



VILNIAUS UNIVERSITETAS  
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS INSTITUTAS  
SISTEMŲ ANALIZĖS SKYRIAUS OPERACIJŲ TYRIMO SEKTORIUS

**DOKTORANTŪROS METINĖ ATASKAITA**  
2016 m. spalio mėn. 1 d. – 2017 m. rugsėjo mėn. 30 d.

INFORMATIKOS STUDIJŲ PROGRAMOS **DOKTORANTĖ NATALIJA POZNIAK**

---



**DISERTACIJOS TEMA:**

# KRIGINGO TAIKYMAS OPTIMIZAVIMUI IR EKSPERIMENTŲ PLANAVIMUI

**VADOVAS PROF. HABIL. DR. LEONIDAS SAKALAUSKAS**

---

**Įstojimo į doktorantūrą metai 2014 m. spalio mėn. 1 d.**

**Doktorantūros baigimo metai 2018 m. rugsėjo mėn. 30 d.**

# ANOTACIJA

---

Krigingas yra dažnai taikomas daugiamačių duomenų struktūrų tikimybiniam modeliavimui. Šis metodas ypač aktualus, kai pasinaudojant sukauptais duomenimis tenka įvertinti tikslo funkcijas, priklausančias nuo įvairių techninių ir ekonominių rodiklių. Darbas yra skirtas atstumų matricų, taikomų krigingui ir ekstrapoliavimui, savybių tyrimui bei jų taikymui daugiaekstremaliniam optimizavimui ir eksperimentų planavimui. Darbe sudaryti, pasinaudojant krigingu, daugiaekstremalinio optimizavimo algoritmai bus ištirti statistinio modeliavimo būdu ir palyginti su Bajeso, bei kitais globalinio optimizavimo metodais. Darbe sudarytus optimizavimo algoritmus numatoma pritaikyti inžinerinių ir bioinžinerinių eksperimentų planavimui.

# MOKSLINIŲ TYRIMŲ IR DISERTACIJOS RENGIMO ETAPAI

## Išlaikyti egzaminai:

---

Nr.	Dalyko pavadinimas	Kreditų skaičius ECTC	Atsiskaitymo data	Dalyko konsultantas
1.	Statistinis modeliavimas	7	2015 m. vasario mėn.	prof. habil. dr. L. Sakalauskas, dr. S. Minkevičius, doc. dr. Igoris Belovas
2	Skaitiniai metodai	9	2015 m. rugsėjo mėn.	prof. habil. dr. F. Ivanauskas, prof. habil. dr. M. Sapagovas, prof. habil. dr. A. Štikonas
3	Stochastinis programavimas	7	2016 m. spalio mėn.	prof. habil. dr. L. Sakalauskas, doc. dr. S. Minkevičius, doc. dr. Olga Kurasova
4	Duomenų gavyba	7	2016 m. spalio mėn.	prof. habil. dr. L. Sakalauskas, dr. Virginijus Marcinkevičius, doc. dr. Saulius Minkevičius

# Planuoti ir atlikti darbai

<b>Darbo pavadinimas:</b>	Atlikimo terminai
2.3. Empirinis tyrimas: 2.3.1. Krigingo metodo tyrimas statistinio modeliavimo būdu, pasinaudojus praktiniais ir kompiuteriu sumodeliuotais duomenimis; 2.3.2. Krigingo taikymas inžinerinių eksperimentų planavimui;	2016 m. spalio mėn. – 2017 m. gegužės mėn.
2.4. Gautų duomenų analizė, apibendrinimas, išvadų parengimas: 2.4.1. Gautų duomenų statistinė analizė; 2.4.2. Rezultatų apibendrinimas, esminių rezultatų išskyrimas; 2.4.3. Išvadų parengimas.	2017 m. birželio mėn. – 2017 m. rugsėjo mėn.

# Gautų rezultatų apžvalga

---

1. Parodyta, kad branduolio (Kernel) matrica rango  $K-1$  yra neneigiamai apibrėžta. Tokiu atveju branduolio matrica yra Gauso lauko kovariacijų matrica. Parodyta, kaip operacijas su atstumų su trupmeniniais laipsnių rodikliais matrica išreikšti per operacijas su branduolio matrica.
2. Sudarytas atsitiktinio Gauso lauko modelis, aprašomas atstumų matricomis su trupmeniniais laipsnių rodikliais.
3. Gautos Gauso lauko sąlyginio vidurkio ir sąlyginės dispersijos išraiškos pritaikytos duomenų ekstrapoliavimui.
4. Sukurtas ekstrapoliavimo metodas, pritaikytas inžineriniams uždaviniams spręsti (paviršinių nuotekų valymo filtrų užpildų efektyvumui modeliuoti).

# Euklido atstumų matrica

---

Tarkime, duomenys sudaro  $K$  – mačių vektorių rinkinį:  $X = (x_1, x_2, \dots, x_K)$

Tegul, matavimo duomenys, gauti šiuose taškuose atlikus matavimus arba sukurti kompiuteriu, atitinka rinkinį:  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_K)^T$

$A = [ (|x_i - x_j|)^\delta ]^K$  -  $K \times K$  **Euklido atstumų** su trupmeniniais laipsnių rodikliais matrica.

Čia  $|x_i - x_j| = (x_i - x_j)^T \cdot (x_i - x_j)$ ,  $0 \leq \delta \leq 1$ .

Kai  $\delta = \frac{1}{2}$ , gaunama visiems žinoma atstumų skaičiavimo formulė.



# Atstumų matricų su trupmeniniais laipsnių rodikliais

---

Apibrėžkime branduolio (Kernel) matricą:

$$F = -(I - E \cdot s^T) \cdot A \cdot (I - s \cdot E^T),$$

čia  $E = (1,1,1, \dots, 1)^T$ ,  $s \in R^K$ ,  $s^T \cdot E = 1$

Dažniausiai tiriama branduolio matrica, kai  $s = \frac{E}{K}$  arba  $s = (0,0, \dots, 1)$

Nagrinėjamame modelyje branduolio matrica  $F$  yra **Gauso lauko kovariacijų matrica**.

Atsitiktiniam Gauso lauko modeliui taikomas pagrindinis reikalavimas – kovariacijų matrica turi būti **teigiamai apibrėžta!**

---

Grįžkime prie duomenų vektorių rinkinio  $X = (x_1, x_2, \dots, x_K)$

Ir matavimų rinkinio  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_K)^T$

Parodytos branduolio matricos savybės leidžia apibrėžti Gauso lauką su vidurkiu

$$\mu = EZ(x, \omega)$$

$$s^T \cdot E \neq 1$$

ir kovariacijų matricą, kai:  $\text{cov}(Z(x, \omega)) = d^2 \cdot F$

## Gauso lauko parametru didžiausio tikėtimumo įverčiai

---

$$\mu = \frac{Y^T \cdot F^{-1} \cdot E}{E^T \cdot F^{-1} \cdot E} \xrightarrow{\text{Vidurkis}} \mu = \frac{Y^T \cdot A^{-1} \cdot E}{E^T \cdot A^{-1} \cdot E} \cdot (s_{K-1} + s_K) + Y^T \cdot \left( s - \left( \frac{A^{-1} \cdot E \cdot E^T \cdot A^{-1}}{E^T \cdot A^{-1} \cdot E} - A^{-1} \right) \cdot (s_{K-1} \cdot \tau + s_K \cdot \upsilon) \right)$$

$$d^2 = \frac{1}{K} \cdot \left( Y^T \cdot F^{-1} \cdot Y - \frac{(Y^T \cdot F^{-1} \cdot E)^2}{E^T \cdot F^{-1} \cdot E} \right) \xrightarrow{\text{Dispersijos parametras}} d^2 = \frac{2}{K} \cdot \left( \frac{(Y^T \cdot A^{-1} \cdot E)^2}{E^T \cdot A^{-1} \cdot E} - Y^T \cdot A^{-1} \cdot Y \right)$$

# Gauso lauko sąlyginio vidurkio ir sąlyginės dispersijos išraiškos pritaikytos duomenų ekstrapoliavimui

---

$$y(x) = E(Z(x, w)|Y) = Y^T \cdot F^{-1} \cdot \left( \rho + E \cdot \frac{(1 - \rho^T \cdot F^{-1} \cdot E)}{E^T \cdot F^{-1} \cdot E} \right) \quad \text{Ekstapoliatorius} \quad y(x) = Y^T \cdot A^{-1} \cdot \left( \tau - E \cdot \frac{E^T \cdot A^{-1} \cdot \tau - 1}{E^T \cdot A^{-1} \cdot E} \right)$$

$$s^2(x) = D(Z(x, w)|Y) = d^2 \cdot \left( 1 - \rho^T \cdot F^{-1} \cdot \rho + \frac{(1 - \rho^T \cdot F^{-1} \cdot E)^2}{E^T \cdot F^{-1} \cdot E} \right) \quad \text{Dispersija} \quad s^2(x) = d^2 \cdot \left( \tau^T \cdot A^{-1} \cdot \tau - \frac{(1 - \tau^T \cdot A^{-1} \cdot E)^2}{E^T \cdot A^{-1} \cdot E} \right)$$

$$\tau(x) = (|x_1 - x|^\delta, |x_2 - x|^\delta, \dots, |x_K - x|^\delta)$$

$\rho$  - atitinkamas branduolio matricos stulpelis

# Naujo ekstrapoliatoriaus gautų skaičiavimų rezultatų palyginimas su žinomu Shepard'o ekstrapoliatoriumi

TESTINĖ FUNKCIJA	APIBRĖŽIMO SRITIS
Branin $y_{TF}(x) = \left( x_2 - \frac{5x_1^2}{4\pi^2} + \frac{5x_1}{\pi} - 6 \right)^2 + 10 \left( 1 - \frac{1}{8\pi} \right) \cos x_1 + 10$	[-6,6]
Linear $y_{TF}(x) = x_1^2 + x_1 \cos(x_1) + x_2 \cos(x_2)$	[1,3]
Rosenbrook $y_{TF}(x) = 100(x_2 - x_1^2)^2 + (1 - x_1)^2$	[-5,5]

$y_{Shepard}(x)$  - Shepard extrapolator

$$TE_{Shepard} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y_{Shepard}(x_j^i) - y_{TF}(x_j^i))^2}$$

$$TE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y(x_j^i) - y_{TF}(x_j^i))^2}$$

$$MSE(y_{MSE}) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M s^2(x_j^i)}$$

**Shepard metodas:**

$$y(x) = \begin{cases} \frac{Y^T \cdot w(x)}{E^T \cdot w(x)}, & \text{if } |x_i - x| \neq 0 \quad \forall i \\ y_i, & \text{if } |x_i - x| = 0, \end{cases} \quad \text{svoriai:}$$

$$w(x) = \left( \frac{1}{|x_1 - x|^\sigma}, \frac{1}{|x_2 - x|^\sigma}, \dots, \frac{1}{|x_k - x|^\sigma} \right)$$

# Naujo ekstrapoliatoriaus gautų skaičiavimų rezultatų palyginimas su žinomu Shepard'o ekstrapoliatoriumi

PAKLAIĐŲ SKAIČIAVIMO REZULTATAI:

20 imčių po 200 taškų

TEST FUNCTION (Number of sample points 200)	$TE(y(x))$	$TE(y_{Shepard}(x))$	$\delta$	$MSE(y_{MSE}(x))$
BRANIN	9.675	118.076	1/3	16.802
	6.153	98.867	1/2	10.22
	4.083	77.873	2/3	6.42
LINEAR	0.073	1.309	1/3	0.145
	0.041	1.054	1/2	0.078
	0.024	0.796	2/3	0.042
ROSENBROOK	$2.921 \cdot 10^3$	$1.602 \cdot 10^4$	1/3	$4.424 \cdot 10^3$
	$2.12 \cdot 10^3$	$1.437 \cdot 10^4$	1/2	$3.048 \cdot 10^3$
	$1.586 \cdot 10^3$	$1.232 \cdot 10^4$	2/3	$2.165 \cdot 10^3$

# Naujo ekstrapoliatoriaus gautų skaičiavimų rezultatų palyginimas su žinomu Shepard'o ekstrapoliatoriumi

PAKLAUDŲ SKAIČIAVIMO REZULTATAI:

200 imčių po 20 taškų

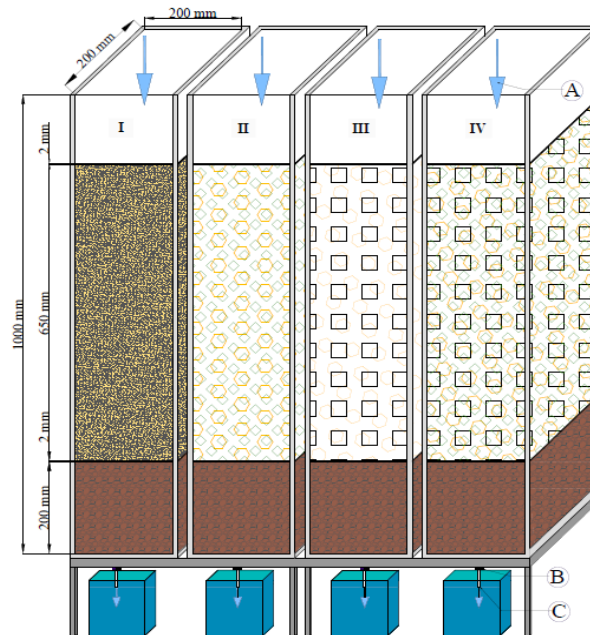
TEST FUNCTION (Number of sample points 200)	$TE(y(x))$	$TE(y_{Shepard}(x))$	$\delta$	$MSE(y_{MSE}(x))$
BRANIN	58.048	123.501	1/3	56.295
	48.23	109.614	1/2	42.866
	40.92	97.366	2/3	33.528
LINEAR	0.441	1.396	1/3	0.58
	0.306	1.211	1/2	0.397
	0.209	1.047	2/3	0.269
ROSENBROOK	$1.212 \cdot 10^4$	$1.68 \cdot 10^4$	1/3	$1.154 \cdot 10^4$
	$1.12 \cdot 10^4$	$1.589 \cdot 10^4$	1/2	$9.978 \cdot 10^3$
	$1.049 \cdot 10^4$	$1.511 \cdot 10^4$	2/3	$8.86 \cdot 10^3$

# Ekstrapoliatoriaus taikymas inžinerinių eksperimentų planavimui

## Paviršinių nuotekų valymo filtrų užpildų efektyvumo optimizavimas Skaičiuotajamas reikiamas santykis medžiagų, sudarančių užpildą



- 1 – kvarcinio smėlio filtras;
- 2 – smulkinto autoklavinio akytojo betono ir akmens vatos filtras;
- 3 – smulkinto autoklavinio akytojo betono ir bioanglies filtras;
- 4 – smulkinto autoklavinio akytojo betono, bioanglies ir akmens vatos filtras.



Filtrų užpildų duomenys (%):

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.667 & 0 & 0.333 \\ 0 & 0 & 0.333 & 0.667 \\ 0 & 0.333 & 0.333 & 0.333 \end{pmatrix}$$

Išvalymo efektyvumas

Filtrai	Pb	Cd	Zn	Cu
1	78.0	55.1	94.7	58.5
2	73.7	22.2	57.2	15.2
3	75.0	43.9	77.1	20.5
4	77.3	47.3	81.1	28.8



# Sunkiųjų metalų išvalymo efektyvumo optimizavimas

---

Naudojant Mathcad programą atliktas sunkiųjų metalų:

- ❖ vario (Cu)
- ❖ cinko (Zn)
- ❖ kadmio (Cd)
- ❖ švino (Pb)

išvalymo efektyvumo optimizavimas parenkant optimalius filtrų užpildų santykius.

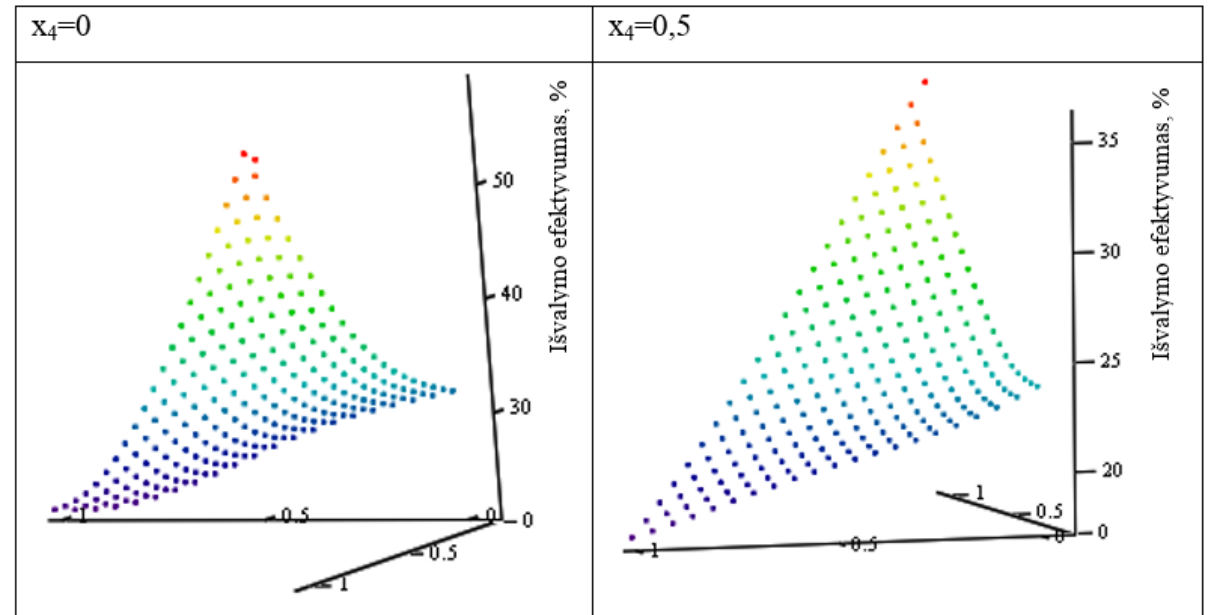
**Užpildų proporcijų vektoriai pažymėti  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ , čia  $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1$ .**

Eksperimentinių tyrimų metu atlikti filtrų su skirtingomis užpildų proporcijomis  $K=4$  matavimai.

Matavimais yra nustatytas filtrų efektyvumas, kuriam įtakos turi skirtingos filtro charakteristikos, kurios žymimos  $Y_1, Y_2, \dots$

**Vario (Cu)** charakteristika  $Y1=Cu$  pavaizduota trimate taškine diagrama imant įvairias užpildų  $x1$ ,  $x2$ ,  $x3$ ,  $x4$  proporcijas, kai filtras įrengiamas be kvarcinio smėlio ( $x4=0$ ) ir kai filtras įrengiamas iki pusės užpildžius kvarciniu smėliu ( $x4=0,5$ ), čia  $x3=1-x1-x2-x4$

Ekstrapoliavimo charakteristikos maksimizavimo rezultatai rodo, kad optimali filtro be smėlio užpildo konstrukcija yra  $x1=0,95$ ,  $x2=0,05$ ,  $x3=0$ ,  $x4=0$ , kai prognozuojama charakteristikos reikšmė yra  **$Y1=55,95$** . Optimali filtro iki pusės užpildyto smėlio konstrukcija yra  $x1=0,5$ ,  $x2=0$ ,  $x3=0$ ,  $x4=0,5$ , kai prognozuojama charakteristikos reikšmė yra  **$Y_1=35,01$**

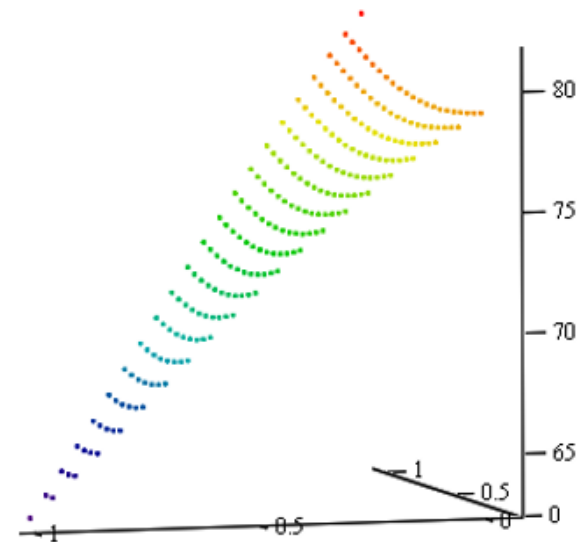


**Cinko (Zn)** charakteristika  $Y_2=Zn$  pavaizduota trimate taškine diagram, imant įvairias užpildų  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  proporcijas, kai filtras įrengiamas iki pusės užpildžius kvarciniu smėliu ( $x_4=0,5$ ), ir kai filtras įrengiamas su 0,03 % kvarcinio smėlio ( $x_4=0,03$ ) čia  $x_3=1-x_1-x_2-x_4$ .

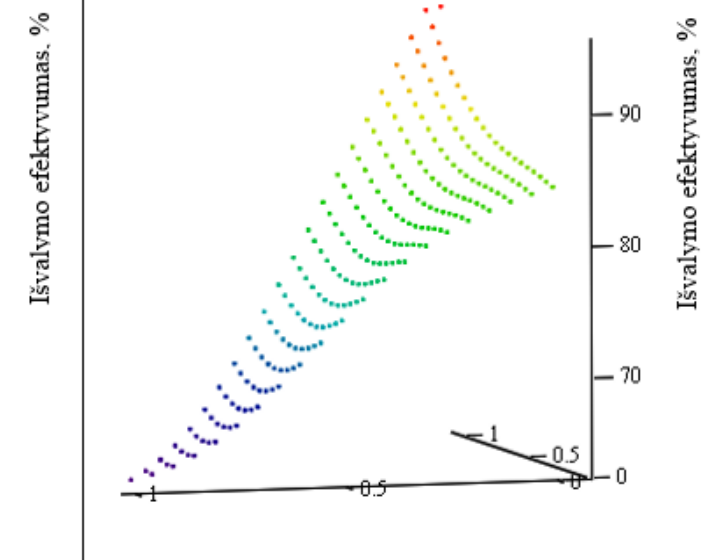
Ekstrapoliuojamos charakteristikos

maksimizavimo rezultatai rodo, kad optimali filtro iki pusės užpildyto kvarcinio smėlio užpildo konstrukcija yra  $x_1=0,5$ ,  $x_2=0$ ,  $x_3=0$ ,  $x_4=0,5$ , kai prognozuojama charakteristikos reikšmė yra  $Y_2=80,554\%$  Optimali filtro konstrukcija yra  $x_1=0,92$ ,  $x_2=0,03$ ,  $x_3=0,02$ ,  $x_4=0,03$ , tai prognozuojama charakteristikos reikšmė yra  $Y_2=92,479\%$

$x_4=0,5$



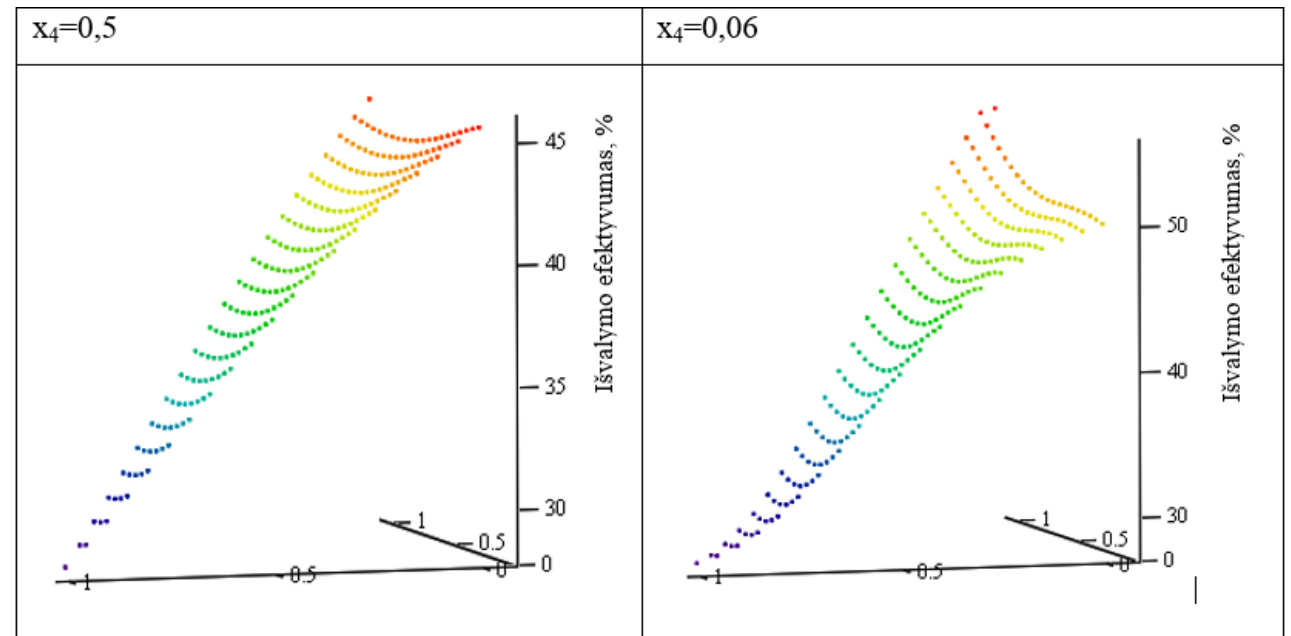
$x_4=0,03$



**Kadmio (Cd)** charakteristika  $Y_3=Cd$  pavaizduota trimate taškine diagram, imant įvairias užpildų  $x_1, x_2, x_3, x_4$  proporcijas, kai filtras įrengiamas iki pusės užpildžius kvarciniu smėliu ( $x_4=0,5$ ) ir kai filtras įrengiamas su  $0,06$  % kvarcinio smėlio ( $x_4=0,06$ ), čia  $x_3=1-x_1-x_2-x_4$ .

### Ekstrapoliuojamos charakteristikos

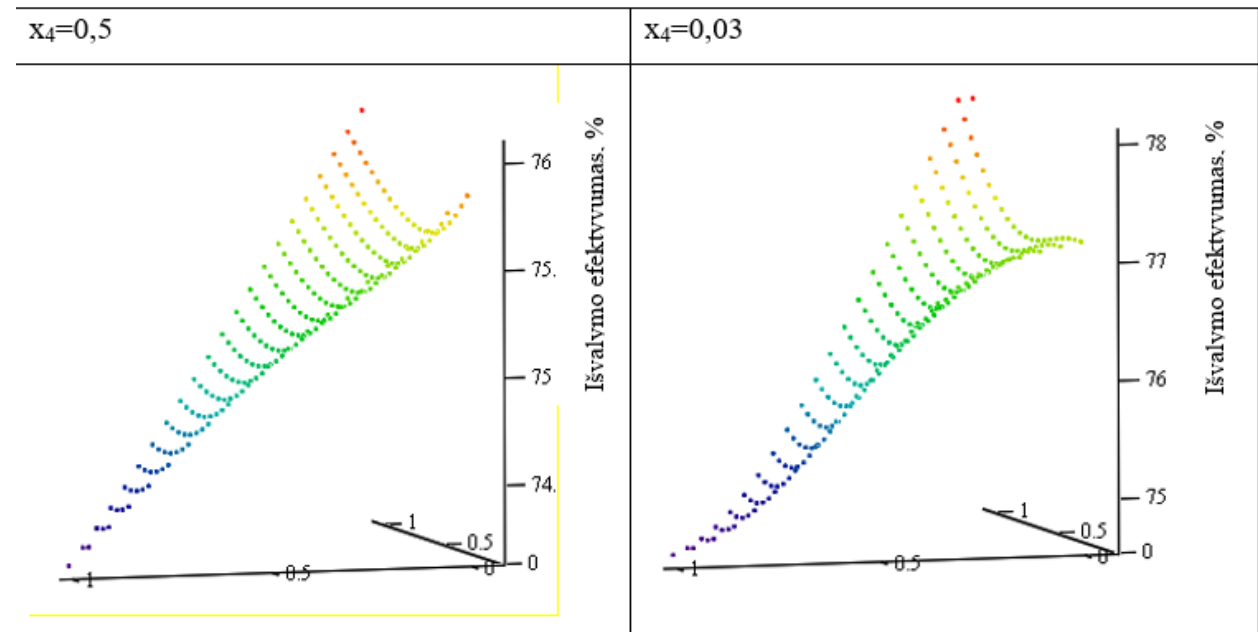
maksimizavimo rezultatai rodo, kad optimali filtro iki pusės užpildyto kvarcinio smėlio užpildo konstrukcija yra  $x_1=0, x_2=0, x_3=0,5, x_4=0,5$ , tai prognozuojama charakteristikos reikšmė yra  **$Y_3=45,637$  %**. Optimali filtro konstrukcija yra  $x_1=0,82, x_2=0,03, x_3=0,09, x_4=0,06$ , tai prognozuojama charakteristikos reikšmė yra  **$Y_3=51,88$  %**



Švino (Pb) charakteristika  $Y_4=Pb$  pavaizduota trimatė taškine diagrama, imant įvairias užpildų  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  proporcijas, kai filtras įrengiamas iki pusės užpildžius kvarciniu smėliu ( $x_4=0,5$ ) ir kai filtras įrengiamas su 0,03 % kvarcinio smėlio ( $x_4=0,03$ ), čia  $x_3=1-x_1-x_2-x_4$ .

Ekstrapoliuojamos charakteristikos

maksimizavimo rezultatai rodo, kad optimali filtro iki pusės užpildyto kvarcinio smėlio užpildo konstrukcija yra  $x_1=0,5$ ,  $x_2=0$ ,  $x_3=0$ ,  $x_4=0,5$ , tai prognozuojama charakteristikos reikšmė yra  $Y_4=75,962\%$ . Optimali filtro konstrukcija yra  $x_1=0,91$ ,  $x_2=0,02$ ,  $x_3=0,04$ ,  $x_4=0,03$ , tai prognozuojama charakteristikos reikšmė yra  $Y_4=77,725\%$



## Užpildų proporcijų optimizavimo rezultatai

<b>Užpildas</b>	<b>Krit.</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>TC</b>	<b>TN</b>	<b>SM</b>
	<b>Žym.</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	<b>Y<sub>4</sub></b>	<b>Y<sub>5</sub></b>	<b>Y<sub>6</sub></b>	<b>Y<sub>7</sub></b>
<b>Bioanglis</b>	<b>X<sub>1</sub></b>	0,95	0,92	0,82	0,91	0,01	0,93	0,94
<b>Akmens vata</b>	<b>X<sub>2</sub></b>	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03
<b>Akytasis betonas</b>	<b>X<sub>3</sub></b>	0	0,02	0,09	0,04	0,5	0,02	0,03
<b>Kvarcinis smėlis</b>	<b>X<sub>4</sub></b>	0	0,03	0,06	0,03	0,45	0,03	0
<b>Optimizavimas</b>	<b>%</b>	55,95	92,48	51,88	77,73	48,01	39,18	96,93

---

Išvados: Sudarytas matematinis modelis paviršinių nuotekų teršalų išvalymo optimizavimui apskaičiuojant optimalias užpildų proporcijas.

Matematinis modelis tinkamas ir kitų filtro charakteristikų, ne tik užpildų santykio, bet ir išlaikymo filtre trukmės, jo ilgaamžiškumo skaičiavimams.

## **DALYVAVIMAS KONFERENCIJOSE, SEMINARUOSE, KITOSE DOKTORANTŲ MOBILUMO VEIKLOSE (ERASMUS mobilumo programa, Mobilumo priemonės padaliniuose, kt.)**

---

Planuota veikla	Data
1. Dalyvavimas nacionalinėje arba tarptautinėje mokslinėje konferencijoje	2016 m. rugsėjo mėn.

Atlikta:	Data
1 Dalyvauta „Data Analysis Methods for Software Systems (9th DAMSS)” tarptautinėje konferencijoje. Tema: „Application of Fractional Euclidean distance matrices to extrapolation of scattered data “.	2016 m. gruodžio 1-3 d.
2 Dalyvauta „Informacinių technologijų iššūkiai kūrybos ekonomikoje“ respublikinėje mokslinėje konferencijoje. Tema: „Atstumų matricių su trupmeniniais laipsnių rodikliais taikymas duomenų ekstrapoliavimui “	2017 m. kovo 17 d.
3 Dalyvauta „Kompiuterininkų dienos – 2017“, XVIII tarptautinėje mokslinėje kompiuterininkų konferencijoje. Tema: „Atstumų matricių su trupmeniniais laipsnių rodikliais taikymas duomenų ekstrapoliavimui“	2017 m. rugsėjo 21 d.



# MOKSLINIŲ TYRIMŲ PUBLIKAVIMAS

## **Atlikta:**

### **Paruošta ir įteikta publikacija į ISI indekso žurnalą:**

Rūta Dadelo, Stanislav Dadelo, Natalija Pozniak, Leonidas Sakalauskas / THE 11-MONTH ANALYSIS OF TOP KAYAKERS' TRAINING INTENSITY DISTRIBUTION AND PHYSIOLOGICAL BASED ON USING PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS / Annals of Operations Research, ISSN: 0254-5330

### **Paruošta ir įteikta publikacija:**

Natalija Pozniak, Leonidas Sakalauskas / FRACTIONAL EUCLIDEAN DISTANCE MATRICES EXTRAPOLATOR FOR SCATTERED DATA/ *Jaunųjų mokslininkų darbai* , ISSN: 1648-8776

### **Ruošiama publikacija:**

Eglė Marčiulaitienė, Natalija Pozniak, Leonidas Sakalauskas / PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ VALYMO FILTRŲ UŽPILDŲ EFEKTYVUMO OPTIMIZAVIMAS TAIKANT MATEMATINĮ MODELIAVIMĄ/ *VGTU Mokslo žurnalas*

# 2017 m. spalio mėn. 1 d. – 2018 m. rugsėjo mėn. 30 d. darbų planas

## **Mokslinio tyrimo vykdymas:**

Atskirų daktaro disertacijos dalių (tyrimo metodikos, rezultatų, ginamų teiginių, išvadų ir kt.) parengimas:

3.1. Tikslų, uždavinių, tyrimo metodikos, ginamųjų teiginių patikslinimas;

3.2. Analitinės disertacijos dalies parengimas;

3.3. Teorinės disertacijos dalies parengimas;

3.4. Eksperimentinės disertacijos dalies parengimas;

3.5. Bendrųjų išvadų formulavimas.

2.3.2. Kringingo taikymas inžinerinių eksperimentų planavimui;

2017 m. spalio mėn. – 2018 m. rugpjūčio mėn.

Daktaro disertacijos parengimas ir svarstymas padalinyje

2018 m. rugsėjo mėn.

# Kita planuojama veikla

---

Dalyvavimas tarptautinėje mokslinėje konferencijoje Lietuvoje arba užsienyje	2017 m. gruodžio mėn.	
--	-----------------------	--

Dalyvavimas tarptautinėje mokslinėje konferencijoje užsienyje	2018 m. rugsėjo mėn.	
---	----------------------	--

**Preliminari mokslinės publikacijos tema,  
numatomas mokslo leidinys**

Data

Properties and applications of distance matrices  
(„Information Technology and Control” arba kitas  
periodinis mokslo leidinys)

2017 m. gruodžio mėn.