{n-1,1}x_{n1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1N} & \dots & x_{1N}^2 & \dots & x_{1N}x_{2N} & \dots & x_{n-1,N}x_{nN} \end{bmatrix};$$

Y yra eksperimentų rezultatų vektorius,  $Y = [y_1 \dots y_N]^T$ ; o N atitinka eksperimentinių taškų skaičių.

Modelio adekvatumas ir parametrų reikšmingumas įvertinami atliekant modelio statistinį tyrimą [7], [23-24]. Reakcijos paviršių patogų analizuoti, paviršiaus pobūdį atvaizduojant grafiškai. Šiame tyrime naudojamas reakcijos paviršių atvaizdavimas izolinijomis (pastovių reakcijos verčių linijomis). Gavus proceso išėjimo eksperimentines vertes yra tikrinamas modelio adekvatumas naudojant Fišerio kriterijų (21):

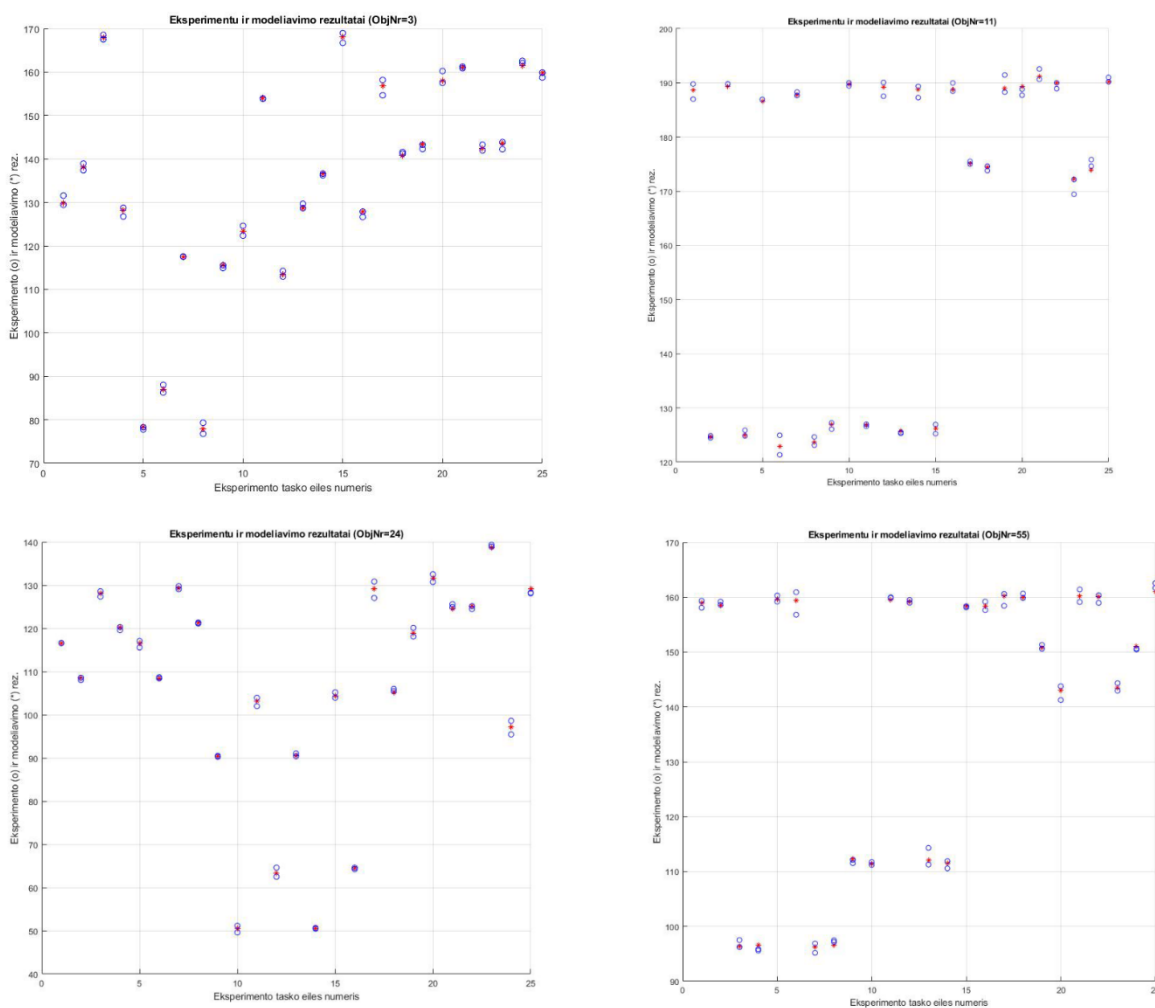
$$F = \frac{S_m^2}{S_e^2} = \frac{S_D}{\frac{S_E}{\varphi_2}} \quad (21)$$

Kur  $S_D$  yra kvadratų suma, charakterizuojančių modelio adekvatumą, o  $S_E$  yra kvadratų suma, charakterizuojančių modelio paklaidas. Taip pat kiekviename iš 25 eksperimentų plano taškų atlikta po 2 pakartotinius bandymus.

Atlikus bandymus bei hipotezės patikrinimo reikšmingumo lygiui esant  $\alpha = 0.05$  ir laisvės laipsnių skaičiams  $\phi_1 = 10$  ir  $\phi_2 = 3$  Fišerio pasiskirstymo lentelėje randama kritinė vertė  $\varepsilon = 8,79$  [30], buvo pastebėta, jog  $\pm 99\%$  visų modelių yra adekvatūs, keletas iš jų pateikti 10 lentelėje, o taip pat statistiškai reikšmingų parametrų skaičius pagrindė varijuoja tarp 9-12, tačiau pasitaiko ir po 8, 13 bei 14 statistiškai reikšmingų faktorių keliuose bandymuose.

Dėl eksperimento plano ortogonalumo savybių, atmetus nereikšmingus modelio parametrus, kitų parametrų vertės lieka nepakitusios. Tuomet iš gautų modelio parametrų apskaičiuojami eksperimentų ir modelio rezultatai.

Gauti eksperimento ir modeliavimo rezultatai pateikiami paveiksle:



2.1 pav. 3,11, 24 ir 55 variantų eksperimentinio tyrimo vidutinių reikšmių ir modeliavimo rezultatų palyginimas.

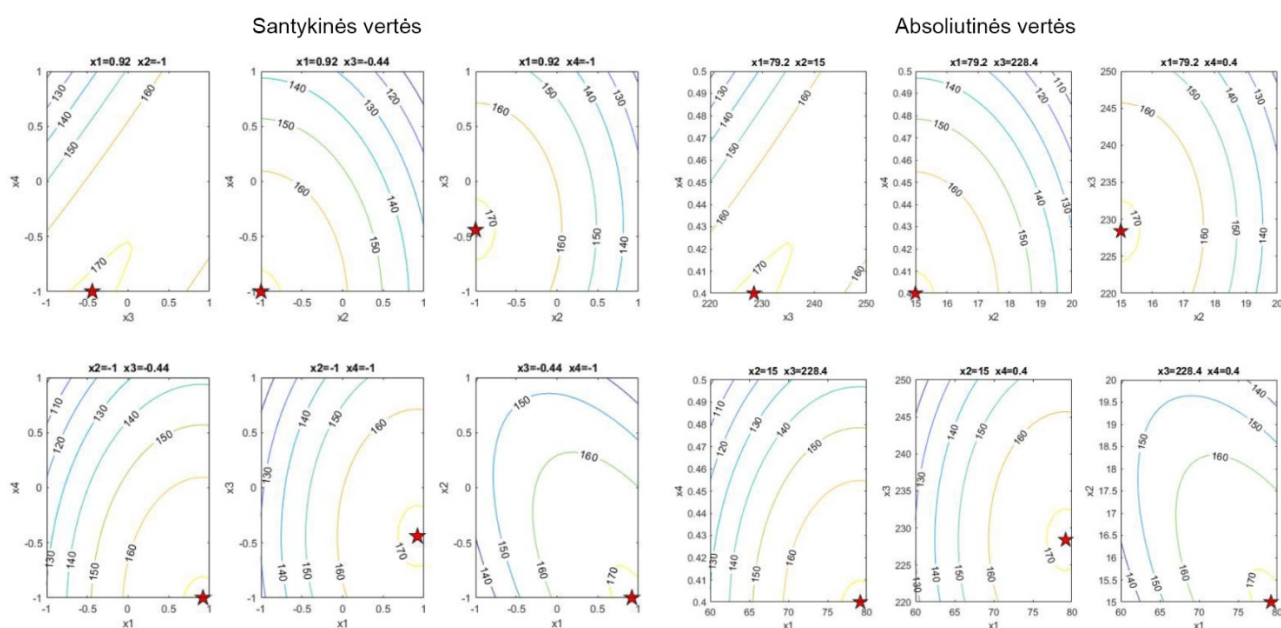
Iš gautų tyrimų vidutinių reikšmių ir modeliavimo rezultatų grafikų, ekstremumo paviršių, izolinių paieškos srityse bei modelių lygčių galima pastebėti, kad 11 ir 55 variantų faktorių priklausomybė yra vyraujanti tiesinio pobūdžio, o 3 ir 24 variantų faktorių priklausomybė vyrauja ekstreminio pobūdžio.

### 2.3. Eksperimentinių tyrimų ir reakcijos paviršių ekstremumo koordinatinių nustatymas

Apskaičiuoti reakcijos paviršiaus pjūvio vaizdai šalia numatomo ekstremumo taško, būdingiausi atvejai yra pateikti 2.2-2.5 paveiksluose. Taip pat 2.5 paveiksle parodyta reakcijos paviršiaus forma, kai ekstremumo taškas yra eksperimentinės plano srityje viduje. O 2.2-2.4 paveiksluose yra matomas ekstremumo taškai nutolę nuo plano centro arba ties plano kraštais. Tačiau numatomas optimalus taškas priklauso nuo modelio (19) parametrų reikšmių, kurie yra identifikuojami naudojant tam tikrą eksperimentų duomenų rinkinį. Kurio pagalba yra pateikiami vaizdai tik kuomet yra randami ekstremumo taškai.

10 lentelė. Eksperimentinių tyrimų faktorių vertės ekstremumo taškuose, eksperimentų rezultatai ir modelių adekvatumai

Var. Nr.	Faktorių santykinės vertės				Faktorių absoliutinės vertės				Eksperimento rezultatai	Modelio adekvatumas (%)
	X1	X2	X3	X4	X1	X2	X3	X4	Y	F<ξ
3	0,92	-1	-0,44	-1	79,2	15	228,4	0,4	171,075	99
11	-0,12	0	1	-0,13	0,232	0,9	100	27,175	191,256	99,5
24	0,22	-0,79	-0,06	0,84	16,88	42,1	0,397	292	141,629	99,2
55	0,08	0,23	-0,02	0,09	13,62	0,446	98	3,545	161,238	98,7

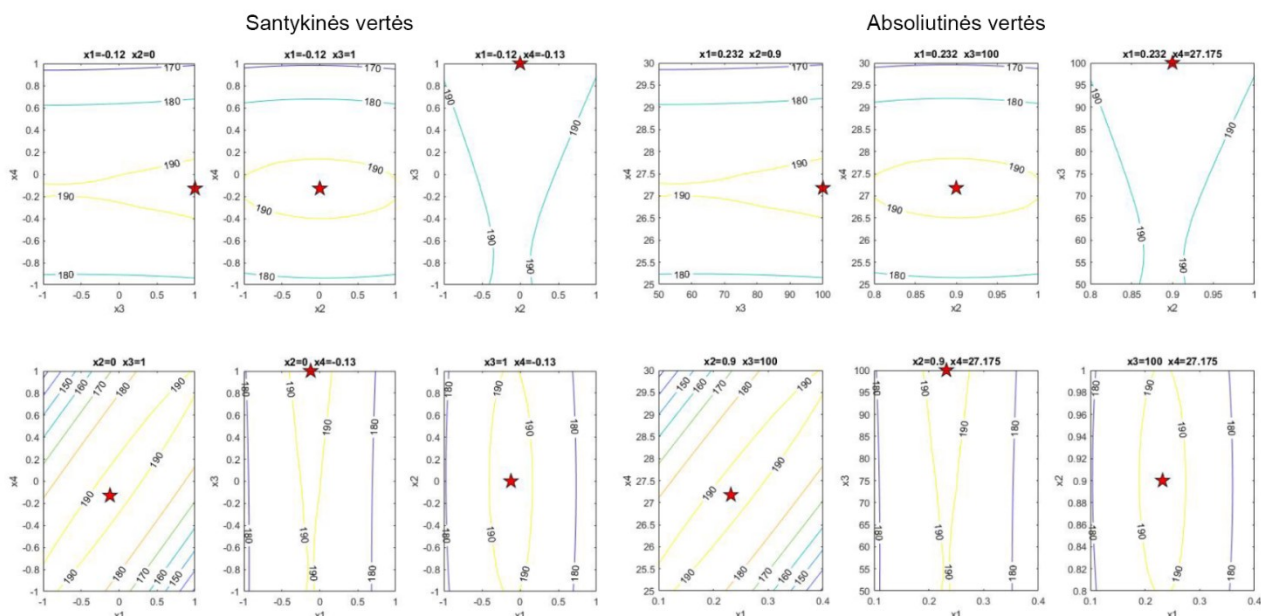


2.2 pav. Reakcijos paviršiaus pjūviai ekstremumo taško aplinkoje, santykinės ir absoliutinės 3 varianto faktorių vertėmis

Remiantis eksperimentiniais duomenimis, buvo nustatytas toks reakcijos paviršiaus modelis 3 varianto numeriui atmetus nereikšmingus parametrus:

$$Y = 160.677 + 8.051x_1 - 7.569x_2 + 8.935x_3 - 8.753x_4 - 10.702x_1^2 - 9.983x_2^2 - 7.900x_3^2 - 7.187x_4^2 - 12.087x_1x_2 + 0x_1x_3 + 0x_1x_4 + 0x_2x_3 + 0x_2x_4 + 15.637x_3x_4 \quad (22)$$

kur Y yra numatoma reakcija,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  ir  $x_4$  yra pradinės faktorių vertės. Modeliu pagrįstos prognozės eksperimentinio dizaino matricos taškai pateikti 10 lentelėje. Numatomas optimalus taškas skalėje su esamomis tikrosiomis vertėmis:  $x_1 = 79,2$ ;  $x_2 = 15$ ;  $x_3 = 228,4$ ;  $x_4 = 0,4$ . Ekstremumo taškas yra randamas ant paieškos intervalo krašto pagal  $x_1$ ,  $x_2$  ir  $x_4$  faktorius. Taip pat gautuose pjūviuose yra matoma tarpusavio sąveika tarp  $x_3$  ir  $x_4$  faktorių bei visi faktoriai yra reikšmingi reakcijos paviršiui. Šiame modelyje vyrauja ekstreminio pobūdžio priklausomybė dėl didelės tiesinių ir kvadratinių narių įtakos.

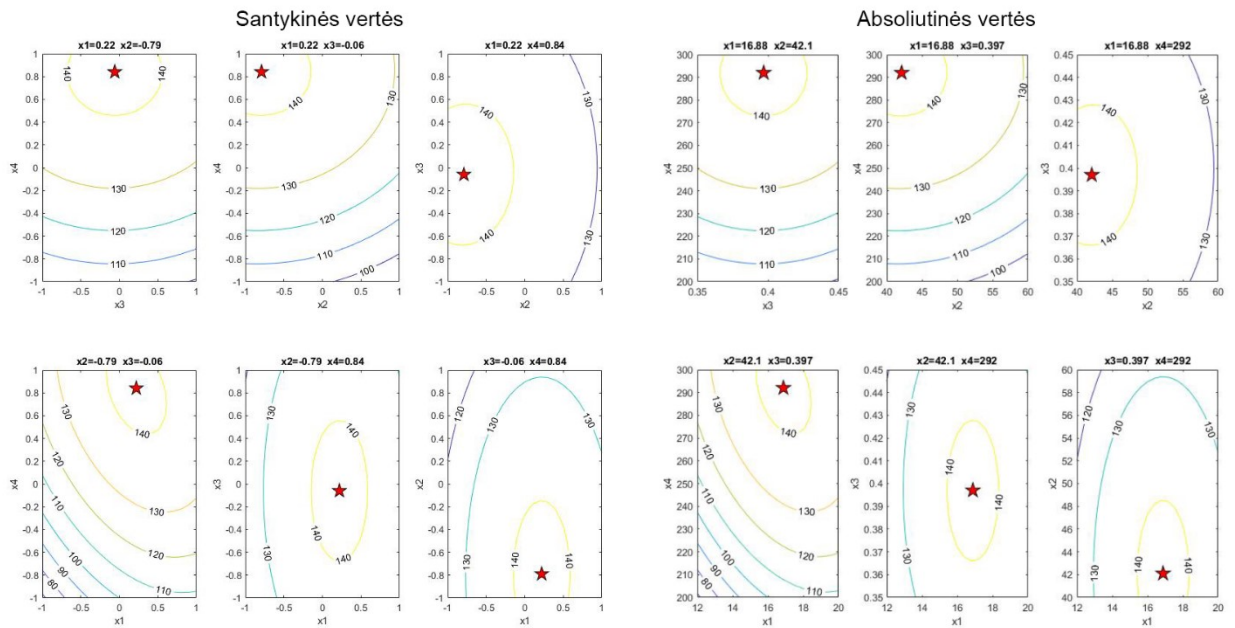


2.3 pav. Reakcijos paviršiaus pjūviai ekstremumo taško aplinkoje, santykinės ir absoliutinės 11 varianto faktorių vertėmis

Pagal gautus eksperimento duomenis, sudaryta modelio lygtis 11 varianto modeliui atmetus nereikšmingus parametrus:

$$Y = 190.233 + 0x_1 + 0x_2 + 0.629x_3 - 0.851x_4 - 15.434x_1^2 - 1.085x_2^2 + 0x_3^2 - 17.147x_4^2 + 0x_1x_2 + 0x_1x_3 + 31.702x_1x_4 + 0x_2x_3 + 0x_2x_4 + 0x_3x_4 \quad (23)$$

Numatomas optimalus taškas skalėje su esamomis tikrosiomis vertėmis (10 lentelė). Ekstremumo taškas yra randamas paieškos intervalo krašte pagal  $x_3$  faktorių. Taip pat gautuose pjūviuose yra matoma labai stipriai išreikšta tarpusavio sąveika tarp  $x_1$  ir  $x_4$  faktorių. Tuo tarpu faktoriai  $x_2$  ir  $x_3$  turi labai mažą įtaką arba yra visiškai nereikšmingi reakcijos paviršiui. Šiame modelyje vyrauja tiesinio pobūdžio priklausomybė dėl didelės tarpusavio sąveikos tarp  $x_1$  ir  $x_4$  faktorių bei dėl mažos tiesinių narių įtakos.

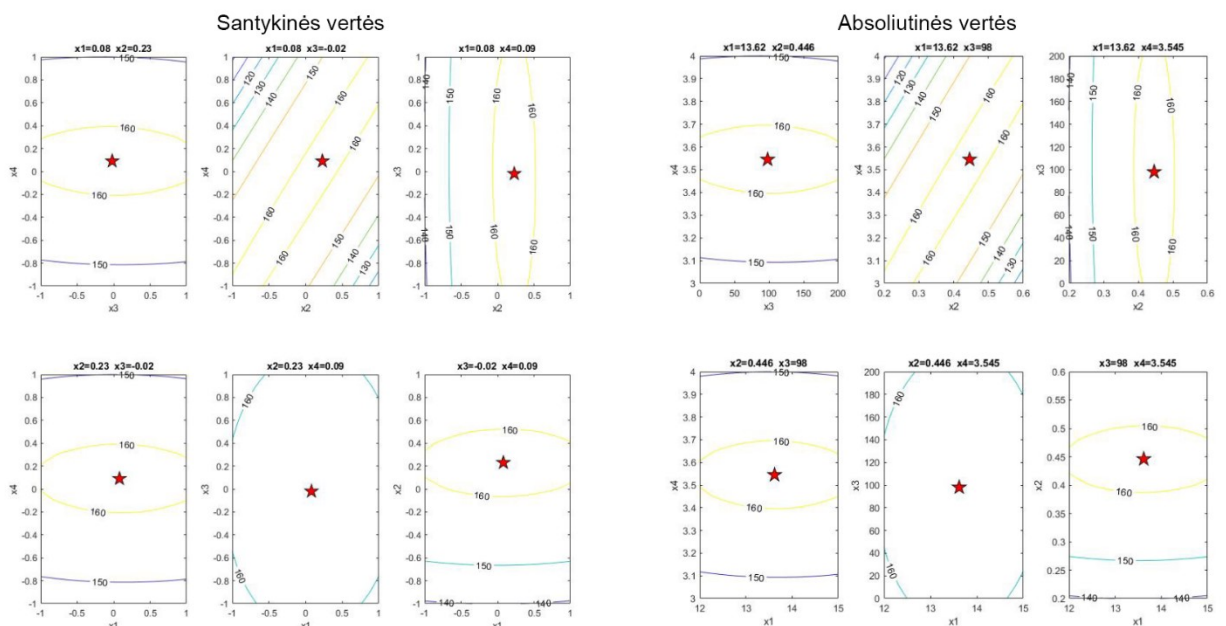


2.4 pav. Reakcijos paviršiaus pjūviai ekstremumo taško aplinkoje, santykines ir absolutines 24 varianto faktorių vertėmis

Pagal gautus eksperimento duomenis, sudaryta modelio lygtis 24 varianto modeliui atmetus nereikšmingus parametrus:

$$Y = 129.105 + 11.955x_1 - 6.378x_2 + 0x_3 + 20.720x_4 - 11.931x_1^2 - 3.889x_2^2 - 4.224x_3^2 - 11.182x_4^2 + 0x_1x_2 + 0x_1x_3 - 7.964x_1x_4 + 0x_2x_3 + 0x_2x_4 + 0x_3x_4 \quad (24)$$

Numatomas optimalus taškas skalėje su esamomis tikrosiomis vertėmis: (10 lentelė). Ekstremumo taškas yra randamas paieškos intervalo centre pagal  $x_1$  ir  $x_3$  faktorių. Taip pat gautuose pjūvių vaizduose yra matoma labai stiprią tarpusavio sąveika tarp  $x_1$  ir  $x_4$  faktorių. Šiame modelyje vyrauja ekstreminio pobūdžio priklausomybė dėl didelės tiesinių ir kvadratinių narių įtakos.



2.5 pav. Reakcijos paviršiaus pjūviai ekstremumo taško aplinkoje, santykines ir absolutines 24 varianto faktorių vertėmis

Pagal gautus eksperimento duomenis, sudaryta modelio lygtis 55 varianto modeliui atmetus nereikšmingus parametrus:

$$Y = 160.238 + 0x_1 + 3.903x_2 + 0x_3 - 3.772x_4 + 0x_1^2 - 14.032x_2^2 + 0x_3^2 - 13.672x_4^2 + 0x_1x_2 + 0x_1x_3 + 0x_1x_4 + 0x_2x_3 + 27.428x_2x_4 + 0x_3x_4 \quad (25)$$

Numatomas optimalus taškas skalėje su esamomis tikrosiomis vertėmis (10 lentelė). Ekstremumo taškas yra randamas paieškos intervalo centre. Taip pat gautuose pjūvių vaizduose yra matoma tarpusavio sąveika tarp  $x_2$  ir  $x_4$  faktorių. O faktoriai  $x_1$  ir  $x_3$  turi mažą įtaką arba yra nereikšmingi reakcijos paviršiumi. Šiame modelyje vyrauja tiesinio pobūdžio priklausomybė dėl didelės tarpusavio sąveikos tarp  $x_2$  ir  $x_4$  faktorių bei dėl mažos tiesinių ir kvadratinų narių įtakos.

#### 2.4. Ekstremumo taško koordinatinių pasikliautinųjų intervalų ir tikslumo nustatymo tyrimas

Naudojant sugeneruotus statistinius duomenis ( $n = 10^3$ ), 95 % pasikliautinieji intervalai apskaičiuotų optimalių taško koordinatinių vieta  $X_{i,opt}$  įvertinama apskaičiuojant 2,5 ir 97,5 procentiles, atsižvelgiant į imties neapibrėžtumo įverčius. 95 % pasikliautinieji intervalai, skirti nustatyti apskaičiuotuosius procentilius naudojant šio metodo procedūrą [8]:

1)  $n$  imties stebėjimų reitingavimas didėjančia dydžių tvarka;

2) skaičiuojant kvantilių  $q = 0,025$  ir  $q = 0,975$  dydžius  $r_q$  ir  $s_q$ ;

$$r_q = nq - [z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{nq(1-q)}], \quad (23)$$

$$s_q = 1 + nq - [z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{nq(1-q)}], \quad (24)$$

kur  $z_{1-\alpha/2}$  yra atitinkama normalinio pasiskirstymo  $100(1-\alpha/2)$  procentilio vertė iš ( $z_{0,975}=1,96$ );

3)  $r_q$  ir  $s_q$  yra apvalinami iki artimiausių sveikųjų skaičių;

4)  $r_q$  ir  $s_q$  stebėjimai nustato  $100(1-\alpha)$  pasikliautinąjį kvantilio intervalą.

Tiriams statistiniams duomenims skaičiuoti dydžiai, apibrėžiantys pasitikėjimo ribas optimalaus taško įvertinimo intervaluose, yra  $r_{0,025} = 15$  (25) ir  $s_{0,975} = 986$  (26). Apskaičiuoti pasikliautinųjų intervalų ribos ( $L^*$  atitinka apatinę intervalo ribą, o  $U^*$  atitinka viršutinę intervalo ribą) yra pateiktos 11 lentelėje bei jų grafikai 2.6-2.8 pav..

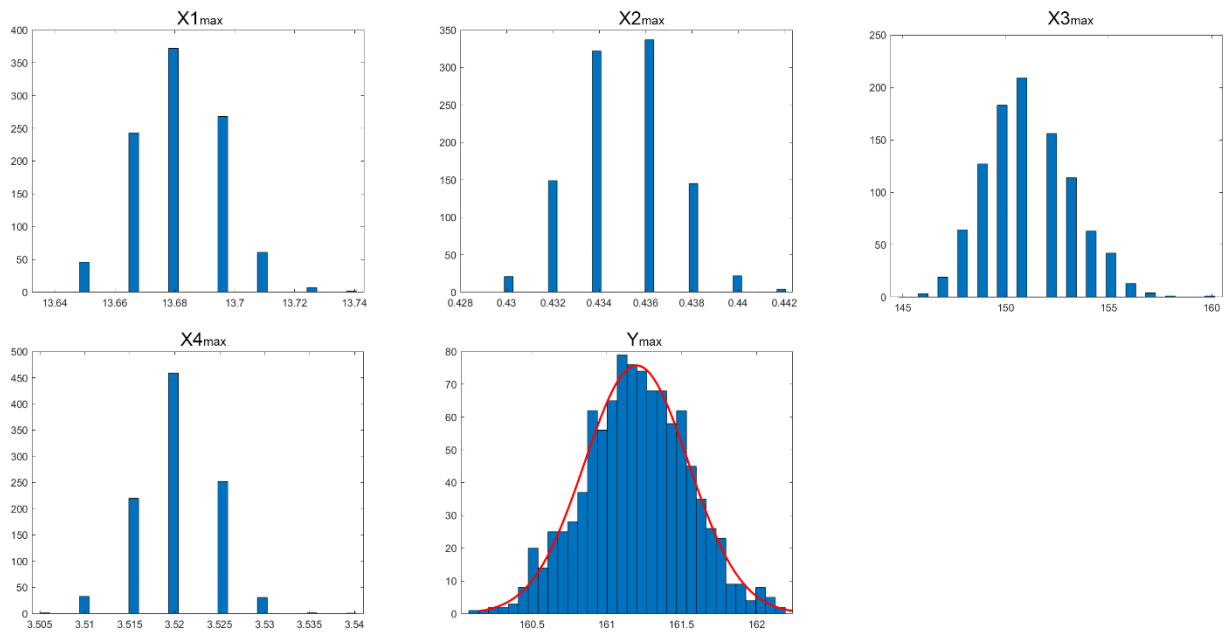
$$r_{0,025} = 1000 * 0,025 - [1,96 \times \sqrt{1000 * 0,025(1 - 0,025)}] = 15,32 \approx 15, \quad (25)$$

$$s_{0,975} = 1 + 1000 * 0,975 - [1,96 \times \sqrt{1000 * 0,975(1 - 0,975)}] = 985,67 \approx 986, \quad (26)$$

11 lentelė. Ekstremumo taško koordinatinių pasikliautinieji intervalai

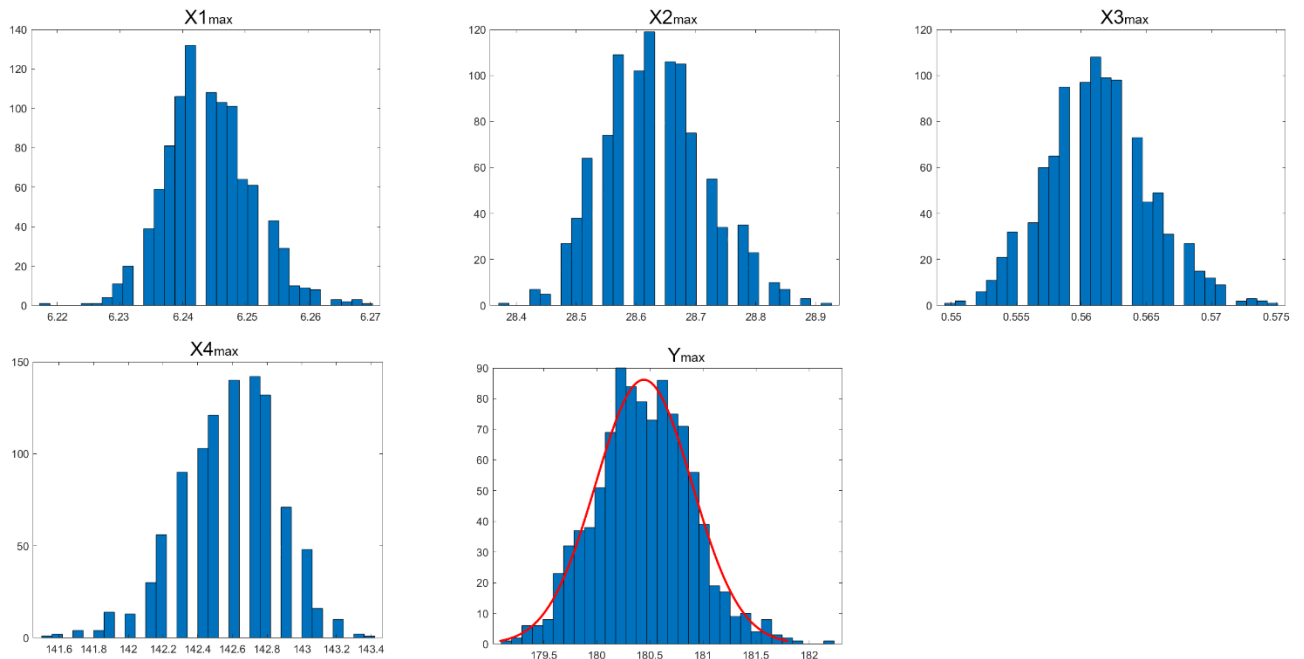
Obj. Var. Nr.	Apatinės ir viršutinės 95% pasikliautinųjų intervalų vertės														
	X <sub>1,opt.</sub>			X <sub>2,opt.</sub>			X <sub>3,opt.</sub>			X <sub>4,opt.</sub>			Y <sub>opt.</sub>		
	L <sub>X1</sub>	U <sub>X1</sub>	U <sub>X1</sub> - L <sub>X1</sub>	L <sub>X2</sub>	U <sub>X2</sub>	U <sub>X2</sub> - L <sub>X2</sub>	L <sub>X3</sub>	U <sub>X3</sub>	U <sub>X3</sub> - L <sub>X3</sub>	L <sub>X4</sub>	U <sub>X4</sub>	U <sub>X4</sub> - L <sub>X4</sub>	L <sub>Y</sub>	U <sub>Y</sub>	U <sub>Y</sub> - L <sub>Y</sub>
9	7,4	7,45	0,05	23,5	23,6	0,1	168	169	1	0,036	0,037	0,001	169,301	171,051	2,021
21	0,175	0,18	0,005	81,5	82,5	1	9,5	10	0,5	0,06	0,07	0,01	150,892	152,656	1,764



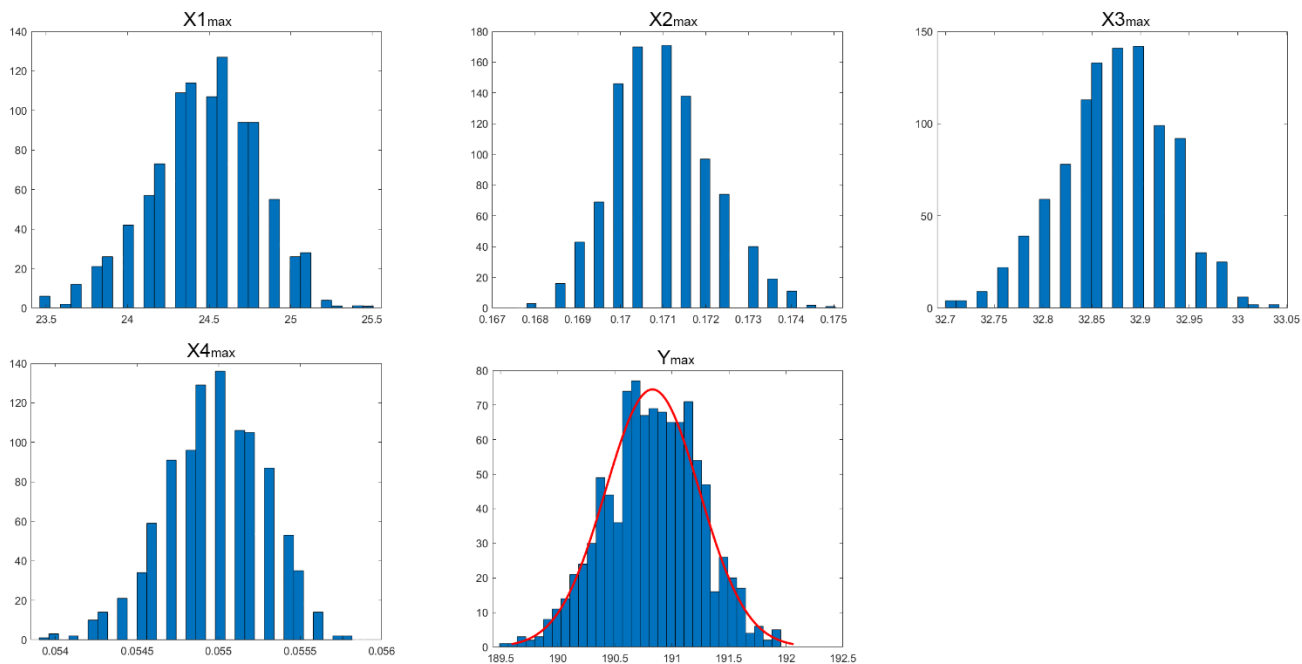


2.6 pav. 56 varianto maksimumo taško koordinatų histogramos

Atlikus tyrimą bei gavus maksimumo taškų histogramas (2.6pav.) buvo atlikti padidinto tikslumo maksimumo taškų paieška, sumažinus paieškos žingsnį iki 0,01. Tikslesnės maksimumo taškų koordinatų histogramos yra vaizduojamos 2.7-2.8 paveiksluose.



2.7 pav. 9 varianto maksimumo taško koordinatų histogramos



2.8 pav. 21 varianto maksimumo taško koordinatų histogramos

Iš gaunamų išėjimo rezultatų histogramų galime pastebėti, kad susidaro normalusis skirstinys arba dar kitaip žinomas kaip *Gauso* skirstinio kreivė.

## 2.5. Tyrimo rezultatai

Buvo atliktas eksperimentų imitatoriaus statistinis tyrimas *Matlab* aplinkoje sugeneruotiems naujiems 60-čiai variantų po 1000 pakartotinių bandymų norint gauti kuo tikslesnius rezultatus. Visi bandymų metu gauti rezultatai yra išsaugomi bendrame *Excel* aplanke, taip pat pasirenkant norimą variantą ir bandymą yra parodomi jų duomenys kaip pavaizduota 2.9 pav. bei visų bandymų

Var.Nr.	10	max:60	X1	X2	X3	X4	Ymax
Bandymo Nr.	20	max:1000	26.8	0.27	69.5	222.5	101.114
Reikšmingu parametru skaičius:			11		Rėžiai		
Reikšmingu bandymu skaičius(%):			99.4		26.77277	<X1<	26.82923
					0.267182	<X2<	0.274308
					69.5	<X3<	69.5
					222.5	<X4<	222.5
					100.952	<Y<	101.8144
					Pasikliautinųjų intervalų ribos		
						L	U
					X1	26.8	26.8
					X2	0.27	0.275
					X3	69.5	69.5
					X4	222.5	222.5
					Y	100.9235	101.8616

2.9 pav. Excel lentelės išvedami duomenys

Taip pat tyrimo metu norint gauti reikiamus duomenis pasinaudojus eksperimentinių tyrimų imitatoriaus užduočių variantų generuojamais duomenimis buvo apskaičiuoti modelio parametrai. Taikant Fišerio kriterijų nustatyti modelių adekvatumai ir pastebėta, jog  $\pm 99\%$  visų modelių yra adekvatūs. Taip pat buvo nustatyti parametru reikšmingumai, kurie pagrinde varijuoja tarp 9-12,

tačiau pasitaiko ir atvejų kur statistiškai reikšmingų parametrų skaičius būna 7, 13 bei 14 bandymuose. Taip pat sumodeliuoti reakcijos paviršių ekstremumo taškai. Bei galiausiai kiekvienam užduoties variantui apskaičiuoti ekstremumo taško koordinacių 95% pasikliautinieji intervalai. Iš gautų tyrimų vidutinių reikšmių ir modeliavimo rezultatų grafikų, ekstremumo paviršių, izolinijų paieškos srityse bei modelių lygčių pastebima, kad modelių priklausomybės varijuota tarp tiesinio ir ekstreminio pobūdžio.

### 3. Tyrimų imitatoriaus vartotojo sąsaja

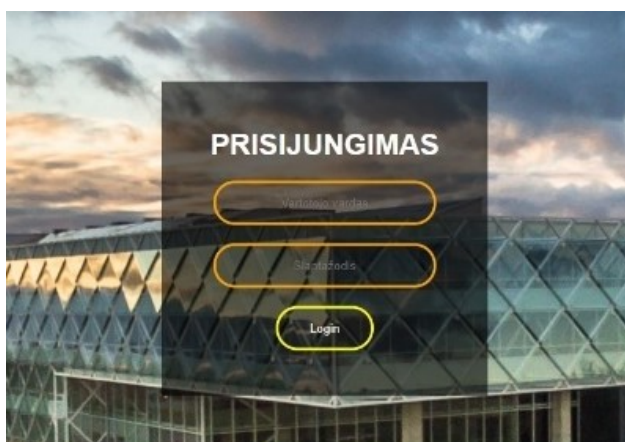
#### 3.1. Atlikta programavimo dalis

##### 3.1.1. Technologinių procesų eksperimentinių tyrimų imitatorius

Norint pagerinti technologinių procesų eksperimentinių tyrimų imitatoriaus kokybę bei palengvinti darbą su juo, buvo nuspręsta jį patobulinti. Todėl buvo nuspręsta jį perkelti iš *Matlab* programinės sistemos į internetinę platformą. Kadangi *Matlab* programinė sistema nėra suderinama su internetinėse platformose naudojama programavimo kalba, buvo priimtas sprendimas eksperimentinių tyrimų imitatoriaus programinį kodą perrašyti su *Java script* programavimo kalba bei pasitelkiant kitų žymėjimų kalbas būtų pilnai veikianti vartotojo sąsaja.

##### 3.1.2. Programinis kodas

Kaip aukščiau minėtame skyrelyje programinis kodas buvo rašomas *Java script* programavimo kalba su kuria naudojant standartinę dokumentų, skirtų rodyti žiniatinklio naršyklėje, žymėjimo kalbą *HTML* bei suteiktas vizualus pavidalas naudojantis *CSS* žymėjimo kalbą.

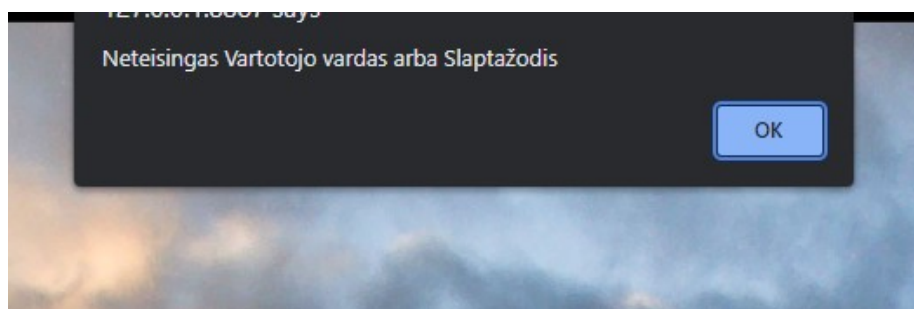


3.1 pav. Vartotojo sąsajos prisijungimo langas

Norint apsaugoti vartotojo sąsają, jog prie jos neprisijunginėtų pašaliniai asmenys buvo sukurta prisijungimo sistema su duomenų baze (3.1 pav.) tam, kad tik studentai ir dėstytojai galėtų prie jo prisijungti bei atlikti reikiamą darbą. Įvedus klaidingus prisijungimo duomenis atsiranda lentelė, kuri informuoja, jog pateikti prisijungimo duomenys buvo klaidingi (3.3 pav.).

```
function validate()
{
    var username=document.getElementById("username").value;
    var password=document.getElementById("password").value;
    if (username=="studentas" && password=="50334")
    {
        window.location.href="page1.html";
    }
    else
    {
        alert("Neteisingas Vartotojo vardas arba Slaptažodis");
    }
}
}
```

3.2 pav. Prisijungimo lango kodas



3.3 pav. Neteisingo prisijungimo klaidos langas

Įvedus teisingus prisijungimo duomenis ir paspaudus mygtuką „*Login*“ vartotojas yra nukreipiamas į pagrindinį puslapį (3.4 pav.), kuriame yra pateiktas imitatoriaus darbo aprašymas, užduoties santrauka bei pagrindinis parinkčių langas nukreipiantis į patį individualaus darbo atlikimo puslapį, paaiškinimų sekciją ir kt.

## Tecnologinių procesų eksperimentinė analizė T125M114

Individualaus darbo aprašas

Individualus darbas

Paaiškinimai

Studentas, gavęs individualią užduotį, sudaro faktorinį eksperimentų planą, skirtą nustatyti tiriamo objekto išėjimo kintamojo priklausomybę nuo kelių (iki 4) įėjimo kintamųjų. Įvedus programoje tyrimų objekto (individualios užduoties) kodą ir konkretaus eksperimento sąlygas iš sudaryto eksperimentų plano, programa sugeneruoja įvestas sąlygas atitinkantį eksperimento rezultatą. Generuodama eksperimentų rezultatus programa taip pat modeliuoja eksperimentų paklaidas – atlikus tose pačiose sąlygose pakartotinius eksperimentus, gauti rezultatai skiriasi nustatytų paklaidų ribose. Atlikęs virtualų eksperimentą, studentas, remiantis gautais rezultatais, sudaro tiriamo objekto statistinį modelį ir atlieka modelio tikslumo ir jo parametrų reikšmingumo statistinį įvertinimą.

INDIVIDUALAUS NAMŲ DARBO UŽDUOTIES PAVYZDYS  
Eksperimentinio tyrimo objektas Nr.55

---- UŽDUOTIS: ----

Sudaryti tiriamo objekto statistinį matematinį modelį įėjimo kintamųjų (faktorijų) kitimo srityje:

$12 \leq X_1 \leq 15$

$0.2 \leq X_2 \leq 0.6$

$0 \leq X_3 \leq 200$

$3 \leq X_4 \leq 4$

1. Sudaryti eksperimentų planą ir atlikti tiriamo objekto eksperimentinį tyrimą;

2. Parinkti modelio struktūrą ir apskaičiuoti parametrų vertes mažiausių kvadratų metodu;

3. Nustatyti modelio lygties reikšmingus parametrus;

4. Iširti modelio adekvatumą;

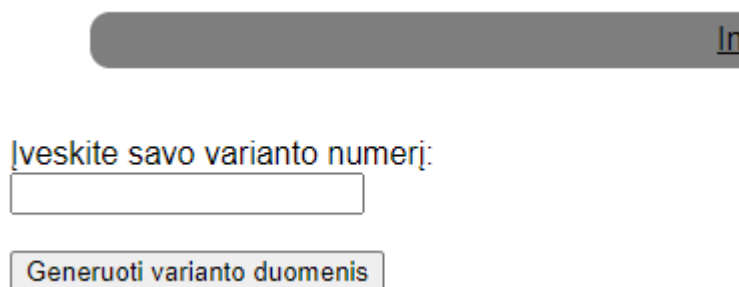
5. Palyginti eksperimentinio tyrimo ir modeliavimo rezultatus (pateikti eksperimentinio tyrimo ir skaičiavimo rezultatų lentelę, diagramą);

6. Grafiškai atvaizduoti modeliuojamą reakcijos paviršių ekstremumo taško aplinkoje.

3.4 pav. Pradinis puslapis

Individualaus darbo atlikimo puslapyje yra įvesties laukelis atliekamo darbo varianto įrašymui (3.5 pav.). Įvedus atliekamo darbo variantą ir paspaudus *Generuoti varianto duomenis* mygtuką atsiranda

iššokantis langas su pateiktais varianto duomenimis - faktoriais (3.6 pav.). Duomenų generavimo kodo dalis yra pateikta 3.7 paveiksle.



The screenshot shows a web interface with a dark header bar containing the text "In". Below the header, there is a label "Įveskite savo varianto numerį:" followed by a text input field. Below the input field is a button labeled "Generuoti varianto duomenis".

3.5 pav. Individualaus darbo puslapis su laukeliu įvesti savo individualaus darbo variantą



3.6 pav. Sugeneruotų duomenų- faktorių pagal parinktą variantą išduodama lentelė

```
function readTextFile() {
  var file = 'http://127.0.0.1:8887/duomenys.txt';
  var index = document.getElementById('index_field').value;

  var rawFile = new XMLHttpRequest();
  rawFile.onreadystatechange = function ()
  {
    if(rawFile.readyState === 4)
    {
      if(rawFile.status === 200 || rawFile.status == 0)
      {
        var headers = ['X1min', 'X1max', 'X2min', 'X2max', 'X3min', 'X3max', 'X4min', 'X4max'] //eilutes
        var text = rawFile.responseText; // read text
        var lines = text.split('\n'); // split into lines
        var values = lines[index].split(' ');
        var node = document.getElementById('output');
        var new_lines = headers.map(function(e, i) {
          return headers[i] + ': ' + values[i];
        });
        allText = new_lines.join('\n'); //values.join('\n');
        alert(allText);
      }
    }
  }
  rawFile.open("GET", file, true);
  rawFile.send();
}
```

3.7 pav. Duomenų generavimo ir pateikimo kodo dalis

Tuomet pagal pateiktus duomenis lentelėje studentai susidaro faktorių ir žvaigždinių taškų lentelę su kurios duomenimis bus atliekami tolimesni tyrimai ir skaičiavimai(3.8 pav.).

Faktoriai	PEE lygiai		Plano centras	Žvaigždiniai taškai	
	$x_i=-1$	$x_i=1$	$x_i=0$	$x_i=-1.414$	$x_i=1.414$
$x_1$	2	3	2.5	1.793	3.207
$x_2$	10	12	11	9.586	12.414
$x_3$	0.5	1.5	1	0.293	1.707
$x_4$	140	160	150	125.86	174.14

3.8 pav. Faktoriai ir jų kitimų lygiai bei apskaičiuoti žvaigždiniai taškai

```
function calculate_result()
{
    var X1 = parseFloat(document.getElementById('num1').value);
    var X2 = parseFloat(document.getElementById('num2').value);
    var X3 = parseFloat(document.getElementById('num3').value);
    var X4 = parseFloat(document.getElementById('num4').value);
    var Y0;
    var result;
    var res_elem = document.getElementById("Y_Reiksme");

    var index = document.getElementById('index_field').value-1;

    var filepath = 'http://127.0.0.1:8887/A_parametrai.txt';
    result = loadFile(filepath);
    var lines = result.split('\n'); // split into lines
    var textArray = lines[index].split(' ');
    var data_A = textArray.map(function(e, i) {
        return parseFloat(textArray[i]);
    });
    console.log(data_A);

    var filepath = 'http://127.0.0.1:8887/R_parametrai.txt';
    result = loadFile(filepath);
    var lines = result.split('\n'); // split into lines
    var textArray = lines[index].split(' ');
    var data_R = textArray.map(function(e, i) {
        return parseFloat(textArray[i]);
    });
    console.log(data_R);

    if (X1 == '' || X2 == '' || X3 == '' || X4 == '') {
        alert('Nėra pakankamai duomenų!');
    }

    else{
        Y0=data_A[0] + data_A[1]*X1 + data_A[2]*X2 + data_A[3]*X3 + data_A[4]*X4 +data_A[5]*X1*X1 + data_A[6]*X2*X2 +
        data_A[7]*X3*X3 + data_A[8]*X4*X4 +data_A[9]*X1*X2 + data_A[10]*X1*X3 + data_A[11]*X1*X4 +data_A[12]*X2*X3 +
        data_A[13]*X2*X4 + data_A[14]*X3*X4;

        result=Y0+data_R*Math.random();
        res_elem.value = result;
        console.log("result: " + res_elem.value);
    }
}
```

3.9 pav. Išėjimo signalo skaičiavimo kodas *Javascript* kalboje

Pagal faktorių ir žvaigždinių taškų lentelę yra sudaromas ortogonalusis kompozicinis eksperimentų planas. Tuomet pagal sudarytą ortogonalųjį kompozicinį planą (2.1 pav) yra surašomos faktorinės vertės į individualaus darbo puslapio antrąją dalį (3.10 pav.), o jei yra neįrašomas bent vienas iš faktorių tuomet vartotojui iššoka lentelė “*nėra pakankamai duomenų*“ (3.11 pav.). Galiausiai nuspaudus mygtuką „*skaičiuoti*“ yra suskaičiuojami rezultatai (3.10 pav.), o skaičiavimo programinis kodas yra pateiktas 2 priede.

Surašytos faktorinės vertės individualaus darbo puslapio antrojoje dalyje (3.10 pav.),

---

X1 reikšmė:

X2 reikšmė:

X3 reikšmė:

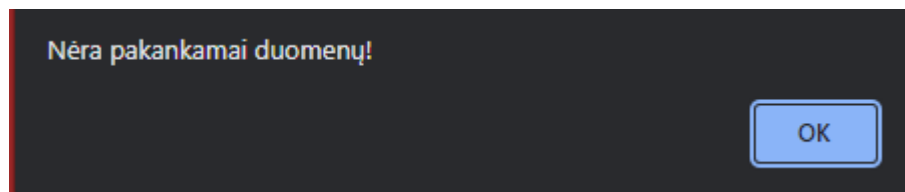
X4 reikšmė:

**Imitatorius**

Y reikšmė:

3.10 pav. Eksperimentų rezultatų skaičiuoklė

kur programa apskaičiuoja proceso išėjimo eksperimentines vertes pagal (19) eksperimentinio tipo priklausomybę, kuri aprašoma 2.2 skyrelyje pagal parinktos struktūros antros eilės polinominį modelį.



3.11 pav. Iššokanti lentelė kuomet trūksta duomenų

### 3.2. Rezultatai

Buvo sukurtas pilnai funkcionali vartotojo sąsaja su parinkčių langu bei atskiru puslapiu studentų skaičiavimams atlikti. Pagrindinė šio darbo dalis buvo integruoti eksperimentinių tyrimų imitatoriaus skaičiavimų programos *Matlab* programinį kodą į vartotojo sąsają, tam pasiekti reikėjo skaičiavimų programą iš *Matlab* programavimo kalbos kodą perdaryti į *Javascript* programavimo kalbą kas ir buvo atlikta bei ištestavus skaičiavimų kodą, jisai pilnai veikė.



## Išvados

1. Išnagrinėti šaltiniai apie faktoringų eksperimentų planavimą ir reakcijos paviršiaus metodų taikymą praktikoje.
2. Matlab aplinkoje sukurta programa identifikuojanti modelį ir apskaičiuojanti reakcijos paviršių ekstremumų koordinates.
3. Panaudoti Eksperimentinių tyrimų imitatoriaus užduočių variantų generuojami duomenys reakcijos paviršių ekstremumo koordinačių pasikliautinųjų intervalų nustatymui. Statistiškai ištyrus buvo pastebėta, kad  $\pm 99\%$  modelių buvo adekvatūs bei reikšmingų parametru skaičius pagrinde varijuoja tarp 9-12, taip pat skiriasi variantų koordinačių histogramos, pasikliautiniai intervalai ir jų pločiai.
4. Sukurta vartotojo sąsają su integruota faktoringų eksperimentų imitatoriaus programa.

## Literatūros sąrašas

- [1] A. E. Şenaras. (2019). Parameter optimization using the surface response technique in automated guided vehicles. *Sustainable Engineering Products and Manufacturing Technologies 2019*, Pages 187-197. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816564-5.00008-6>
- [2] J. Fang, Z. He. (2010). Analysis of Response Surface Designs to Outlier. *2010 International Conference on E-Business and E-Government*, 2010, pp. 2648-2651, <http://dx.doi.org/10.1109/ICEE.2010.669>.
- [3] Shouliang Yi, Yi Sua Benkun Qi, Zhiguo Sua Yinhua Wan. (2010). Application of response surface methodology and central composite rotatable design in optimizing the preparation conditions of vinyltriethoxysilane modified silicalite/polydimethylsiloxane hybrid pervaporation membranes. *Separation and Purification Technology*, 71, 252-262. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.12.005>
- [4] P. Balaz, R.B. LaCount, D.K. Kern, L. Turcaniova. Chemical treatment of coal by grinding and aqueous caustic leaching. *Fuel*, 80 (2001), pp. 665-671. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00146-0)
- [5] Shouliang Yi, Yi Su, Benkun Qi, Zhiguo Su, Yinhua Wan. (2009). Application of response surface methodology and central composite rotatable design in optimizing the preparation conditions of vinyltriethoxysilane modified silicalite/polydimethylsiloxane hybrid pervaporation membranes. *Separation and Purification Technology*, 71(2), 252-262. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.12.005>
- [6] Donatas Levišauskas, Tomas Tekorius (2009). Investigation of the statistical model based optimization accuracy under experimental errors. Case study: Optimization of nutrient media for microorganisms' cultivation process. ISSN 1392 – 124X INFORMATION TECHNOLOGY AND CONTROL, 2009, Vol.38, No.3.
- [7] D.C. Montgomery. *Design and analysis of experiments*. (8th ed.), John Wiley and Sons, New York (2014). 521-534. Prieiga per internetą: <https://books.google.lt/books?id=Py7bDgAAQBAJ&lpg=PA1&ots=X7r-s3JS-5&lr&hl=lt&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- [8] D.A. Altman (Editor). *Statistics with Confidence*. London, GBR: BMJ Publishing Group, 2000.
- [9] Mohammadi, Reza, Mohammadifar, Mohammad Amin, Mortazavian, Amir Mohammad, Rouhi, Milad, Ghasemi, Jahan B, & Delshadian, Zohre. (2016). Extraction optimization of pepsin-soluble collagen from eggshell membrane by response surface methodology (RSM). *Food Chemistry*, 190, 186-193. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0308814615008080?via%3Dihub>.
- [10] Zhang, Rui, Xu, Nan, Wang, Yue, Liu, Xungao, Wang, Shuling, & Cao, Jun. (2020). Metal-organic framework assisted matrix solid-phase dispersion microextraction of saponins using response surface methodology. *Electrophoresis*, 41(15), 1354-1363. Prieiga per internetą: <https://doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1002/elps.202000042>
- [11] Ghafari, Shahin, Aziz, Hamidi Abdul, Isa, Mohamed Hasnain, & Zinatizadeh, Ali Akbar. (2009). Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation-flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. *Journal of Hazardous Materials*, 163(2), 650-656. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.090>

- [12] Yan Wu, Steve W. Cui, Jian Tang, Xiaohong Gu. (2007). Optimization of extraction process of crude polysaccharides from boat-fruited sterculia seeds by response surface methodology. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.066>
- [13] Chun-Lin Ye, Cheng-Jun Jiang. Optimization of extraction process of crude polysaccharides from *Plantago asiatica* L. by response surface methodology. (2010). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.014>
- [14] J. N. Sahu, Jyotikusum Acharya, B. C. Meikap. (2009). Response surface modeling and optimization of chromium(VI) removal from aqueous solution using Tamarind wood activated carbon in batch process. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.075>
- [15] V. Gunaraj, N. Murugan. (1999). Application of response surface methodology for predicting weld bead quality in submerged arc welding of pipes. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00405-1](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00405-1)
- [16] Sen, R. (1997). Response surface optimization of the critical media components for the production of surfactin. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 68(3), 263-270. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199703\)68:3<263::AID-JCTB631>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199703)68:3<263::AID-JCTB631>3.0.CO;2-8)
- [17] B. Liu, J. Chen and C. Dong. (2017). Optimization of ultrasonic extraction of liquiritin by response surface methodology. *Chinese Automation Congress (CAC)*, 2017, pp. 5730-5734. <http://dx.doi.org/10.1109/CAC.2017.8243806>
- [18] K. Koyamada, K. Saki, T. Itoch. (2004). Parameter optimization technique using the response surface methodology. *The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2004, pp. 2909-2912. <http://dx.doi.org/10.1109/IEMBS.2004.1403827>
- [19] T. Abuzairi, S. Ramadhanty. (2018). Analysis of Small-Scale Electrohydrodynamic Drying Device for Rough Rice using Response Surface Methodology. *2018 4th International Conference on Nano Electronics Research and Education (ICNERE)*, 2018, pp. 1-5. <http://dx.doi.org/10.1109/ICNERE.2018.8642596>
- [20] Y. Im, S. Hwang, S. Jang, J. Choi, J. Choi. (2012). Analysis of Torque Pulsation Considering Interior Permanent Magnet Rotor Rib Shape Using Response Surface Methodology. in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 48, no. 2, pp. 979-982, Feb. 2012, <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2011.2176534>
- [21] J. Fang, Z. He. (2010). Parameter Estimation in RSM Taking into Account Errors in Independent Variables. *2010 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 2010, pp. 183-186. <http://dx.doi.org/10.1109/ICIII.2010.366>
- [22] L. Sinopoli, M. Ordonez, J. E. Quaiocoe. (2010). Wind turbine rotor modelling using response surface methodology. *CCECE* 2010, 2010, pp. 1-5. <http://dx.doi.org/10.1109/CCECE.2010.5575133>
- [23] Хартман, К., Лецкий, Э., Шефер, В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. Москва, Мир, 1977, 552 с.
- [24] Levišauskas, D., Tekorius, T. Eksperimentinių tyrimų planavimas. Mokomoji knyga. Kaunas, Technologija, 2007, 89 psl.
- [25] R. Azargohar, A.K. Dalai. Production of activated carbon from Luscar char: experimental and modeling studies. *Micropor Mesopor Mater*, 85 (2005), pp. 219-225.

- [26] Sushanta Kumar Behera, Himanshu Meena, Sudipto Chakraborty, B.C. Meikap. Application of response surface methodology (RSM) for optimization of leaching parameters for ash reduction from low-grade coal. *J Hazard Mater*, 182 (2010), pp. 603-610
- [27] P. Balaz, R.B. LaCount, D.K. Kern, L. Turcaniova. Chemical treatment of coal by grinding and aqueous caustic leaching. *Fuel. International Journal of Mining Science and Technology*, 28 (2018), pp. 621-629. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.04.014>.
- [28] C. Rossi, E. Briand, P. Parot, M. Odorico, J. Chopineau. Surface response methodology for the study of supported membrane formation. *J. Phys. Chem. B*, 111 (2007), pp. 7567-7576
- [29] L.A. Sarabia, M.C. Ortiz. Response Surface Methodology. *Comprehensive Chemometrics* (2009), pp. 345-390.
- [30] Aksomaitis, J. (2000). *Tikimybių teorija ir statistika: Vadovėlis aukštųjų mokyklų studentams*. Kaunas: Technologija.

## Priedai

### 1 priedas. MATLAB eksperimentų imitatoriaus programinis kodas

```
function main
clear all; clc;
%Eksperimentu duomenys:
Duom2k21k_1

tic
%Eksperimentu variantu skaicius:
disp('Eksperimentu variantu skaicius:');
M = size(Xduom,1)
%Eksperimentu tasku skaicius:
disp('Eksperimentiniu tasku skaicius:');
N = size(Duom,1)
%MM = 3;
K = 1000; %iteraciju skaicius
%var=1; %norint paskaiciuoti specifini varianta
rq = 15;
sq = 986;

DirectoryPath = 'C:\Users\User\Desktop\magistriniui\Biocentru BC ataskaitai
20131114\testavimui\rezultatai ';
ExcelPath = 'C:\Users\User\Desktop\magistriniui\Biocentru BC ataskaitai
20131114\testavimui\rezultatai\bandymu_rezultatai_1k.xlsx';
x1Lent = (ats_lent);
x2Lent = (ats_lent);
x3Lent = (ats_lent);
x4Lent = (ats_lent);
YmaxLent = (ats_lent);
Reiks_rez_sum_Lent = (ats_lent);
UL = (reziai);
for var = 1:M % sukasi visi 60 variantu
for band = 1:K % K kartu prasisuka vieno varianto imitavimas
yLent(:,2:4) = nan;
for ii=2:3 %
for i=1:N % prasisuka visas eksperimentu planas, 25 bandymai
if i<=N % duomenu paemimui
x = [ Duom(i,2) ...
      Duom(i,3) ...
      Duom(i,4) ...
      Duom(i,5) ];

[R,B,D,xcoord] = list_of_model_data(var); %duomenys randami pagal
varianta

Y0 = D(1)+ D(2:end)*(B*(x-xcoord)').^2;
Y = Y0 + R*randn;

if isnan(yLent(i,ii))
yLent(i,ii) = Y;
end %

else % apskaiciuot antra Y stulpeli
ii=ii+1;
end
end
end
end

for iii=1:N
```

```

        if isnan(yLent(iii,4))
            YY = mean(yLent(iii,2:3));
            yLent(iii,4) = YY;
        else
            yLent(iii,2:4) = nan;
            YY = mean(yLent(iii,2:3));
            yLent(iii,4) = YY;
        end
    end

disp('Isejimu lentele');
yLent

yp = yLent(:,2:3);
ymean = yLent(:,4);

disp('Nepriklausomu kintamuju matrica:');
F = make_F_matrix(Duom(:,2:5))
% Iskiriame stebejimu vektoriu Yl
Yi = ymean;
% Taikome MKM matricine forma ir randame modelio parametru vektoriu A
disp('Identifikuoto modelio parametru vektorius:');
A=inv(F'*F)*F'*Yi

%*** Modelio adekvatumo tyrimas
%***
% Skaiciuojame suma SD
% Kiekviename i? N eksperimento plano ta?ku atlikta po ni pakartotinu
bandymu
% (tai yra pats bendriausias atvejis) :
disp('Modeliavimo rezultatai:');
y_mi = make_F_matrix(Duom(:,2:5)) * A
disp('Pakartotinu bandymu vidurkiai:');
y_ei = ymean
disp('Pakartotinu eksperimentu kiekis i-tuosiuose plano taskuose:');
n_i = yskaic(:,2)
SD = sum( n_i .* (y_ei - y_mi).^2)
fi1 = N - length(A) % laisves laipsniu skaicius

    % Skaiciuojame suma SE
SE = 0;
for i = 1:N
    yp = yLent(i,2:3);
    ymean = yLent(i,4);
    SE = SE + sum( ( yp - ymean).^2);
end
SE
fi2 = sum( n_i - 1 )

% Fiserio kriterijus
Fiser=(SD/fi1)/(SE/fi2);
if Fiser<1, Fiser = 1/Fiser; end
disp('Fiserio kriterijus:')
Fiser

%***
figure(1); hold on
for i = 1:N

```

```

    plot(i, y_mi(i), 'r*');
    yp = yLent(i,2:3); % paimame i-tojo eksp tasko pakart eksp rezultatus
    for j=1:length(yp)
        plot(i, yp(j), 'bo')
    end
end

title(sprintf('Eksperimentu ir modeliavimo rezultatai'));
xlabel('Eksperimento tasko eiles numeris');
ylabel('Eksperimento (o) ir modeliavimo (*) rez. '); grid on; hold off;

%***
%*** Modelio parametru reikšmingumo tyrimas
%***
C=inv(F'*F); % Apskaiciuojama dispersine matrica C...
for i=1:size(C,1), Cdiag(i)=C(i,i); end % ... ir jos diagonale

Teps=StjudKrit005(fi2); % Teps - Stjudento kr. dydis
disp('Modelio parametru reikšmingumo analizes rezultatai:');
Reiks_rez=abs(A)>Teps*sqrt(Cdiag'*SE/fi2) % reikšmingumo analizes rezultatai,...
% ...Reiks_rez(i)=0, jeigu A(i) parametras yra nereikšmingas, ir ...
% ...Reiks_rez(i)=1, jeigu A(i) parametras yra reikšmingas
Reiks_rez_sum=sum(Reiks_rez);

%***
%*** Ekstremumo tasko paieska ir reakcijos paviršiaus braizymas
%***
% PaieskZingsnis = 0.05
PaieskZingsnis = 0.1
disp('Var nr. Test Nr. ')
var
band
% Maksimumo tasko paieska
f_step=-1:PaieskZingsnis:1; % paieskos zingsnis
maxpoint = [ NaN NaN NaN NaN ];
maxY=-Inf;
    % keturi ciklai: perrenkamos visos...
for f1=f_step, % ...pirmo faktoriaus...
    for f2=f_step, % ...antro faktoriaus...
        x=[];
        for f3=f_step, % ...trecio faktoriaus...
            for f4=f_step, % ...ir ketvirto faktoriaus vertes
                x=[x; f1 f2 f3 f4]; % x matrica papildoma nauja eilute
            end
        end
    end
    F=make_F_matrix(x);
    Y=F*A; % Apskaiciuojamos modelio lygties vertes visuose taskuose
    [Max_Y_tmp, Max_I] = max(Y);
    if Max_Y_tmp > maxY
        maxY = Max_Y_tmp;
        maxpoint = x(Max_I,:);
    end
end
end

x1min = Xduom(var,1)
x1max = Xduom(var,2)
x2min = Xduom(var,3)
x2max = Xduom(var,4)
x3min = Xduom(var,5)
x3max = Xduom(var,6)
x4min = Xduom(var,7)

```

```

x4max = Xduom(var,8)

disp('Maksimumo tasko koordinates santykinemis faktoriu vertemis:');
maxx1=maxpoint(1)
maxx2=maxpoint(2)
maxx3=maxpoint(3)
maxx4=maxpoint(4)
maxY

%     if isnan(ats(yy,2))
%         ats(yy,2)=maxY;
%     end

disp('Maksimumo tasko koordinates absoliutinemis faktoriu vertemis:');
max_x1_abs=sant2abs(x1min,x1max,maxx1)
max_x2_abs=sant2abs(x2min,x2max,maxx2)
max_x3_abs=sant2abs(x3min,x3max,maxx3)
max_x4_abs=sant2abs(x4min,x4max,maxx4)
maxY

% x1 x2 x3 x4 Ymax duomenys yra surasomi i lenteles

if isnan (Reiks_rez_sum_Lent(var+1,band))
    Reiks_rez_sum_Lent(var+1,band)=Reiks_rez_sum;
end

if isnan(x1Lent(var+1,band)) & isnan(x2Lent(var+1,band)) &
isnan(x3Lent(var+1,band)) & isnan(x4Lent(var+1,band)) &
isnan(YmaxLent(var+1,band))

    x1Lent(var+1,band)=max_x1_abs;

    x2Lent(var+1,band)=max_x2_abs;

    x3Lent(var+1,band)=max_x3_abs;

    x4Lent(var+1,band)=max_x4_abs;

    YmaxLent(var+1,band)=maxY;
end

%---
%--- Braizomas reakcijos pavirsiaus ekstremumo tasko aplinkoje
%---
V=0:2:200;% izoliniju zymes

whereToStore=fullfile(DirectoryPath,[ num2str(var) '.' num2str(band)
'_Eksperimentu ir modeliavimo rezultatai' '.png']);
saveas(gcf, whereToStore);
close; %uzdaro figure langa

*** Grafikas su santykinemis faktoriu vertemis %
figure(2)
subplot(2,3,1);
[x3,x4] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,maxx1,maxx2,x3,x4);
[cs,h]=contour(x3,x4,y,V);clabel(cs,h);
mark_extrem_point(maxx3,maxx4)
xlabel('x3'); ylabel('x4');
title(['x1=',num2str(maxx1) , ' x2=',num2str(maxx2)]);

```



```

subplot(2,3,2);
[x2,x4] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,maxx1,x2,maxx3,x4);
[cs,h]=contour(x2,x4,y,V);clabel(cs,h);
mark_extrem_point(maxx2,maxx4)
xlabel('x2'); ylabel('x4');
title(['x1=',num2str(maxx1) , ' x3=',num2str(maxx3)]);

subplot(2,3,3);
[x2,x3] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,maxx1,x2,x3,maxx4);
[cs,h]=contour(x2,x3,y,V);clabel(cs,h);
mark_extrem_point(maxx2,maxx3)
xlabel('x2'); ylabel('x3');
title(['x1=',num2str(maxx1) , ' x4=',num2str(maxx4)]);

subplot(2,3,4);
[x1,x4] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,x1,maxx2,maxx3,x4);
[cs,h]=contour(x1,x4,y,V);clabel(cs,h);
mark_extrem_point(maxx1,maxx4)
xlabel('x1'); ylabel('x4');
title(['x2=',num2str(maxx2) , ' x3=',num2str(maxx3)]);

subplot(2,3,5);
[x1,x3] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,x1,maxx2,x3,maxx4);
[cs,h]=contour(x1,x3,y,V);clabel(cs,h);
mark_extrem_point(maxx1,maxx3)
xlabel('x1'); ylabel('x3');
title(['x2=',num2str(maxx2) , ' x4=',num2str(maxx4)]);

subplot(2,3,6);
[x1,x2] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,x1,x2,maxx3,maxx4);
[cs,h]=contour(x1,x2,y,V);clabel(cs,h);
mark_extrem_point(maxx1,maxx2)
xlabel('x1'); ylabel('x2');
title(['x3=',num2str(maxx3) , ' x4=',num2str(maxx4)]);

whereToStore=fullfile(DirectoryPath,[ num2str(var) '.' num2str(band)
'_Santykinės faktorių vertės' '.png']);
saveas(gcf, whereToStore);
close; %uzdaro figure langą

gtext(sprintf('<%s>',EkspDuumKodas)); % Uzdedama eksperimento duomenų kodo žymė

*** Grafikas su absoliutinėmis faktorių vertėmis %

figure(3)
subplot(2,3,1);
[x3,x4] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,maxx1,maxx2,x3,x4);
[cs,h]=contour(sant2abs(x3min,x3max,x3),sant2abs(x4min,x4max,x4),y,V);clabel(cs,
h);
mark_extrem_point(max_x3_abs,max_x4_abs)
xlabel('x3'); ylabel('x4');
title(['x1=',num2str(sant2abs(x1min,x1max,maxx1)) , '
x2=',num2str(sant2abs(x2min,x2max,maxx2))]);

```

```

subplot(2,3,2);
[x2,x4] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,maxx1,x2,maxx3,x4);
[cs,h]=contour(sant2abs(x2min,x2max,x2),sant2abs(x4min,x4max,x4),y,V);clabel(cs,
h);
mark_extrem_point(max_x2_abs,max_x4_abs)
xlabel('x2'); ylabel('x4');
title(['x1=',num2str(sant2abs(x1min,x1max,maxx1)) , '
x3=',num2str(sant2abs(x3min,x3max,maxx3))]);

subplot(2,3,3);
[x2,x3] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,maxx1,x2,x3,maxx4);
[cs,h]=contour(sant2abs(x2min,x2max,x2),sant2abs(x3min,x3max,x3),y,V);clabel(cs,
h);
mark_extrem_point(max_x2_abs,max_x3_abs)
xlabel('x2'); ylabel('x3');
title(['x1=',num2str(sant2abs(x1min,x1max,maxx1)) , '
x4=',num2str(sant2abs(x4min,x4max,maxx4))]);

subplot(2,3,4);
[x1,x4] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,x1,maxx2,maxx3,x4);
[cs,h]=contour(sant2abs(x1min,x1max,x1),sant2abs(x4min,x4max,x4),y,V);clabel(cs,
h);
mark_extrem_point(max_x1_abs,max_x4_abs)
xlabel('x1'); ylabel('x4');
title(['x2=',num2str(sant2abs(x2min,x2max,maxx2)) , '
x3=',num2str(sant2abs(x3min,x3max,maxx3))]);

subplot(2,3,5);
[x1,x3] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,x1,maxx2,x3,maxx4);
[cs,h]=contour(sant2abs(x1min,x1max,x1),sant2abs(x3min,x3max,x3),y,V);clabel(cs,
h);
mark_extrem_point(max_x1_abs,max_x3_abs)
xlabel('x1'); ylabel('x3');
title(['x2=',num2str(sant2abs(x2min,x2max,maxx2)) , '
x4=',num2str(sant2abs(x4min,x4max,maxx4))]);

subplot(2,3,6);
[x1,x2] = meshgrid(-1:.1:1, -1:.1:1);
y = Regresinis_Modelis(A,x1,x2,maxx3,maxx4);
[cs,h]=contour(sant2abs(x1min,x1max,x1),sant2abs(x2min,x2max,x2),y,V);clabel(cs,
h);
mark_extrem_point(max_x1_abs,max_x2_abs)
xlabel('x1'); ylabel('x2');
title(['x3=',num2str(sant2abs(x3min,x3max,maxx3)) , '
x4=',num2str(sant2abs(x4min,x4max,maxx4))]);

whereToStore=fullfile(DirectoryPath,[ num2str(var) '.' num2str(band)
'_Absoliutines faktoriu vertes' '.png']);
saveas(gcf, whereToStore);
close all; %uzdaro visus figure langus

gtext(sprintf('<%s>',EkspDuomKodas)); % Uzdedama eksperimento duomeni kodo zyme

%***
%*** Gradiento vektoriaus tikslo funkcijos maksimalios vertes taske skaiciavimas
%***
grad_sant=calc_gradient(A,[maxx1,maxx2,maxx3,maxx4]); % skaiciuojamas gradientas
disp('Normuotas gradientas:')

```

```

grad_norm=grad_sant/sqrt(grad_sant*grad_sant') % skaiciujamas normuotas
gradientas
clearvars -except M N K var band Duom Xduom ats yskaic DataMatrix DirectoryPath
ExcelPath ExpLent yLent yLent1 ats_lent x1Lent x2Lent x3Lent x4Lent YmaxLent
reziai rq sq x1sorted x2sorted x3sorted x4sorted Ysorted L1 L2 L3 L4 L5 U1 U2 U3
U4 U5 UL patek sum1 sum2 sum3 sum4 sum5 Reiks_rez_sum Reiks_rez_sum_Lent

end % vieno variantom, n prasisukimu pabaiga

%apskaiciuojami reziai kiekvienam variantui
low1=ApatineRiba(x1Lent(var+1,:));
high1=VirsutineRiba(x1Lent(var+1,:));
low2=ApatineRiba(x2Lent(var+1,:));
high2=VirsutineRiba(x2Lent(var+1,:));
low3=ApatineRiba(x3Lent(var+1,:));
high3=VirsutineRiba(x3Lent(var+1,:));
low4=ApatineRiba(x4Lent(var+1,:));
high4=VirsutineRiba(x4Lent(var+1,:));
low5=ApatineRiba(YmaxLent(var+1,:));
high5=VirsutineRiba(YmaxLent(var+1,:));
if isnan(reziai(var,:))
    reziai(var,1)=low1;
    reziai(var,2)=high1;
    reziai(var,3)=low2;
    reziai(var,4)=high2;
    reziai(var,5)=low3;
    reziai(var,6)=high3;
    reziai(var,7)=low4;
    reziai(var,8)=high4;
    reziai(var,9)=low5;
    reziai(var,10)=high5;
end

x1sorted = sort(x1Lent(var+1,:))
x2sorted = sort(x2Lent(var+1,:))
x3sorted = sort(x3Lent(var+1,:))
x4sorted = sort(x4Lent(var+1,:))
Ysorted = sort(YmaxLent(var+1,:))
%% histogramos
histfit(x1Lent(var+1,:))
whereToStore=fullfile(DirectoryPath,[ num2str(var) '_HizterizeX1' '.png']);
saveas(gcf, whereToStore);
close;
histfit(x2Lent(var+1,:))
whereToStore=fullfile(DirectoryPath,[ num2str(var) '_HizterizeX2' '.png']);
saveas(gcf, whereToStore);
close;
histfit(x3Lent(var+1,:))
whereToStore=fullfile(DirectoryPath,[ num2str(var) '_HizterizeX3' '.png']);
saveas(gcf, whereToStore);
close;
histfit(x4Lent(var+1,:))
whereToStore=fullfile(DirectoryPath,[ num2str(var) '_HizterizeX4' '.png']);
saveas(gcf, whereToStore);
close;
histfit(YmaxLent(var+1,:))
whereToStore=fullfile(DirectoryPath,[ num2str(var) '_HizterizeY' '.png']);
saveas(gcf, whereToStore);
close; %uzdaro figure langa
L1 = x1sorted(rq);
L2 = x2sorted(rq);
L3 = x3sorted(rq);

```

```

L4 = x4sorted(rq);
L5 = Ysorted(rq);
U1 = x1sorted(sq);
U2 = x2sorted(sq);
U3 = x3sorted(sq);
U4 = x4sorted(sq);
U5 = Ysorted(sq);
sum1=sum( x1Lent(var+1,:)>=L1 & x1Lent(var+1,*)<=U1 )
sum2=sum( x2Lent(var+1,:)>=L2 & x2Lent(var+1,*)<=U2 )
sum3=sum( x3Lent(var+1,:)>=L3 & x3Lent(var+1,*)<=U3 )
sum4=sum( x4Lent(var+1,:)>=L4 & x4Lent(var+1,*)<=U4 )
sum5=sum( YmaxLent(var+1,:)>=L5 & YmaxLent(var+1,*)<=U5 )
if isnan(UL(var,:))
    UL(var,1)=L1;
    UL(var,2)=U1;
    UL(var,3)=L2;
    UL(var,4)=U2;
    UL(var,5)=L3;
    UL(var,6)=U3;
    UL(var,7)=L4;
    UL(var,8)=U4;
    UL(var,9)=L5;
    UL(var,10)=U5;
end

end % visu variantu pabaiga
disp('Bandymu maksimumo tasku koordinates absoliutinemis vertemis:');
%ats_lent
xlswrite(ExcelPath,x1Lent,'X1','B1:ALM61');
xlswrite(ExcelPath,x2Lent,'X2','B1:ALM61');
xlswrite(ExcelPath,x3Lent,'X3','B1:ALM61');
xlswrite(ExcelPath,x4Lent,'X4','B1:ALM61');
xlswrite(ExcelPath,reziai,'Reziai','B2:K61');
xlswrite(ExcelPath,YmaxLent,'Ymax','B1:ALM61');
xlswrite(ExcelPath,UL(:,1:2),'X1','ALO2:ALP61');
xlswrite(ExcelPath,UL(:,3:4),'X2','ALO2:ALP61');
xlswrite(ExcelPath,UL(:,5:6),'X3','ALO2:ALP61');
xlswrite(ExcelPath,UL(:,7:8),'X4','ALO2:ALP61');
xlswrite(ExcelPath,UL(:,9:10),'Ymax','ALO2:ALP61');
xlswrite(ExcelPath,Reiks_rez_sum_Lent,'Reiks_rez','B1:ALM61');
toc
%***

%
-----
function low=ApatineRiba(x_bendras)
%-----
low = mean(x_bendras) - 2*std(x_bendras);

%
-----
function high=VirsutineRiba(x_bendras)
%-----
high = mean(x_bendras) + 2*std(x_bendras);

%
-----
function y = Regresinis_Modelis(A,x1,x2,x3,x4)
%-----
y = A(1) + A(2)*x1 + A(3)*x2 + A(4)*x3 + A(5)*x4 + ...
    A(6)*x1.^2 + A(7)*x2.^2 + A(8)*x3.^2 + A(9)*x4.^2 + ...
    A(10)*x1.*x2 + A(11)*x1.*x3 + A(12)*x1.*x4 + ...

```

```

A(13)*x2.*x3 + A(14)*x2.*x4 + A(15)*x3.*x4;

%
function x=sant2abs(xmin,xmax,y)
%-----
% sant2abs(xmin,xmax,y) - santykines faktoriaus vertes y konvertavimas i
absoliutine verte
%      xmin - apatine x kitimo riba
%      xmax - virsutine x kitimo riba
x=(xmax-xmin)/2*(y+1)+xmin;

%
function h=calc_gradient(A,x)
%-----
% h=calc_gradient(A,X)  skaiciuojamas gradientas taske X
%      A - modelio parametru vektorius A=(a0,a1,a2,...,a9)
%      X - tasko koordinaciju vektorius X=(x1,x2,x3,x4)
%
% Regresinis modelis:
%   y = A(1) + A(2)*x1 + A(3)*x2 + A(4)*x3 + A(5)*x4 + ...
%       A(6)*x1.^2 + A(7)*x2.^2 + A(8)*x3.^2 + A(9)*x4.^2 + ...
%       A(10)*x1.*x2 + A(11)*x1.*x3 + A(12)*x1.*x4 + ...
%       A(13)*x2.*x3 + A(14)*x2.*x4 + A(15)*x3.*x4;
%
if length(x) ~= 4
    error('Klaida: x vektoriaus ilgis nelygus 4');
end

h_1 = A(2) + 2*A(6)*x(1) + A(10)*x(2) + A(11)*x(3) + A(12)*x(4);
h_2 = A(3) + 2*A(7)*x(2) + A(10)*x(1) + A(13)*x(3) + A(14)*x(4);
h_3 = A(4) + 2*A(8)*x(3) + A(11)*x(1) + A(13)*x(2) + A(15)*x(4);
h_4 = A(5) + 2*A(9)*x(4) + A(12)*x(1) + A(14)*x(2) + A(15)*x(3);

h=[h_1,h_2,h_3,h_4];

%
function F=make_F_matrix(x)
%-----
% F=make_F_matrix(x)  Sudaroma nepriklausomu kintamuju matrica F
%
% Matrica x sudaryta is 4 stulpeliu, kurie atitinka x1, x2, x3 ir x4 faktorius
%
% Matrica F skirta regresiniam modeliui:
%       y = a0 + a1*x1 + a2*x2 + a3*x3 + a4*x4 +
%           a5*x1^2 + a6*x2^2 + a7*x3^2 + a8*x4^2 +
%           a9*x1*x2 + a10*x1*x3 + a11*x1*x4 +
%           a12*x2*x3 + a13*x2*x4 + a14*x3*x4
%
if size(x,2) ~= 4
    error('Klaida: matricos x stulpeliu skaicius nelygus 4');
end

F=[ones(size(x,1),1), x, ...
    x(:,1).^2, x(:,2).^2, x(:,3).^2, x(:,4).^2,...
    x(:,1).*x(:,2), x(:,1).*x(:,3), x(:,1).*x(:,4),...
    x(:,2).*x(:,3), x(:,2).*x(:,4), x(:,3).*x(:,4) ];

%
function y=StjudKrit005(fi)

```

```

% y=StjudKrit005(fi)
% Stjudento skirstinio alfa=0.05 lygmens kritines reiksmes lentele
% (Patikimumo lygis=0.95)
% fi - laisves laipsniu skaicius
% (paimta is Aleksos ir Ko knygos 1976)
Lent=[
12.71
4.30
3.18
2.78
2.57
2.45
2.37
2.31
2.26
2.23
2.20
2.18
2.16
2.15
2.13
2.12
2.11
2.10
2.09
2.09
2.08
2.07
2.07
2.06
2.06
2.06
2.05
2.05
2.05
2.04 ];
y=Lent(fi);
%

```

---

```
function [R,B,D,xcoord] = list_of_model_data(var)
```

```

%---- Ekstremumo koordinaciu
% Sia matrica generavo programele:
% clc; [-0.9+1.8*rand(60,4)]
Coord_Matrix = [
-0.3647 -0.2514 0.5618 0.5920
-0.8115 0.0873 0.1982 -0.6007
0.3477 -0.4288 0.3627 -0.1910
0.2702 0.1752 -0.7340 0.0374
0.8694 -0.8113 -0.1352 0.3926
0.0948 0.1279 -0.2240 0.1245
-0.1799 0.3615 -0.6009 -0.0705
-0.5422 0.8321 0.5997 -0.0984
0.2254 0.4509 0.6096 -0.7421
0.4201 0.4320 -0.0871 -0.1017
-0.2234 -0.1226 0.8219 -0.2407
-0.8822 0.2417 -0.6351 -0.3554
-0.1443 0.5454 0.6659 0.6333
0.4566 -0.7490 0.4850 0.4671
0.5290 0.8018 -0.1005 0.8096
0.7559 0.7487 0.2171 0.1043
0.6205 0.1836 0.8130 -0.8744
-0.2380 -0.4436 0.2520 0.1731

```

```

0.2174    0.6722   -0.4548    0.5692
0.4163    0.0241   -0.2651    0.8588
-0.5510   0.4188   -0.5619   -0.5006
0.7287   -0.1400   -0.0168    0.3666
0.1246    0.8305   -0.1633    0.0397
0.2372   -0.7703   -0.0657    0.7792
-0.4781   0.0961    0.1997    0.3840
0.0878   -0.3744   -0.7719   -0.4895
0.7769    0.6443   -0.3343   -0.0906
-0.2966   -0.2956    0.1951   -0.5900
0.2800    0.3244   -0.5850    0.8439
-0.1946   -0.8038    0.2178   -0.2597
0.2292   -0.2580   -0.4573   -0.8117
0.3583   -0.0031    0.1572    0.4596
-0.1851   -0.1180    0.0109    0.7107
-0.1555    0.1124   -0.0634   -0.3849
0.2794    0.2099    0.0746   -0.4478
0.6077   -0.6960    0.7962    0.7789
-0.2311    0.7169   -0.2848   -0.6642
-0.1345    0.4582   -0.1768    0.7935
0.1704    0.5240   -0.3462    0.3633
0.1183    0.5669   -0.1592    0.6258
0.3898    0.3060   -0.3853   -0.5233
0.0204   -0.5384   -0.1906   -0.0808
0.4975   -0.4084    0.0054   -0.7541
-0.0192    0.2272    0.3996    0.6320
-0.5654    0.0663   -0.3488    0.1117
0.3611   -0.7929   -0.6981   -0.3253
0.8689   -0.7399   -0.1021   -0.2252
0.5519   -0.4116   -0.0598    0.6620
0.3664   -0.1637   -0.8736   -0.2301
-0.0271   -0.0467    0.2953   -0.7674
-0.6937    0.7362    0.4033   -0.5403
0.2967    0.1732   -0.3931   -0.8109
-0.2423   -0.3079   -0.4287    0.1201
-0.6479   -0.0393    0.3752   -0.6805
0.1202    0.1749    0.5109    0.0398
0.5814   -0.6094    0.8751   -0.6893
0.3131    0.5931   -0.0480    0.4859
0.8990    0.8210    0.7251   -0.2249
0.8309    0.1720   -0.0881    0.5821
-0.7940   -0.8483    0.5481   -0.8161];
%--- B matricos (koordinaciu transformavimas)
q=1/sqrt(2);
%-- saveikauja x1 su x2 ir x3 su x4
BM(:, :, 1) = [... % pi/4 ir pi/4
    q  q  0  0
   -q  q  0  0
    0  0  q  q
    0  0 -q  q];
BM(:, :, 2) = [... % pi/4 ir -pi/4
    q  q  0  0
   -q  q  0  0
    0  0  q -q
    0  0  q  q];
BM(:, :, 3) = [... % -pi/4 ir pi/4
    q -q  0  0
    q  q  0  0
    0  0  q  q
    0  0 -q  q];
BM(:, :, 4) = [... % -pi/4 ir -pi/4
    q -q  0  0
    q  q  0  0

```

```

0 0 q -q
0 0 q q];
% saveikauja x1 su x3 ir x2 su x4
BM(:, :, 5) = [... % pi/4 ir pi/4
q 0 q 0
0 q 0 q
-q 0 q 0
0 -q 0 q ];
BM(:, :, 6) = [... % pi/4 ir -pi/4
q 0 q 0
0 q 0 -q
-q 0 q 0
0 q 0 q ];
BM(:, :, 7) = [... % -pi/4 ir pi/4
q 0 -q 0
0 q 0 q
q 0 q 0
0 -q 0 q ];
BM(:, :, 8) = [... % -pi/4 ir -pi/4
q 0 -q 0
0 q 0 -q
q 0 q 0
0 q 0 q ];
% saveikauja x1 su x4 ir x2 su x3
BM(:, :, 9) = [... % pi/4 ir pi/4
q 0 0 q
0 q q 0
0 -q q 0
-q 0 0 q ];
BM(:, :, 10) = [... % pi/4 ir -pi/4
q 0 0 q
0 q -q 0
0 q q 0
-q 0 0 q ];
BM(:, :, 11) = [... % -pi/4 ir pi/4
q 0 0 -q
0 q q 0
0 -q q 0
q 0 0 q ];
BM(:, :, 12) = [... % -pi/4 ir -pi/4
q 0 0 -q
0 q -q 0
0 q q 0
q 0 0 q ];

%--- Koeficientai: d0 d1 d2 d3 d4 R
DM = [ ...
95.4 -2 -3 -4 -4
55.3 -4 -2 -4 -3
85.1 -4 -3 -2 -4
70.7 -2 -3 -4 -4
80.6 -3 -3 -4 -4
75.9 -4 -4 -3 -2
65.1 -2 -4 -4 -3
60.6 -4 -3 -4 -2
90.2 -4 -3 -2 -4
50.7 -3 -2 -4 -4 ];

DM(:, 1) = DM(:, 1)*2; % d0
DM(:, 2:5) = DM(:, 2:5)*4; % d1 d2 d3 d4
DM(:, 6) = DM(:, 1)*0.007; % R

```



```

xcoord = Coord_Matrix(var,:);

i_B = ziedas(var,size(BM,3));
B=BM(:, :, i_B);

i_D = ziedas(var,size(DM,1));
D=DM(i_D,1:5);
R=DM(i_D,6);
%
function C = ziedas(A,B)
% pvz transformacija:
% C = A @ B
% 1 1 3
% 2 2 3
% 3 3 3
% 1 4 3
% 2 5 3
% 3 6 3
% .....
C=rem(A,B);
if C==0
    C=B;
end
%
function mark_extrem_point(xhor,xvert)
% pazymeti ekstremuma
hold on;
plot(xhor,xvert,'rp',...
     'MarkerEdgeColor','k',...
     'MarkerFaceColor','r',...
     'MarkerSize',15);
hold off;

```

## 2 priedas. Vartotojo sąsajos programinis kodas

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">

<head>
  <title>Individualus darbas</title>
  <link href="style/main.css" rel="stylesheet" />
</head>

<body>

  <nav>
    <ul>
      <li><a href="page1.html">Individualaus darbo aprašas</a></li>
      <li>Individualus darbas</li>
      <li><a href="page3.html">Paaiškinimai</a></li>
    </ul>
  </nav>

  <script>
    function loadFile(filePath) {
      var result = null;
      var xmlhttp = new XMLHttpRequest();
      xmlhttp.open("GET", filePath, false);
      xmlhttp.send();
      if (xmlhttp.status == 200) {
        result = xmlhttp.responseText;
      }
      return result;
    }

    function readTextFile() {
      var index = document.getElementById('index_field').value - 1;

      var filepath = 'http://127.0.0.1:8887/duomenys.txt';
      result = loadFile(filepath);
      var lines = result.split('\n'); // split into lines
      var textArray = lines[index].split(' ');
      var duomenys = textArray.map(function (e, i) {
        return parseFloat(textArray[i]);
      });
      console.log(duomenys);

      var headers = ['X1min', 'X1max', 'X2min', 'X2max', 'X3min', 'X3max',
'X4min', 'X4max'] //eilutes
      var new_lines = headers.map(function (e, i) {
        return headers[i] + ': ' + duomenys[i];
      });
    }
  </script>
</body>
</html>
```

```

    allText = new_lines.join('\n'); //values.join('\n');
    alert(allText);

}

function calculate_result() {
    var X1 = parseFloat(document.getElementById('num1').value);
    var X2 = parseFloat(document.getElementById('num2').value);
    var X3 = parseFloat(document.getElementById('num3').value);
    var X4 = parseFloat(document.getElementById('num4').value);
    var Y0;
    var result;
    var res_elem = document.getElementById("Y_Reiksme");

    var index = document.getElementById('index_field').value - 1;

    var filepath = 'http://127.0.0.1:8887/A_parametrai.txt';
    result = loadFile(filepath);
    var lines = result.split('\n'); // split into lines
    var textArray = lines[index].split(' ');
    var data_A = textArray.map(function (e, i) {
        return parseFloat(textArray[i]);
    });
    console.log(data_A);

    var filepath = 'http://127.0.0.1:8887/R_parametrai.txt';
    result = loadFile(filepath);
    var lines = result.split('\n'); // split into lines
    var textArray = lines[index].split(' ');
    var data_R = textArray.map(function (e, i) {
        return parseFloat(textArray[i]);
    });
    console.log(data_R);

    if (X1 == '' || X2 == '' || X3 == '' || X4 == '') {
        alert('Nėra pakankamai duomenų!');
    }

    else {
        Y0 = data_A[0] + data_A[1] * X1 + data_A[2] * X2 + data_A[3] * X3 +
data_A[4] * X4 + data_A[5] * X1 * X1 + data_A[6] * X2 * X2 +
        data_A[7] * X3 * X3 + data_A[8] * X4 * X4 + data_A[9] * X1 * X2
+ data_A[10] * X1 * X3 + data_A[11] * X1 * X4 + data_A[12] * X2 * X3 +
        data_A[13] * X2 * X4 + data_A[14] * X3 * X4;

        result = Y0 + data_R * Math.random();
        res_elem.value = result;
        console.log("result: " + res_elem.value);
    }
}
}

```

```

function ClearFields() {
    document.getElementById("num1").value = "";
    document.getElementById("num2").value = "";
    document.getElementById("num3").value = "";
    document.getElementById("num4").value = "";
}
</script>
<br>Įveskite savo varianto numerį:
</br>
<input type="text" id="index_field">
<br>
<br>
<div id="Duomenys" style="display:none;" class="answer_list"> Duomenys</div>
<button onclick="readTextFile()">Generuoti varianto duomenis</button>
<br></br>
<form action="#" onsubmit="return false ;">
    <div id="X" class="answer">
        <table>
            <tr>
                <th>X1 reikšmė:</th>
                <td><input type="text" name="num1" id="num1"></td>
            </tr>
            <tr>
                <th>X2 reikšmė:</th>
                <td><input type="text" name="num2" id="num2"></td>
            </tr>
            <tr>
                <th>X3 reikšmė:</th>
                <td><input type="text" name="num3" id="num3"></td>
            </tr>
            <tr>
                <th>X4 reikšmė:</th>
                <td><input type="text" name="num4" id="num4"></td>
            </tr>
        </table>
        <br></br>
        <button onclick="calculate_result();">Skaiciuoti</button>
        <button onclick="ClearFields();">Išvalyti duomenis</button>
    </div>
</form>

<div>
    <div class="answer" id="deze">
        <p class="divas">Imitatorius</p>
    </div>
    <div class="answer" id="Y_Reiksme2">Y reikšmė:</div>
    <input class="answer" id="Y_Reiksme"></input>
    <!--atsakymas -->
</div>

```

```
<p class="two" style="clear:both;">

</p>
<p class="one" style="clear:both;">
  INDIVIDUALAUS NAMŲ DARBO UŽDUOTIES PAVYZDYS<br>
  Eksperimentinio tyrimo objektas Nr.55<br>
  <br>
  ---- UŽDUOTIS: ----<br>
  Sudaryti tiriamo objekto statistinį matematinį modelį įėjimo kintamųjų
  (faktorių) kitimo srityje:<br>
  12 <= X1 <=15<br>
    0.2 <= X2 <=0.6<br>
      0 <= X3 <=200<br>
        3 <= X4 <=4<br>

          1. Sudaryti eksperimentų planą ir atlikti tiriamo objekto
eksperimentinį tyrimą;<br>
          2. Parinkti modelio struktūrą ir apskaičiuoti parametru
vertes mažiausių kvadratų metodu;<br>
          3. Nustatyti modelio lygties reikšmingus parametrus;<br>
          4. Ištirti modelio adekvatumą;<br>
          5. Palyginti eksperimentinio tyrimo ir modeliavimo
rezultatus (pateikti eksperimentinio tyrimo
ir skaičiavimo rezultatų lentelę, diagramą);<br>
          6. Grafiškai atvaizduoti modeliuojamą reakcijos paviršių
ekstremumo taško aplinkoje.<br>

</p1>

<footer>©2022 Edvinas Šufinskas</footer>

</body>

</html>
```

### 3 priedas. Varianto duomenų generavimo programa Matlab

```
function varargout = ImitModelis(varargin)
%
% *** Eksperimentiniu tyrimu imitatorius ***
%
% [Version ObjNrmin ObjNrmax ] = ImitModelis
%     cia
%         Version - modelio parametru duomeniu bazes versija:
%         ObjNrmin, ObjNrmax - leistini min ir max objekto numeriai
%
% S = ImitModelis(ObjNr)
%     cia
%         ObjNr - objekto numeris
%         S - struktura, (laukai: X1min,X1max,X2min,...,X4max)
%
% Y = ImitModelis(ObjNr,S)
%     cia
%         S - struktura (laukai: X1,X2,X3,X4)
%         Y - eksperimento rezultatas
%
% (C) 2003-2012, D.Levisauskas, T.Tekorius ,KTU, Procesu valdymo katedra
%
% (C) 2021.04.01 T.Tekorius , KTU, Automatikos katedra
%
%%
%
% Si funkcija kviecia funkcija ImitModelis_xxx,
% perduoda jai neribota skaiciu iejimo parametru
% ir perima 1, 2, arba 3 isejimo parametrus
%
% Tokia schema taikoma lokalizuoti viename faile funkcijos ImitModelis variantu
% perjungima.
%
switch nargout
case 0
    disp('Iveskite: "help ImitModelis"');
case 1
    varargout{1} =
    ImitModelis_full(nargout,varargin{:});
case 2
    [varargout{1} varargout{2}] =
    ImitModelis_full(nargout,varargin{:});
case 3
    [varargout{1} varargout{2} varargout{3}] =
    ImitModelis_full(nargout,varargin{:});
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function varargout = ImitModelis_full(nout,varargin)
% Sia funkcija iskviecia funkcija 'ImitModelis'
%
% Parametrai:
% nout - tai funkcijos 'ImitModelis' isejimo parametru skaicius
% varargin - tai funkcijos 'ImitModelis' iejimo parametrai
% varargout - tai funkcijos 'ImitModelis' isejimo parametrai

%--- funkcijos 'ImitModelis' aprasymas:
% [Version ObjNrmin ObjNrmax ] = ImitModelis
```

```

%          cia
%          Version - programos versija:
%          ObjNrmin, ObjNrmax - leistini min ir max objekto numeriai
%
% S = ImitModelis(ObjNr)
%          cia
%          ObjNr - objekto numeris
%          S - struktura, (laukai: X1min,X1max,X2min,...,X4max)
%
% Y = ImitModelis(ObjNr,S)
%          cia
%          S - struktura (laukai: X1,X2,X3,X4)
%          Y - eksperimento rezultatas
%
% [Y,DEBUG] = ImitModelis(ObjNr,S)
%          cia
%          S - struktura (laukai: X1,X2,X3,X4)
%          Y - eksperimento rezultatas
%          DEBUG - struktura, kurioje perduodama informacija testavimui

[OBJECT_NR_MAX,T,xcoord,R,B,D] = list_of_model_data(1); % nuskaitome variantu
skaiciu OBJECT_NR_MAX

OBJECT_NR_MIN = 1;

if length(varargin) == 0 % [Version ObjNrmin ObjNrmax ] =
ImitModelis
    randn('state',sum(100*clock)); % reset the random number generator to a
different state each time
    varargout(1) = {'Model data base version 2.00b'};
    varargout(2) = {OBJECT_NR_MIN}; % Minimali objekto nr verte
    varargout(3) = {OBJECT_NR_MAX}; % Maksimali objekto nr verte
    return;
elseif length(varargin)== 1 % S = ImitModelis(ObjNr)
    ObjNr=varargin{1};
elseif length(varargin) == 2 % Y = ImitModelis(ObjNr,S)
    ObjNr=varargin{1};
    S=varargin{2};
else
    error('Funkcijos ImitModelis iskvietimo klaida: neleistinas iejimo/isejimo
parametru skaicius');
end

if ObjNr < OBJECT_NR_MIN || ObjNr > OBJECT_NR_MAX || fix(ObjNr)~=ObjNr
    ObjNr, error('Klaidingas objekto numeris!');
end

[OBJECT_NR_MAX,T,xcoord,R,B,D] = list_of_model_data(ObjNr);

%=====
if length(varargin)==1
    varargout{1} = T;
    return;
end
if length(varargin)==2

    x = [    abs2sant(T.X1min,T.X1max, S.X1) ...
          abs2sant(T.X2min,T.X2max, S.X2) ...
          abs2sant(T.X3min,T.X3max, S.X3) ...

```

```

        abs2sant(T.X4min,T.X4max, S.X4) ];

Y0 = D(1)+ D(2:end) * (B*(x-xcoord)').^2;
Y = Y0 + R*randn;
if Y<=0, Y=R*0.01; end % Isvengiama neigiamu eksperimento rezultatu verciu
if nout == 1 % graziname tik modelio isejimo verte
    varargout{1}=Y;
elseif nout == 2 % graziname papildoma informacija programos testavimui
    DEBUG.T = T;
    DEBUG.xcoord = xcoord;
    DEBUG.R = R;
    DEBUG.B = B;
    DEBUG.D = D;
    DEBUG.Y0 = Y0;
    varargout{1}=Y;
    varargout{2}=DEBUG;
end
end
%
%-----
function y=abs2sant(xmin,xmax,x)
% abs2sant(xmin,xmax,x) - absoliutines faktoriu vertes x konvertavimas i
santykine verte
%     xmin - apatine x kitimo riba
%     xmax - virsutine x kitimo riba
y=2*(x-xmin)/(xmax-xmin)-1;

%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
function [OBJECT_NR_MAX,T,xcoord,R,B,D] = list_of_model_data(i)
% "modelio duomenys"
% Input:
%     i - objekto numeris
% Output:
%     OBJECT_NR_MAX - didziausias leistinas objekto numeris
%     T - faktoriu kitimo intervalai (absoliutiniai vienetais):
%         T.X1min  T.X1max
%         T.X2min  T.X2max
%         T.X3min  T.X3max
%         T.X4min  T.X4max
%     xcoord - ekstremumo koordinates
%     R - eksperimento paklaidu (triuksmo) vid.kv.nuokrypa
%     B - koordinaciu transformavimo matrica (4x4)
%     D - koeficientu vektorius [d0 d1 d2 d3 d4]
%
DataMatrix = [
    8     10     0.1     0.5     24     32     160     180
   12     15         5     10     0.2     0.4     75     80
   60     80     15     20    220    250     0.4     0.5
    3      5     12     16     0.2     0.5    120    140
  1.4   1.6     50     70     0.3     0.8    350    450
  0.6   0.8      3      6    110    120     12     20
    2      3     10     12     0.5     1.5    140    160
  220   240     0.3     0.8     15     16     0.8     1.4
    5      7     25     30     0.4     0.6    140    160
   24     28     0.2     0.3     65     75    200    250
  0.1   0.4     0.8     1      50    100     25     30
   18     22     0.4     0.5    800    850     50     70

```



```

7      8      22      24      160      170      0.02      0.04
145    150    0.1    0.3     12     13      7        9
45     55     11     14     520    560     0.4      0.7
60     90     25     35     9      10     0.04     0.08
2      4      16     20     420    500     0.6      0.7
13     16     30     40     0.1    0.5     75      85
1      7      20     25     160    200     0.15     0.25
0.3    0.4    100    110    4.5    5.5     5        15
20     40     0.1    0.2     32     36     0.05     0.07
3      3.2    12     14     50     150     0.3      0.5
130    150    0.2    0.6     10     12     0.04     0.05
12     20     40     60     0.35   0.45    200     300
0.2    0.7    14     15     26     30     215     225
130    170    0.3    0.7     2.5    3.5    0.55     0.75
3      10     11     12     600    800     0.2      0.7
1.5    2.5     1      4     350    450     12      16
6      12     0.2    0.4     70     90     420     480
35     45     2      3     220    240     0.4      0.5
5      10     100    400    0.3    0.5     32      36
80     120    11     12     6      8     0.35     0.45
0.2    0.6     5      6     150    180     0.15     0.25
5      15     80     100    0.2    0.7     300     500
65     75     0.4    0.8     15     25     0.01     0.03
1.2    1.6     20     25     300    360     0.01     0.05
3.5    4.5     0.2    0.3     120    140     16      20
42     48     550    600    0.65   0.75    12      20
0      10     80     120     1      4     0.35     0.55
40     60     12     15     200    300     0.04     0.06
6.5    7.5     44     50     0.3    0.4     620     660
0.2    0.8     20     24     100    150     0.06     0.08
30     40     0.5     1     120    180     0.25     0.35
250    270     40     60     0.03   0.04    12.5    13.5
0.4    0.5     13     16     240    320     0.01     0.02
20     22     0.2    0.4     160    200     4.5      5
560    600     3     3.5     25     35     0.45     0.5
10     30     15     25     2      4     1.5      3.5
0.1    0.4     60     90     220    250     12      16
10     20     0      0.5     2      4     640     700
300    400     0      2     0.3    0.8     0.01     0.03
4      5      30     35     7.5    8      0        0.03
0.3    0.6     10     18     100    130     0.05     0.1
0      4      80     120    0.04   0.06    300     420
12     15     0.2    0.6     0      200     3        4
0.1    0.2     80     90     5      10     0.05     0.15
27     45     0      50     0.5    0.8     100     200
50     100    1      3      10     20     0.01     0.04
0.5    1.5     200    240     5      7     0.02     0.1
5      9      0      40     0.2    0.5     100     300 ];

```

```

%---- Ekstremumo koordinaciu
% Sia matrica generavo programele:
% clc; [-0.9+1.8*rand(60,4)]
Coord_Matrix = [
-0.3647 -0.2514 0.5618 0.5920
-0.8115 0.0873 0.1982 -0.6007
0.3477 -0.4288 0.3627 -0.1910
0.2702 0.1752 -0.7340 0.0374
0.8694 -0.8113 -0.1352 0.3926
0.0948 0.1279 -0.2240 0.1245
-0.1799 0.3615 -0.6009 -0.0705
-0.5422 0.8321 0.5997 -0.0984
0.2254 0.4509 0.6096 -0.7421
0.4201 0.4320 -0.0871 -0.1017

```

```

-0.2234    -0.1226     0.8219    -0.2407
-0.8822     0.2417    -0.6351    -0.3554
-0.1443     0.5454     0.6659     0.6333
 0.4566    -0.7490     0.4850     0.4671
 0.5290     0.8018    -0.1005     0.8096
 0.7559     0.7487     0.2171     0.1043
 0.6205     0.1836     0.8130    -0.8744
-0.2380    -0.4436     0.2520     0.1731
 0.2174     0.6722    -0.4548     0.5692
 0.4163     0.0241    -0.2651     0.8588
-0.5510     0.4188    -0.5619    -0.5006
 0.7287    -0.1400    -0.0168     0.3666
 0.1246     0.8305    -0.1633     0.0397
 0.2372    -0.7703    -0.0657     0.7792
-0.4781     0.0961     0.1997     0.3840
 0.0878    -0.3744    -0.7719    -0.4895
 0.7769     0.6443    -0.3343    -0.0906
-0.2966    -0.2956     0.1951    -0.5900
 0.2800     0.3244    -0.5850     0.8439
-0.1946    -0.8038     0.2178    -0.2597
 0.2292    -0.2580    -0.4573    -0.8117
 0.3583    -0.0031     0.1572     0.4596
-0.1851    -0.1180     0.0109     0.7107
-0.1555     0.1124    -0.0634    -0.3849
 0.2794     0.2099     0.0746    -0.4478
 0.6077    -0.6960     0.7962     0.7789
-0.2311     0.7169    -0.2848    -0.6642
-0.1345     0.4582    -0.1768     0.7935
 0.1704     0.5240    -0.3462     0.3633
 0.1183     0.5669    -0.1592     0.6258
 0.3898     0.3060    -0.3853    -0.5233
 0.0204    -0.5384    -0.1906    -0.0808
 0.4975    -0.4084     0.0054    -0.7541
-0.0192     0.2272     0.3996     0.6320
-0.5654     0.0663    -0.3488     0.1117
 0.3611    -0.7929    -0.6981    -0.3253
 0.8689    -0.7399    -0.1021    -0.2252
 0.5519    -0.4116    -0.0598     0.6620
 0.3664    -0.1637    -0.8736    -0.2301
-0.0271    -0.0467     0.2953    -0.7674
-0.6937     0.7362     0.4033    -0.5403
 0.2967     0.1732    -0.3931    -0.8109
-0.2423    -0.3079    -0.4287     0.1201
-0.6479    -0.0393     0.3752    -0.6805
 0.1202     0.1749     0.5109     0.0398
 0.5814    -0.6094     0.8751    -0.6893
 0.3131     0.5931    -0.0480     0.4859
 0.8990     0.8210     0.7251    -0.2249
 0.8309     0.1720    -0.0881     0.5821
-0.7940    -0.8483     0.5481    -0.8161];

```

```

%--- B matricos (koordinaciu transformavimas)
q=1/sqrt(2);
%-- saveikauja x1 su x2 ir x3 su x4
BM(:, :, 1) = [... % pi/4 ir pi/4
  q  q  0  0
 -q  q  0  0
  0  0  q  q
  0  0 -q  q];
BM(:, :, 2) = [... % pi/4 ir -pi/4
  q  q  0  0
 -q  q  0  0
  0  0  q -q];

```

```

    0  0  q  q];
BM(:, :, 3) = [... % -pi/4 ir pi/4
    q -q  0  0
    q  q  0  0
    0  0  q  q
    0  0 -q  q];
BM(:, :, 4) = [... % -pi/4 ir -pi/4
    q -q  0  0
    q  q  0  0
    0  0  q -q
    0  0  q  q];
% saveikauja x1 su x3 ir x2 su x4
BM(:, :, 5) = [... % pi/4 ir pi/4
    q  0  q  0
    0  q  0  q
    -q  0  q  0
    0 -q  0  q ];
BM(:, :, 6) = [... % pi/4 ir -pi/4
    q  0  q  0
    0  q  0 -q
    -q  0  q  0
    0  q  0  q ];
BM(:, :, 7) = [... % -pi/4 ir pi/4
    q  0 -q  0
    0  q  0  q
    q  0  q  0
    0 -q  0  q ];
BM(:, :, 8) = [... % -pi/4 ir -pi/4
    q  0 -q  0
    0  q  0 -q
    q  0  q  0
    0  q  0  q ];
% saveikauja x1 su x4 ir x2 su x3
BM(:, :, 9) = [... % pi/4 ir pi/4
    q  0  0  q
    0  q  q  0
    0 -q  q  0
    -q  0  0  q ];
BM(:, :, 10) = [... % pi/4 ir -pi/4
    q  0  0  q
    0  q -q  0
    0  q  q  0
    -q  0  0  q ];
BM(:, :, 11) = [... % -pi/4 ir pi/4
    q  0  0 -q
    0  q  q  0
    0 -q  q  0
    q  0  0  q ];
BM(:, :, 12) = [... % -pi/4 ir -pi/4
    q  0  0 -q
    0  q -q  0
    0  q  q  0
    q  0  0  q ];

%--- Koeficientai: d0 d1 d2 d3 d4 R
DM = [ ...
    95.4 -2 -3 -4 -4
    55.3 -4 -2 -4 -3
    85.1 -4 -3 -2 -4
    70.7 -2 -3 -4 -4
    80.6 -3 -3 -4 -4
    75.9 -4 -4 -3 -2
    65.1 -2 -4 -4 -3

```

```

60.6 -4 -3 -4 -2
90.2 -4 -3 -2 -4
50.7 -3 -2 -4 -4 ];

DM(:,1) = DM(:,1)*2; % d0
DM(:,2:5) = DM(:,2:5)*4; % d1 d2 d3 d4
DM(:,6) = DM(:,1)*0.007; % R

%--- Didžiausias leistinas objekto numeris
OBJECT_NR_MAX = min([ size(DataMatrix,1) size(Coord_Matrix,1) ]);

% nuskaitome i-tojo variantu duomenis
V = DataMatrix(i,:);

T.X1min = V(1); T.X1max = V(2);
T.X2min = V(3); T.X2max = V(4);
T.X3min = V(5); T.X3max = V(6);
T.X4min = V(7); T.X4max = V(8);

xcoord = Coord_Matrix(i,:);

i_B = ziedas(i,size(BM,3));
B=BM(:,:,i_B);

i_D = ziedas(i,size(DM,1));
D=DM(i_D,1:5);
R=DM(i_D,6);
%-----
function C = ziedas(A,B)
% pvz transformacija:
% C = A @ B
% 1 1 3
% 2 2 3
% 3 3 3
% 1 4 3
% 2 5 3
% 3 6 3
% .....
C=rem(A,B);
if C==0
    C=B;
end

```