

RTU  
∞  
IZV

RTU  
INŽENIERZINĀTŅU  
VIDUSSKOLA

SKOLĒNU  
ZINĀTNISKĀS  
PĒTNIECĪBAS  
DARBU TĒZES

---

2022

SKOLĒNU  
ZINĀTNISKĀS  
PĒTNIECĪBAS  
DARBU TĒZES

---

2022

Rīgas Tehniskās universitātes Inženierzinātņu vidusskola  
Skolēnu zinātniskās pētniecības darbu tēžu krājums  
Nr. 3 (2022)

Sastādītāja *Mg. oec., Mg. sc. educ.* Līga Kamola

**Redakcijas kolēģija:**

*Mg. sc. ing.* Jēkabs Bumbieris

*Mg. math.* Stanislav Didych

*Mg. phys.* Aivars Eriņš

*Mg. chem.* Laura Fjodorova

*Mg. sc. educ.* Inguna Granta

*Ph. D.* Krista Gulbe

*Bc. chem.* Edijs Jansons

*Dr. phys.* Guntars Kitenbergs

*Bc. sc. ing.* Jēkabs Krīgerts

*Mg. geogr.* Aigars Lavrinovičs

*Mg. sc. comp.* Andrejs Liepiņš

*Dr. chem.* Jevgeņija Lugiņina

*Mg. phys.* Elza Līna Liniņa

*Dr. sc. ing.* Agris Ņikitenko

*Dr. chem.* Irina Novosjolova

*Dr. sc. ing.* Andrejs Pupurs

*Mg. sc. ing.* Jolanta Rimša

*Dr. sc. ing.* Kristaps Rubenis

*Dr. sc. comp.* Juris Siņica-Siņavskis

*Dr. oec.* Valērijs Skribans

*Mg. sc. ing.* Tatjana Solovjova

*Bc. sc. ing.* Alise Anna Stīpniece-Jekimova

*Mg. math.* Emīls Veide

*Dr. phys.* Virgīnija Vītola

Literārā redaktore Rūta Lapsa

Maketa un vāka dizains Paula Lore

Foto Eduards Lapsa

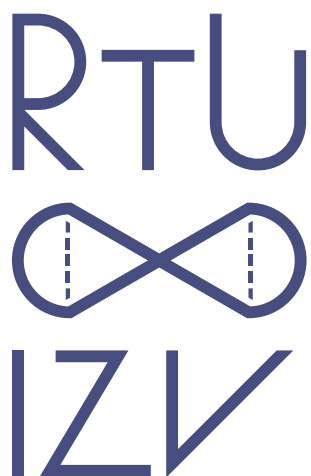
Izdevējs RTU Izdevniecība

© RTU Inženierzinātņu vidusskola, 2022

ISBN 978-9934-22-870-4 (print)

ISBN 978-9934-22-871-1 (pdf)

IZV skolēnu zinātniskās pētniecības darbu tēzes pieejamas: <http://www.izv.lv/>



RTU  
INŽENIERZINĀTŅU  
VIDUSSKOLA

SKOLĒNU  
ZINĀTNISKĀS  
PĒTNIECĪBAS  
DARBU TĒZES

---

2022



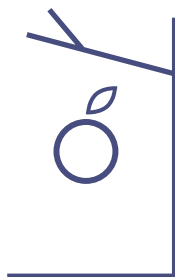
---

**IZV skolēni guvuši izcilus mācību sasniegumus valsts un starptautiska mēroga konkursos un mācību priekšmetu olimpiādēs, un skola neilgajā pastāvēšanas laikā saņēmusi vairākus apbalvojumus un pirmās vietas vairākos skolu reitingos, jau septiņus gadus pēc kārtas, saglabājot Latvijas labākās mazās skolas titulu Ata Kronvalda fonda reitingā un iegūstot ceļojošo balvu "Lielā Pūce".**

Mācību darbā skolai ir veiksmīga sadarbība ar RTU – augstskolas mācītbspēki iesaistījušies vairāku priekšmetu mācīšanās, un skolēniem ir iespēja izstrādāt savus pētniecības darbus RTU laboratorijās, veikt dažādus eksperimentus, ļaujot pārliecties par teorijas nozīmi praksē.

Katram IZV skolēnam jāizstrādā vismaz viens zinātniskās pētniecības darbs (ZPD). Skolēnu ZPD konkurss tradicionāli tiek organizēts trijos līmeņos: skolā; reģionā; valstī.

Šis ir trešais IZV skolēnu zinātnisko rakstu tēžu krājums, kurā publicētas to IZV skolēnu ZPD tēzes, kas ieguvušas apbalvojumu vismaz reģionālajā līmenī 2021. un 2022. gadā. Krājumā publicētās zinātnisko darbu tēzes apliecina, ka IZV skolēnu zinātniskās intereses ir ļoti daudzpusīgas – sākot no vides resursu atkārtotas izmantošanas iespējām un mežu saglabāšanas līdz ķīmiskajai sintēzei, inženierzinātnēm un matemātiskiem pētījumiem.



---

**Engineering High School (hereinafter EHS) of Riga Technical University (RTU), founded in 2015, is the first general secondary education institution in Latvia created by the university. The most talented students of EHS from all across Latvia study exact subjects in depth and prepare for engineering studies.**

The students of EHS have achieved excellent national and international academic achievements in different competitions and subject Olympiads, and school in a short term has received several awards and first prizes in several school rankings, for seven years in a row maintaining the title of the best small school in Latvia in the Atis Kronvalds Foundation competition "Lielā Pūce" ("Big Owl").

The school has a successful collaboration with RTU – the university's teaching staff are involved in teaching several

subjects and students have an opportunity to develop their research works in RTU laboratories, to perform various experiments allowing them to verify the importance of theory in practice.

Each EHS student must develop at least one scientific research paper (SRP hereinafter). The contest for students' scientific research is traditionally organized at three levels: school, regional, and country.

This is the third published collection of scientific theses of the students of EHS. These are theses of EHS students' SRP that have received an award at least at the regional level in 2021 and 2002. The theses published in the collection confirm that the EHS students' scientific interests are very diverse – from reusability of environmental resources and forest conservation to chemical synthesis, engineering and mathematical research.



- 8 Aija Egija Arnicāne, Mārtiņš Prokuratovs  
ELEKTROĢENERATORA UN FOSFORESCENCES  
IESTRĀDE AUTOSATIĶSMES ĀTRUMVALNĪ
- 13 Kaldis Kariņš Bērziņš  
INTERNETA VIETŅU IELĀDES OPTIMIZĀCIJA
- 18 Ērika Patrīcija Bitmete  
ALUMĪNIJA JONU KONCENTRĀCIJAS NOTEIKŠANA  
ŠĶĪDUMOS AR PĀRTIKAS PRODUKTIEM TUUVU PH PĒC  
TO MIJIEDARBĪBAS AR ALUMĪNIJA FOLIJU
- 22 Māris Broks  
BEZVADU TĪKLU AIZSARGĀTĀS UZSTĀDĪŠANAS  
IEVAINOJAMĪBAS UZBRUKUMI
- 26 Mārtiņš Čaune  
OPTIMĀLA KOMĒTU ATPAZĪŠANAS UN DATU  
APSTRĀDES ALGORITMA IZVEIDE
- 32 Kristaps Jukša  
JAUNS EKSPERIMENTĀLS IETVARS MAGNĒTISKI  
AKTĪVAI VIDEI
- 37 Bogdāns Grebņevs, Nikita Travins  
SPĀRNA PAGARINĀJUMA IETEKME UZ LIDAPARĀTA  
SPĀRNA AERODINAMISKAJĀM ĪPAŠĪBĀM
- 43 Lukass Roberts Kellijs  
MEŽA POSTĪJUMU – MIZGRAUŽU IDENTIFIKĀCIJA AR  
TĀLIZPĒTES PALĪDZĪBU LATVIJAS TERITORIJĀ
- 48 Valentīns Kopusovs  
SAULES PANEĻU SARAŽOTĀS  
ENERĢIJAS PROGNOZĒŠANA UN PROGNOŽU  
TICAMĪBAS PĀRBAUDE
- 53 Marks Henrijs Majors  
KOMPOZĪTMATERIĀLU SKIMBOARD SPORTA  
DĒĻA OPTIMIZĒTAS STRUKTŪRAS IZVEIDE UN  
EKSPERIMENTĀLA PĀRBAUDE

- 58 Valērija Meinardte  
AĻĢU AUGŠANA STRESA APSTĀKĻOS
- 64 Tālis Ozols  
PLAKNES PĀRKLĀŠANA AR VIENĀDĀM SNIEGPĀRSLĀM
- 68 Annija Patrīcija Paugule  
MEMBRĀNU PIEMĒROTĪBAS NOTEIKŠANA TIEŠAJAI  
OSMOZEI ŪDENS APSTRĀDES PROCESĀ, TO  
BIOĻOĢISKĀS AIZSĒRĒŠANAS NOVĒRŠANA
- 72 Elizabete Pliene  
LIETOTĀJA IETEKME UZ MOBILO 5G ANTENU DARBĪBU
- 77 Alfrēds Saročinskis, Petr Gabuniia  
JAUNU HIPOTĒŽU PAR PIRMSKAITĻU IZVIETOŠANU  
NATURĀLU SKAITĻU RINDĀ IZVEIDOŠANA
- 81 Beatrise Silava  
JAUNU BETULĪNU C(3) POZĪCIJĀS SAISTĪTU TRIAZOLU  
KONJUGĀTU SINTĒZE
- 86 Raivis Dāvis Steberis  
AR POLIMĒRU SAISTĪTU SO<sub>2</sub> SUROGĀTU IZSTRĀDE
- 92 Adrians Slics  
FAZILOĢIKAS LIETOJUMS ROBOTU VADĪBĀ
- 96 Viesturs Streļčs  
JAUNA METODE PURĪNA ATVASINĀJUMU SINTĒZĒ
- 101 Jānis Šņucītis  
DIVTAKTU DZINĒJA JAUDAS PALIELINĀŠANA
- 105 Anete Paula Tomiņa, Patrīcija Rocēna  
EĢĻU SKUJU MATERIĀLA IZMANTOŠANA  
VIENREIZLIETOJAMO KRŪZĪŠU IZGATAVOŠANĀ
- 111 Madara Elza Rudzīte, Jūlia Zilbere  
COVID-19 IZPLATĪBAS LATVIJĀ MATEMĀTISKĀ MODEĻA  
VEIDOŠANA







# Aija Egija Arnicāne, Mārtiņš Prokuratovs

## ELEKTROĢENERATORA UN FOSFORESCENCES IESTRĀDE AUTOSATIKSMES ĀTRUMVALNĪ

### Darba zinātniskie vadītāji

*Mg. phys.* Elza Līna Liniņa,

*Dr. phys.* Virģinija Vītola



## Kopsavilkums

Nepietiekami apgaismota ielu infrastruktūra mūsdienās ir aktuāla problēma, jo trūkuma novēršana palīdz uzlabot vitāli svarīgo satiksmes drošību. Tādēļ tika izpētītas iespējas izmantot ātrumvalni, sarunvalodā dēvētu par "guļošo policistu", lai izgaismotu satiksmes elementus. Darba autori ātrumvalnī iestrādāja elektroģeneratoru, kas, iedezot gaismas diodi, aktivizē uz infrastruktūras objektiem uzklātu luminiscento materiālu. Pētījumā analizēts elektroģeneratora un ātrumvalņa dizains, kā arī gaismas impulsa ietekme uz luminoforu un secināts, ka izveidotais elektroģenerators spēj pilnīgi nodrošināt *LED* gaismas diožu iedegšanos. Tāpat izpētīts, ka izvēlētā luminofora izmantošana pilsētvidē veic pietiekamu infrastruktūras izgaismošanu aptuveni 79 % diennakts tumšā laika stundu, taču konstrukciju izvietošana uz ceļa nav veiksmīga, ja tā izveidota kā saliekamā tipa ātrumvalņi.

## Atslēgvārdi

Elektroģenerators, ātrumvalnis, fosforescence, autosatiksmes.



## IEVADS

Ielu infrastruktūras redzamība vienmēr bijis aktuāls jautājums. Pietiekami apgaismotas ielas nepieciešamas, lai informētu satiksmes dalībniekus par ceļa zīmēm un

ceļa apzīmējumiem un to, kas sagaidāms ceļā, novēršot negadījumus. Lai gan līdz šim tumsā tādas satiksmes elementus kā ceļa zīmes un stabus bija iespējams redzēt to atstarojošo materiālu dēļ, šķietamā spīde nav autonoma. Vietās, kur objektīvu iemeslu dēļ apgaismes ierīces izvietot nav iespējams, naktī atstarojošos objektus redz tikai to transportlīdzekļu vadītāji, kuru gaismas ķermeņi apgaismo ceļu.

Lai samazinātu ceļa satiksmes negadījumu skaitu, apdzīvotās vietās tiek izvietoti arī ātrumvaļņi, kas rada diskomfortu autosatiksmes dalībniekiem, rosina ievērot ātruma ierobežojumus un samazina satiksmes intensitāti. Tie tiek novietoti, piemēram, izglītības iestāžu, viesnīcu, slimnīcu tuvumā un citviet, kur ir vērojama intensīva gājēju kustība. Ātrumvaļņi pastiprināti pievērš autovadītāja uzmanību ceļam un apkārtējai videi, līdz ar samazināto ātrumu ļaujot vieglāk un savlaicīgāk pamanīt citus satiksmes dalībniekus.

Darba autori ierosina vāji apgaismotās vides problēmu risināt, izmantojot luminiscentās tehnoloģijas. Ar luminoforu noklāts infrastruktūras objekts, piemēram, norādes gājējiem vai brīdinājuma zīmes, spīdēs ievērojamu laiku, ja vien tiks apgaismots pietiekami bieži. Lai nodrošinātu pietiekamu luminofora aktivizēšanu, netālu no satiksmes elementa ātrumvaļņi var tikt ierīkots elektroģenerators, kas, izmantojot pāri braucošo autotransportlīdzekļu mehānisko enerģiju, ražo elektroenerģiju. Šī enerģija īslaicīgi ieslēdz elektroģeneratoram pievienoto diodi, kas attiecīgi izgaismo luminoforu, liekot tam spīdēt vēl ilgi pēc ierosmes.

Izmantojot šādu infrastruktūras izgaismošanas metodi, ne tikai tiek uzlabota ceļazīmju, satiksmes dalībnieku un citu satiksmes elementu redzamība autovadītājiem, bet arī ekonomēti pieejamie resursi gaismas ķermeņu izmantošanai un popularizēta zaļā domāšana. Papildus tam arī dienas laikā satiksmes elementi šķietami spīdētu spožāk, vairāk pievēršot uzmanību. Rezultātā tiktu reducēts ar redzamības trūkumu saistīto ceļu satiksmes negadījumu skaits, savukārt transportlīdzekļu vadītāji samazinātu ātrumu ātrumvaļņa dēļ, padarot apdzīvoto teritoriju vidi vēl drošāku.

## Darba mērķis

Izpētīt iespējas izmantot ātrumvaļni efektīvai ielu infrastruktūras izgaismošanai ar luminiscentajiem materiāliem.

## Darba uzdevumi

1. Veikt literatūras avotu izpēti par elektroģeneratoru un luminiscences darbību.
2. Izveidot elektroģeneratoru un noteikt tā radītā gaismas impulsa ietekmi uz luminoforu.
3. Modelēt ātrumvaļņa dizainu, iekļaujot elektroģeneratoru un luminoforu.
4. Izveidot ātrumvaļņa konstrukciju, izvērtējot tā efektivitāti.



---

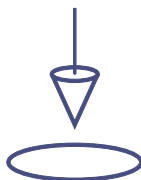
## DARBA METODOLOĢIJA

Lai efektīvi izveidotu galaproduktu un izvērtētu katras darba komponentes izstrādes kvalitāti, pētniecība iedalīta daļās. Pirmkārt, veikta teorētiskā elektromagnētisma

un luminiscences efektu izpēti, pārskatot pieejamos materiālus. Otrkārt, izveidots plāns ātrumvaļņa izveidei, apkopojot iegūtās zināšanas un izveidojot pēc iespējas vienkāršāk izstrādājamu, taču vienlaikus efektīvāku galaproduktu – autosatiksmes ātrumvalni.

Atsevišķi izveidots spoles kontūra elektroģenerators un praksē izpētīta luminofora spīdes intensitātes dinamika spektrometrā, materiālu apstarojot ar ultravioletās gaismas emisijas diodi. Vienlaikus sākts darbs pie ātrumvaļņa plānošanas, to veidojot no auksti velmēta tērauda sloksnēm. Izveidots galaprodukts, tajā ievietots izgatavotais elektroģenerators, kā arī pieslēgta gaismas diode, lai pārlicinātos par darba komponentu savienojamības iespējamību.

Galaprodukta darbība pārbaudīta praksē un novērtēta, izmantojot statistiskos lielumus. Izveidotajai konstrukcijai vairākkārt pārbrūkts pāri, lai pārlicinātos par tās īslaicīgo izturību, novērojot izveidotā mehānisma darbību darba vides apstākļos. Analizēti arī Valmieras valstspilsētas pašvaldības teritorijā veiktās transportlīdzekļu plūsmas uzskaites dati. Tajos īpaša uzmanība pievērsta autosatiksmes intensitātei nakts stundās, pamatojot izstrādātā risinājuma nepieciešamību un efektivitāti reālās dzīves situācijās.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

1. Ar izstrādāto elektroģeneratoru pietiekamai ātras mehāniskās kustības rezultātā var inducēt nepieciešamo elektrodzinējspēku gaismas emisijas diodes iedegšanai, kas izmantojams luminiscentā materiālā ierosināšanai un ilgspīdes nodrošināšanai.
2. Izvērtējot satiksmes intensitāti izvēlētajā pilsētā, secināts, ka luminofora emitētā gaisma pēc saņemta 300 ms ultravioletās gaismas impulsa spēj nodrošināt intensīvu infrastruktūras redzamību 79 % stundu diennakts tumšajā laikā, kas uzskatāms par augstas efektivitātes rādītāju un ir pietiekams ceļu satiksmes drošības uzlabošanai.
3. Apskatītais saliekamā ātrumvaļņa dizains var izraisīt bojājumus transportlīdzekļiem vai konstrukcijai un neinducē pietiekamu elektrodzinējspēku, tāpēc nav ieteicams to izmantot ceļu satiksmē, tomēr tā nepilnības var novērst, iestrādājot elektroģeneratoru masīva ātrumvalnī, kura darbības izpēti veicama turpmākos pētījumos.

---

## Atsauces

1. Blanc, F. S., Hagedorn, J., & Fleischer, J. (2018). Handbook of Coil Winding (1st ed. 20). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54402-0>.
2. Blundell, S. J. (2012). Magnetism: A Very Short Introduction (1st Editio). Oxford University Press.
3. Fujimoto, M. (2007). Physics of Classical Electromagnetism. Springer.
4. Giancoli, D. C. (2014). Physics for Scientists & Engineers (4th Editio). Pearson Education Limited.
5. Grunte, U. (2000). Elektronika. Apgāds "Jumava".
6. Joos, J. J., Smet, P. F., Seijo, L., & Barandiarán, Z. (2020). Insights into the complexity of the excited states of Eu-doped luminescent materials. *Inorganic Chemistry Frontiers*, 7 (4), 871–888. <https://doi.org/10.1039/c9qi01455a>.
7. Leighton, R. B., Sands, M., & Feynman, R. P. (2013). The Feynman Lectures on Physics: Vol. Mainly Ele (The New Mi). Basic Books.
8. McEwen, J. (2020). Jablonski diagram. <https://chem.libretexts.org/@go/page/1769>.
9. Obodovskiy, I. (2019). Luminescence. In *Radiation* (pp. 207–220). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63979-0.00012-4>.
10. Schaller, C. P. (2020). Fluorescence and Phosphorescence. <https://chem.libretexts.org/@go/page/41400>.
11. Semat, H., & Katz, R. (1958). Physics. Rinehart & Company, Inc.
12. SIA Latvijas standarts. (2010). LVS 99:2010 Ceļa ātrumvaļņi: Speed control humps (Patent No. 93.080.30, LVS/STK/15 Autoceļi).
13. Students, O. (1971). Optika. Izdevniecība "Zvaigzne".
14. The Human Eye's Response to Light. (n. d.). Retrieved December 8, 2020, from <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/PenetrantTest/Introduction/lightresponse.htm>.
15. Ulaby, F. T., & Ravaioli, U. (2015). Fundamentals of Applied Electromagnetics (7th Editio). Pearson.
16. Valmieras pilsētas pašvaldība. (2019). Traffic report : No\_Smiltenes.
17. Valmieras pilsētas pašvaldība. (2019). Traffic report : Upisa\_iela.
18. Valmieras pilsētas pašvaldība. (2020). Traffic report : Cesu\_iela.
19. Valmieras pilsētas pašvaldība. (2020). Traffic report : Kauguru\_iela.
20. Valmieras pilsētas pašvaldība. (2020). Traffic report : V. Baloza.
21. Van den Eeckhout, K., Smet, P. F., & Poelman, D. (2010). Persistent Luminescence in Eu<sup>2+</sup>-Doped Compounds: A Review. *Materials*, 3 (4), 2536–2566. <https://doi.org/10.3390/ma3042536>.
22. Zangwill, A. (2012). Modern Electrodynamics. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139034777>.
23. Путилов, К. А. (1949). Fizikas kurss (2. sējums). Latvijas Valsts izdevniecība. [http://gramatas.lndb.lv/periodika2-viewer/view/index-dev.html?lang=fr#panel:pp%7Cissue:/g\\_001\\_0309061071%7Cpage:5%7CissueType:B](http://gramatas.lndb.lv/periodika2-viewer/view/index-dev.html?lang=fr#panel:pp%7Cissue:/g_001_0309061071%7Cpage:5%7CissueType:B).

## Summary

Poorly lit street infrastructure is regarded as a pressing problem nowadays, as tackling the lack improves the safety of traffic, which is essential. Therefore a researched was performed on the feasibility of using a speed bump, commonly known in Latvian as '*guļošais policists*', to illuminate traffic elements. The authors of this work integrate an electrical generator into the speed bump, which excites luminescent material, applied to infrastructure objects when the light-emitting diode is lighted. The study analysed the

design of the electrical generator and the speed bump as well as the impact of the light stimulus on phosphors and concluded that the electrical generator is fully capable of the illumination of LED lights. It has also been found that the use of the chosen phosphor in the urban environment ensures sufficient infrastructure illumination at about 79 % of one hour periods during the dark hours of the day. Nevertheless, using the design on the street is not successful if it has been made as a prefabricated speed bump.

# Kaldis Kariņš Bērziņš



## INTERNETA VIETŅU IELĀDES OPTIMIZĀCIJA

### Darba zinātniskie vadītāji

*Bc. sc. ing.* Jēkabs Krīgerts,

*Mg. sc. comp.* Andrejs Liepiņš

### Kopsavilkums

Darbā apskatīts interneta vietņu optimizēšanas lauks. Mūsdienās vietnes kļūst arvien lielākas, un tas var palēnināt to ielādi. Dažādas optimizācijas spēj samazināt ielādes laiku, samazinot vietnes izmēru vai saglabājot tās datnes vietēji. Tiek apskatītas dažādas jau esošas metodes, lai saprastu to darbības principus.

Izmantojot un papildinot esošo pieeju principus, autors izveidojis jaunu metodi, kas saglabā bibliotēkas lietotāja datorā un aizvieto vaicājumus pēc tām vietnes atvēršanas laikā. Autors izstrādājis arī idejas prototipu *Google Chrome* paplašinājuma veidā. Lai novērtētu tās efektivitāti, tika izmērīts laiks, ko izveidotā metode ietaupīja dažādām populārām bibliotēkām, kas bija savienojamas ar metodes prototipu. Uzlabojums dažos gadījumos ir tikai dažas milisekundes, taču ar lēnāku interneta ātrumu – pat 40 sekundes.

Darbā secināts, ka noteiktos gadījumos metode ir efektīva un spēj ietekmēt lietotāja pieredzi, izmantojot internetu. Autors saskata iespējamus lietojumus vietās, kur vēl nav pieejams 4G mobilais internets, jo, simulējot līdzīgus apstākļus, tika iegūti lieli laika ietaupījumi. Autors definē arī veidus, kā metodi uzlabot, lai palielinātu tās efektivitāti, tai skaitā – pareģošanas sistēmu, kas varētu pati izvēlēties, kuras bibliotēkas saglabāt.

### Atslēgvārdi

Interneta vietne, *HTML*, *CSS*, *JavaScript*, optimizācija, ielādes laiks.



## IEVADS

Mūsdienās internetā vietnes arvien vairāk tuvojas veikspējai, kas tradicionāli ir pieejama tikai lokālām lietojumprogrammām, kas instalētas un saglabātas datorā vai mobilajā ierīcē. Programmētāji ir radījuši daudzas bibliotēkas, kas padara vietņu

veidošanu vieglāku un paver iespējas izveidot inovatīvas jaunu lietotāju saskarnes. Tomēr – tāpat kā tradicionālās programmas nereti ir vairākus gigabaitus lielas – šīs jaunās augstākas veiktspējas interneta vietnes var būt vairākus megabaitus lielas, tādējādi palēninot to ielādi. Tādēļ līdz ar jaunajām iespējām, ko sniedz internets, nāk jaunas metodes, kā samazināt vietņu ielādes laiku.

Autors izvēlējās veikt plašāku tēmas izpēti un izveidot jaunu optimizācijas metodi, jo attīstība vietņu ielādes optimizācijā var dot labumu daudziem interneta lietotājiem. Interneta tehnoloģijas strauji attīstās, un, ņemot vērā lietotāja pieredzi (angļu val. *User Experience*) nozarē, vietņu ielādes laiki ir svarīgi, lai lietotāji neatstāj to, pirms ielāde pabeigta. Lai nodrošinātu vislabāko lietotāja pieredzi, ir būtiska katra ielādes milisekunde (*Unbounce, b. g.*). Tādēļ ir svarīgi attīstīt ielādes optimizāciju, kas ļautu uzturēt zemu ielādes laiku arī lielākām vietnēm.

## Mērķis

Izstrādāt un novērtēt jaunu interneta vietņu ielādes optimizācijas metodi.

## Darba uzdevumi

1. Iepazīties ar esošajām ielādes optimizācijas metodēm.
2. Izstrādāt konceptu jaunai optimizācijas metodei.
3. Izveidot idejas prototipu.
4. Izmērīt tās efektivitāti interneta vietņu ielādes laika uzlabošanā.
5. Secināt, vai jaunā metode ir efektīva un lietojama.



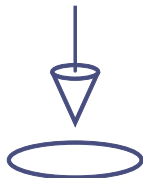
## DARBA METODOLOĢIJA

Darba gaitā izstrādāta jauna optimizācijas metode, kas saīsina vietņu ielādes laiku, kā arī prototips, kas realizē šo metodi. Izstrādātā metode lietotāja datorā saglabā populāras bibliotēkas, piedāvājot tās programmatūrai vietnes atvēršanas brīdī. Kad pārlūkprogramma veic vaicājumu pēc noteiktas bibliotēkas, tas tiek apturēts un atbildē tiek ievietots bibliotēkas *Javascript* kods. No pārlūkprogrammas skatupunkta vaicājums pēc bibliotēkas ir veiksmīgs un gandrīz vienāds oriģinālajam vaicājumam, atskaitot adresi. Skripti vietnē var izmantot bibliotēkas funkcijas bez vajadzības gaidīt atbildi no bibliotēkas servera.

Lai novērtētu koncepta efektivitāti, tika izstrādāts prototips, kas spēj veikt vienkāršākās funkcijas, t. i., bibliotēku saglabāšanu un aizvietošanu. Tika izveidots *Google Chrome* paplašinājums, jo tas ir portatīvs un dod piekļuvi pārlūkprogrammas iekšējai darbībai (*Chrome Developers, b. g.*). Programma saglabā visizmantotākās bibliotēkas operatīvajā atmiņā un aizvieto vaicājumus pēc tām ar vietēji saglabāto kodu.

Lai noskaidrotu, vai optimizācijas metode ir efektīva, tika veikti vietņu ielādes laiku mērījumi septiņām bibliotēkām: *Vue, React, jQuery, Lodash, Video.js, Backbone* un *Underscore*. Lai nodrošinātu uzticamus datus, visi mērījumi notika lokāli, t. i., bez interneta starpniecības, kas varētu ieviest neprecizitātes. Mērījumi tika veikti divos

interneta ātrumos: vidējā Latvijas mobilā interneta ātruma (35,46 Mb/s) (*Speedtest, b. g.*) un lēna 3G mobilā interneta ātruma (500 Kb/s) (*Strategy Analytics, b. g.*), kā arī gan izmantojot, gan neizmantojot minifikāciju.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Jaunā ielādes optimizēšanas metode uzlaboja vietņu ielādes laiku visām septiņām bibliotēkām. Lēnākā – 500 Kb/s – interneta ātrumā tika novēroti vislielākie laika ieguvumi, kas nereti pārsniedza 10 s vai 15 s. Arī tad, ja interneta ātrums bija 35,46 Mb/s, metode spēja uzlabot interneta vietņu ielādes laiku, samazinot to par 100–400 ms. Jaunajai optimizācijas metodei vislielākais ieguvums ir tad, ja interneta ātrums ir lēnāks, tādēļ tā būtu īpaši noderīga mobilajam internetam, kur savienojums bieži var būt lēns un nestabils. Tomēr šī metode izmanto daudz operatīvās atmiņas. Mobilajām ierīcēm bieži nav tik daudz operatīvās atmiņas, tādēļ tām varētu nepietikt atmiņas daudzām bibliotēkām, ierobežojot metodes lietojumu tieši vietā, kur tā varētu būt visnoderīgākā.

Tomēr vēl ir gadījumi, kur varētu izmantot jauno metodi. Mobilajām ierīcēm arvien pieaug operatīvās atmiņas izmērs. 4G tīkli ir standarts Eiropā un ASV, taču ir daudzas vietas pasaulē ar sliktāku interneta savienojumu, kur optimizācija varētu ievērojami samazināt vietņu atvēršanas laiku noteiktos gadījumos. Kešdarbe noteikti palīdz vietņu ielādes paātrināšanā, un kopā ar šo metodi tā var vēl vairāk saglabāt un samazināt atvēršanas laikus, ko rada lielas bibliotēku datnes.

---

### Atsauces

1. *634381 – Page scripts are run before script appended to page through contentScript. – chromium.* [online] [accessed 15 December 2020]. Available at: <https://bugs.chromium.org/p/chromium/issues/detail?id=634381>.
2. Alakuijala, Jyrki, Szabadka, & Zoltan. (2016). *Brotli Compressed Data Format.* [online]. Available at: <http://www.rfc-editor.org/info/rfc7932>.
3. *Babel · The compiler for next generation JavaScript.* (b.g.). [online] [accessed 1 November 2020]. Available at: <https://babeljs.io/>.
4. *BuiltWith Technology Lookup.* (b. g.). [online] [accessed 11 November 2020]. Available at: <https://builtwith.com/>.
5. *Chrome Developers.* [online] [accessed 15 December 2020]. Available at: <https://developer.chrome.com/>.
6. *CSP: script-src – HTTP | MDN.* [online] [accessed 17 December 2020]. Available at: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Headers/Content-Security-Policy/script-src>.



7. Langiu, A. (2013). On parsing optimality for dictionary-based text compression - [online]. The Zip case. *Journal of Discrete Algorithms*, 20, 65–70. [accessed 11 November 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jda.2013.04.001>.
8. Laurila, S. (2020). *Comparison of JavaScript Bundlers*. Metropolia University of Applied Sciences.
9. *React – A JavaScript library for building user interfaces*. [online] [accessed 31 October 2020]. Available at: <https://reactjs.org/>.
10. Sakamoto, Y., Matsumoto, S., Tokunaga, S., Saiki, S., & Nakamura, M. (2015). Empirical study on effects of script minification and HTTP compression for traffic reduction. *2015 3rd International Conference on Digital Information, Networking, and Wireless Communications, DINWC 2015*, 127–132. [accessed 11 November 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1109/DINWC.2015.7054230>.
11. Speedtest. *Speedtest Global Index – Latvia*. [online] [accessed 27 October 2020]. Available at: <https://www.speedtest.net/global-index/latvia>.
12. Strategy Analytics. (b. g.). *2G/3G Sunsetting and Migration to 4G*. [online] [accessed 17 December 2020]. Available at: <https://www.strategyanalytics.com/strategy-analytics/blogs/service-providers/mobile-operators/service-providers/2020/05/27/2g-3g-sunsetting-and-migration-to-4g>.
13. Teng, W. G., Chang, C. Y., & Chen, M. S. (2005). Integrating web caching and web prefetching in client-side proxies. [online]. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 16(5), 444–455. [accessed 11 November 2020]. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPDS.2005.56>.
14. Unbounce. [online]. *Think Fast: The Page Speed Report Stats & Trends For Marketers*. [accessed 17 December 2020]. Available at: <https://unbounce.com/page-speed-report/>.
15. *Video.js – Make your player yours / Video.js* [online] [accessed 28 October 2020]. Available at: <https://videojs.com/>.
16. *What is Backbone.js?* [online] [accessed 31 October 2020]. Available at: <https://backbonejs.org/>.
17. *What is jQuery?* [online] [accessed 31 October 2020]. Available at: <https://jquery.com/>.
18. *What is Lodash?* [online] [accessed 31 October 2020]. Available at: <https://lodash.com/>.
19. *What is Underscore.js?* [online] [accessed 31 October 2020]. Available at: <https://underscorejs.org/>.
20. *What is Vue.js?* [online] [accessed 28 October 2020]. Available at: <https://v3.vuejs.org/guide/introduction.html#what-is-vue-js>.

## Summary

The paper provides insight on internet page load optimization field. Modern websites are getting increasingly large, which can slow the load times considerably. Various optimizations can help combat this by decreasing the

size of the page or caching files locally. Various existing methods are analysed to understand the principles on which they are based. Using the principles of the analysed methods as a starting point, the

author created a new method that stores libraries on the disk, removing the need for additional calls to a server for retrieval. A prototype of this concept was also developed in the form of a *Google Chrome* extension. To measure efficacy, the time improvement that the novel method gave was measured for several popular libraries under various conditions. The improvement was sometimes only a few milliseconds but could reach 40 seconds with slow

3G speeds.

The paper concludes that the method is effective under certain conditions and it can impact the user experience during internet browsing. The author sees usefulness in places where 4G mobile internet is not yet a standard because during testing there were significant time gains under these conditions. The author sees many ways to improve the method, such as implementing a predictive system that can choose libraries to save.



# Ērika Patrīcija Bitmete

## ALUMĪNIJA JONU KONCENTRĀCIJAS NOTEIKŠANA ŠĶĪDUMOS AR PĀRTIKAS PRODUKTIEM TUVU PH PĒC TO MIJIEDARBĪBAS AR ALUMĪNIJA FOLIJU

### Darba zinātniskie vadītāji

*Mg. chem.* Laura Fjodorova,

*Mg. sc. ing.* Jolanta Rimša,

*Dr. sc. ing.* Kristaps Rubenis

### Kopsavilkums

Pasaulē plaši tiek izmantots tāds metāla izstrādājums kā alumīnija folija. To lieto arī ēdiena pagatavošanas procesā. Mūsdienās uztura speciālisti iesaka gatavot ēdienu alumīnija folijā, lai gatavošanas procesā nebūtu vajadzīgs izmantot papildu taukvielas, taču netiek padomāts par iespējamo alumīnija jonu nokļūšanu ēdienā. Ja no alumīnija folijas ēdienā nonāk alumīnija joni, tad, bieži un ilgstoši lietojot foliju cepšanai, cilvēka ķermenī var uzkrāties tam nevajadzīgs un lielos daudzumos bīstamais alumīnijs. Lai noskaidrotu, vai, gatavojot ēdienu alumīnija folijā, ēdienā var nonākt alumīnija joni, veikts pētījums, kura gaitā imitēti apstākļi, kādiem alumīnija folija ir pakļauta ēdiena gatavošanas laikā. Alumīnija folija vārīta sālsskābes šķīdumos ar atšķirīgu pH (imitējot dažādu pārtikas produktu pH), pēc kā noteiktas tās masas izmaiņas, kas radušās vārīšanas rezultātā, kā arī noteikta vārīšanai izmantotajā šķīdumā atrodamo alumīnija jonu koncentrācija.

### Atslēgvārdi

Alumīnija folija, ēdiena gatavošana, alumīnija joni, ēdiena pH, šķīduma vide.



---

## IEVADS

Alumīnija jonu koncentrācijas noteikšana šķīdumos ar pārtikas produktiem tuvu pH pēc to mijiedarbības ar alumīnija foliju ir aktuāla un svarīga tēma, jo ikdienā alumīnija foliju bieži izmanto dažādos nolūkos, tai skaitā arī ēdiena gatavošanā. Šī ir gan

Latvijā, gan pasaulē aktuāla problēma, jo alumīnija foliju plaši izmanto ēdiena gatavošanā, kā arī mūsdienās svarīgs ir kļuvis jautājums, cik daudz dažādu kaitīgu vielu cilvēki ikdienā uzņem ar uzturu.

Arvien vairāk cilvēku sāk apzināties veselīga uztura nozīmi veselības uzturēšanā un uzlabošanā. Ievērojot veselīgu uzturu, ļoti svarīgi ir sekot līdzi taukvielu patēriņam. Daudz taukvielu tiek uzņemts, ēdiena gatavošanā izmantojot tādus produktus kā eļļa, sviests u. c. Lai šīs nevajadzīgās taukvielas izslēgtu no uztura, dietologi iesaka ēdiena gatavošanas procesā biežāk izmantot alumīnija foliju.

Lai gan iespēja samazināt taukvielu patēriņu ir lielisks iemesls alumīnija folijas lietošanai, jāņem vērā, ka, lietojot alumīnija foliju, ēdienā var nonākt alumīnija joni. Regulāri un bieži uzņemot pārtiku, kas gatavota, lietojot alumīnija foliju, cilvēka ķermenī var nonākt alumīnija joni, kas organismam nav vajadzīgi un radīt kaitējumu veselībai. Lai varētu izvērtēt to, vai gatavot ēdienu alumīnija folijā ir kaitīgi, ir nepieciešams saprast, cik daudz alumīnija var nonākt ēdienā, to gatavojot alumīnija folijā.

## Mērķis

Noteikt alumīnija jonu koncentrāciju dažādās pH vidēs pēc termiskas un ķīmiskas apstrādes.

## Uzdevumi

1. Noteikt alumīnija folijas sastāvu ar rentgenspektroskopijas metodi.
2. Noteikt folijas masas izmaiņas, apstrādājot to ar dažādas koncentrācijas sālsskābes šķīdumu, imitējot dažādu ēdienu pH.
3. Noteikt alumīnija jonu koncentrāciju šķīdumā, kas iegūts pēc folijas apstrādes ar sālsskābi, izmantojot tilpumanalīzes (titrēšanas) metodi un induktīvi saistītās plazmas masspektrometrijas metodi.



## DARBA METODOLOĢIJA

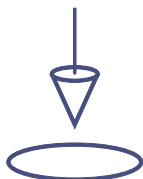
Alumīnijs ir amfotērs metāls – tas reaģē gan ar sārmiem, gan ar neorganiskām un organiskām skābēm. Pārtikas produktos galvenokārt ir sastopamas organiskās skābes, tāpēc alumīnija īpašība reaģēt ar organiskajām skābēm liecina, ka, gatavojot ēdienu alumīnija folijā, ēdienā varētu nokļūt alumīnija joni.

Analizējot dažādu pārtikas produktu pH līmeni, var secināt, ka tādiem pārtikas produktiem kā cūkgaļa un lasis, ko bieži gatavo, izmantojot alumīnija foliju, pH līmenis atbilst vāji skābai videi, taču to piedevu, piemēram, citrona pH līmenis ir krietni zemāks – šīs piedevas padara ēdienu būtiski skābāku un ar alumīniju reaģēt spējīgāku. Eksperimenta veikšanai iegādātas divas dažādas veikalos pieejamas alumīnija folijas. Abām alumīnija folijām ar rentgenspektrometrijas palīdzību tika noteikts to sastāvs. Pēc rentgenfluorescentās analīzes rezultātu iegūšanas pētījuma veikšanai tiek izvēlēta folija ar augstāku alumīnija jonu saturu.

Lai imitētu ēdiena pagatavošanu, alumīnija folija tiek vārīta sālsskābes šķīdumos

ar dažādu pH līmeni. Tika nolemts eksperimentu veikt četros dažādos pH līmeņos: pH = 2; pH = 3; pH = 4; pH = 5.

Izmantojot katru no šķīdumiem, kas iegūti pēc vārīšanas, veikta titrēšana, izmantojot vārīšanā iegūto šķīdumu, 0,05 M EDTA, pH 4 buferšķīdumu, eriohrommelnā T indikatoru, 0,05 M ZnSO<sub>4</sub>. Precīzākai šķīdumā nonākušā alumīnija daudzuma noteikšanai veikti metāla saturs mērījumi, izmantojot induktīvi saistītās plazmas masspektrometriju. Tika analizētas arī alumīnija folijas masas izmaiņas, kas radās vārīšanas laikā.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Pētījumā noteikts divu dažādu alumīnija foliju sastāvs, izmantojot rentgenspektroskopijas metodi. Pirmās alumīnija folijas sastāvā ir 97,98 % alumīnija, otrās alumīnija folijas sastāvā ir 98,92 % alumīnija. Pārējie foliju sastāvā konstatētie ķīmiskie elementi ir nenozīmīgā daudzumā.

Pētījuma gaitā izmantota pirmā alumīnija folija. Pēc alumīnija folijas mijiedarbības ar šķīdumiem, kuru pH tuvs pārtikas produktu pH, konstatētas alumīnija folijas masas izmaiņas. Lielākās masas izmaiņas novērotas pēc alumīnija folijas mijiedarbības ar šķīdumu, kura pH = 2 (masas izmaiņa vidēji 21 %).

Izmantojot induktīvi saistītās plazmas masspektrometriju, tika noteikta pēc vārīšanas iegūtajā šķīdumā nonākušais alumīnija jonu daudzums. Lielākā alumīnija jonu koncentrācija tika noteikta šķīdumā ar pH = 2 alumīnija koncentrācija vidēji 3537,5 mg/L). Izvērtējot iegūtos datus, var rekomendēt izvairīties no skābu produktu gatavošanas alumīnija folijā. Lai noteiktu precīzu alumīnija jonu koncentrāciju, ko uzņem ar folijā gatavotu ēdienu, un izvērtētu šo jonu iespējamo kaitīgo ietekmi uz cilvēka organismu, būtu nepieciešami tālāki pētījumi.

---

### Atsauces

1. *Aluminum* [online]. Royal Society of Chemistry [accessed 11 August 2020]. Aviable at: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/13/aluminium>.
2. *Aluminum Foil* [online]. How Products are Made [accessed 11 August 2020]. Aviable at: <http://www.madehow.com/Volume-1/Aluminum-Foil.html>.
3. *Aluminum Foil* [online]. Science Direct [accessed 11 August 2020]. Aviable at <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/aluminum-foil>.
4. *Aluminum Foil & Packaging* [online]. The Aluminum Association [accessed 11 August 2020]. Aviable at <https://www.aluminum.org/product-markets/foil-packaging>.

5. Bergmanis, U. (1996) *Neorganiskā ķīmija vidusskolām*. Rīga: Lielvārds, 231 lpp.
6. Frink, C. R., Peech, M. (1963) Hydrolysis of the Aluminum Ion in Dilute Aqueous Solutions. *Inorganic Chemistry*, 2 (3), 473–478.
7. ICP-MS [online]. Radboud University [accessed 25 January 2021]. Available at <https://www.ru.nl/science/gi/facilities-activities/elemental-analysis/icp-ms/>.
8. ICP-MS? [online]. The University of Texas at Austin [accessed 23 January 2021]. Available at <https://www.jsg.utexas.edu/icp-ms/icp-ms/>.
9. Induktīvi saistītās plazmas maspektrometrija [tiešsaistē]. Latvijas Universitātes mājaslapa [skatīts 2021. gada 25. janvārī]. Pieejams: <http://sadarbiba.lu.lv/kimija/induktivi-saistitas-plazmas-masspektrometrija-icp-ms>.
10. Master List of Typical pH and Acid Content of Fruits and Vegetables for Home Canning and Preserving [online]. Pick Your Own [accessed 5 November 2020]. Available at [https://pickyourown.org/ph\\_of\\_fruits\\_and\\_vegetables\\_list.htm](https://pickyourown.org/ph_of_fruits_and_vegetables_list.htm).
11. Sedwick, V., Leal, A., Turner, D., Kanu, A. B. (2018) Quantitative Determination of Aluminum in Deodorant Brands: A Guided Inquiry Learning Experience in Quantitative Analysis Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 95 (3), 451–455.
12. *The Health Effects of Aluminum Exposure* (2017) [online]. Deutsches Ärzteblatt International [accessed 11 August 2020]. Available at <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5651828/>.
13. *X-Ray Fluorescence Spectrometer* [online]. Bruker [accessed 4 January 2021]. Available at <https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/hand-held-xrf/x-ray-fluorescence-spectrometer.html>.

## Summary

Determination of aluminum ion concentration in solutions with pH level close to food products after their interaction with aluminum foil is an important because a metal product such as aluminum foil is widely used around the world. It is also used in the cooking process. Nowadays, nutritionists recommend cooking using aluminum foil, so that it is not necessary to use additional fats in the cooking process, but no consideration is given to the possible ingress of aluminum ions into the food. If aluminum ions enter the food from aluminum foil, then, if used frequently

and for a long time, unnecessary and dangerous amounts of aluminum can accumulate in the human body. To find out if aluminum ions can get into the food when cooking using aluminum foil, a study has been carried out to simulate the conditions to which aluminum foil is exposed during cooking. Aluminum foil was boiled in hydrochloric acid solutions with different pH (simulating the pH of different food products), after which the changes in mass resulting from boiling were determined as well as the concentration of aluminum ions in the cooking solution.



# Māris Broks

## BEZVADU TĪKLU AIZSARGĀTĀS UZSTĀDĪŠANAS IEVAINOJAMĪBAS UZBRUKUMI

**Darba zinātniskais vadītājs**

*Mg. sc. comp.* Andrejs Liepiņš

### Kopsavilkums

Bezvadu interneta tīklu (*Wi-Fi*) drošība ir svarīga katram lietotājam, jo nedrošā tīklā dati var tikt nonākt ļaundaru rīcībā. Darba teorētiskajā daļā tika apskatīta *WPS* protokola vēsture un tehniskā uzbūve, kā arī 2 *WPS* protokola uzbrukumu metodes – pilnā pārlase (*bruteforce*) un *Pixie Dust* uzbrukums. Darba praktiskajā daļā tika īstenoti abi iepriekšminētie uzbrukumi, lai varētu novērtēt *WPS* protokola drošību. Pilnās pārlases uzbrukums bija neefektīvs, jo pārlase notika pārāk ilgi un nesniedza rezultātu, *Pixie Dust* uzbrukums sniedza pieeju tīkla parolei un citiem datiem sekunžu laikā, kas liecina par *WPS* protokola zemo drošības līmeni.

### Atslēgvārdi

*WPS*, ievainojamība, piekļuves punkti, tīklu drošība, uzbrukums.



## IEVADS

Attīstoties tehnoloģijām, ar laiku parādījās daudz ierīču, kas atbalsta pieslēgšanos internetam bez vadiem, piemēram, portatīvie datori, viedtālruni, un tām ir nepieciešams internets, tādēļ uzplauka bezvadu tīklu tehnoloģijas (*Wi-Fi*). Lai gan mūsdienās ir ļoti daudz bezvadu tīklu, ir arī ļoti daudz ievainojamību, ar kuru palīdzību var ietekmēt bezvadu tīklu drošību – uzlauzt tīkla paroli, pārtvert tīklā esošos datus. Ievainojamību noteikšana var savlaicīgi aizsargāt tīkla īpašnieku un tā lietotājus no nesankcionētas piekļuves tīklam, kā arī aizsargāt lietotāju datus tīklā. Viens no visvieglākajiem veidiem, kā piekļūt bezvada tīkla parolei, ir izmantot *Wi-Fi Protected Setup* tehnoloģijas nepilnības un ievainojamības.

### Mērķis

Iepazīties ar *WPS* darbības principiem un praktiski īstenot *WPS* ievainojamības uzbrukumu bezvadu tīklam, noteikt aizsardzības mēru ievainotajiem tīkliem.

## Uzdevumi

1. Noskaidrot *WPS* funkcijas darbības principus bezvadu tīklos, salīdzināt uzbrukuma metodes tīkliem ar *WPS* funkciju.
2. Praktiski noteikt ievainojamo tīklu daudzumu.
3. Veikt *WPS* ievainojamības uzbrukumu uz bezvadu piekļuves punktiem, lai iegūtu nesankcionētu piekļuvi tīklam.
4. Analizēt iegūtos datus, noteikt drošības mērus, lai aizsargātu bezvadu tīklus no *WPS* ievainojamības.



---

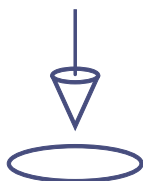
## DARBA METODOLOĢIJA

Praktiskajā daļā tika veikts *WPS* ievainojamības uzbrukums maršrutētājam *Huawei E5172*, kurā ir konfigurēts *WPS* protokols ar *PIN* pieslēgšanās režīmu. Uz maršrutētāja tika uzstādīta jaunākā programmatūras versija. *WPS PIN* kods tika iegūts pēc nejaušības principa no mājaslapas *random.org* – 20186036.

Uzbrukumi tika veikti no *ASUS Zenbook UM461DA* klēpjdatora, uz kura ir konfigurēta *Kali Linux (2020.3)* operētājsistēma. Uzbrukumā tika izmantota tīkla karte uz *Ralink 2070* mikroshēmas bāzes. Uzbrukumā tika izmantota programma "*Reaver*", kas ir iebūvēta *Kali Linux* distributīvā.

Izmantojot komandas "*sudo airmon-ng start wlan0*" un "*sudo wash -i wlan0mon*", tīkla karte tiek iestatīta monitoringa režīmā un sāk meklēt piekļuves punktus, kas atbalsta *WPS* protokolu. Kad programma atrod visus potenciāli ievainojamības skartos tīklus, tiek fiksēta upura tīkla *MAC* adrese, lai varētu turpmāk sākt uzbrukumu ar "*Reaver*" programmu.

*WPS "Pixie Dust"* uzbrukumā tika izmantots tas pats dators un tā pati tīkla karte, kas tika izmantota pārlasīšanas uzbrukumā. Uzbrukums tika veikts *Tenda W316R* maršrutētājam ar iespējotu rūtera *PIN WPS* pieslēgšanās funkciju. Uzbrukumā tika izmantotas "*Reaver*" un "*PixieWPS*" programmas, kas jau ir iebūvētas *Kali Linux* distributīvā.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Pārlasīšanas metodes uzbrukums bija nesekmīgs – tā gaitā netika iegūta piekļuves punkta parole vai *WPS PIN* kods. Uzbrukuma gaitā tika noskaidrots vidējais



uzbrukuma ātrums – 1 PIN kods 132 sekundēs, kas ir ļoti lēni. Lai pārlasītu visus iespējamajos PIN kodus pie šāda ātruma, būtu nepieciešamas 16 dienas. Šāds uzbrukums tīklam nav racionāls, un ir ieteicams izmantot citas metodes, piemēram, "Pixie Dust" WPS uzbrukumu.

"Pixie Dust" uzbrukums tika veikts veiksmīgi, un tā gaitā tika iegūts gan bezvadu piekļuves punkta WPS PIN kods, gan tā parole. Parole un PIN kods tika iegūti salīdzinoši ātri – kods 120 milisekundēs, parole – 71 sekundē. Vispirms tika iegūti visi nepieciešami dati PixieWPS programmai, tad ar tās palīdzību tika noteikts WPS PIN kods. Zinot WPS PIN kodu, var izmantot Reaver programmu, kurā kā papildu argumentu ievada tikko iegūto WPS PIN kodu, un programma izvada piekļuves punkta paroli.

Jāatzīmē, ka šis uzbrukums ne vienmēr izdodas, jo uzbrukums ir pielāgots populārāko maršrutētāju mikrosihēmām, ko ražo Ralink, Realtek, Celeno, Mediatek. Uzbrukums var nenotādāt uz jaunākām ierīcēm, kurās ievainojamības ir novērstas.

Ņemot vērā iepriekš teikto, var secināt, ka WPS protokols ir nedrošs un to nevajadzētu izmantot. Ieteicams to atspējot maršrutētāja iestatījumos, bet, ja tas jau ir atspējots, tad neizmantojot to. Ja tomēr parādās nepieciešamība lietot WPS protokolu, tad pēc veiksmīgas ierīces pieslēgšanas tīklam vajadzētu nekavējoties atslēgt WPS maršrutētāja iestatījumos.

---

## Atsauces

1. Bednarczyk, M., Piotrowski, Z. (2019). Will WPA3 really provide Wi-Fi security at a higher level? [online]. XII Conference on Reconnaissance and Electronic Warfare Systems, 2018, Oltarzew, Poland, [accessed 1 November 2020]. Available at: DOI: 10.1117/12.2525020.
2. Bongard, D. (2014). *Offline brute-force attack on WiFi Protected Setup*. [tiešsaisteonline]. HACK.LU 2014., [accessed 1 November 2020]. Available at: [http://archive.hack.lu/2014/Hacklu2014\\_offline\\_bruteforce\\_attack\\_on\\_wps.pdf](http://archive.hack.lu/2014/Hacklu2014_offline_bruteforce_attack_on_wps.pdf).
3. Higgins, T. (2008). *How is WPS supposed to work?* [tiešsaisteonline]. SmallNetBuilder, [skatīts 2020. gada 31. oktobrī]. Available at: <https://www.smallnetbuilder.com/wireless/wireless-features/30345-how-is-wps-supposed-to-work>.
4. Horowitz, M. (2015). *WIFI encryption – WPA3, WPA2 and WPA enterprise* [online]. Router Security, [accessed 31 October 2020]. Available at: <https://www.routersecurity.org/wepwpawpa2.php>.
5. Kali Linux Forums. (2013). *Thread: WPS pixie dust attack (offline WPS attack)*. [online]. Kali Linux Forums, [accessed 1 November 2020]. Available at: [https://forums.kali.org/showthread.php?24286-WPS-Pixie-Dust-Attack-\(Offline-WPS-Attack\)](https://forums.kali.org/showthread.php?24286-WPS-Pixie-Dust-Attack-(Offline-WPS-Attack)).
6. Kali Tools. *Kali Linux Tools Listing* [online]. Kali Linux, [accessed 1 November 2020]. Available at: <https://tools.kali.org/tools-listing>.
7. Qual, A. (2021). *What is WPS* [online]. Setup Router, [accessed 1 November 2020]. Available at: [Pieejams: https://setuprouter.com/wps/](https://Pieejams: https://setuprouter.com/wps/).
8. Slavin, B. (2013). *Wi-Fi Security – The Rise and Fall of WPS* [online]. NetStumbler, [accessed 1 November 2020]. Available at: <http://www.netstumbler.com/2013/01/18/wi-fi-security-the-rise-and-fall-of-wps/>.

9. Viehböck, S. (2011). *Brute forcing Wi-Fi Protected Setup*, [online]. [accessed 1 November 2020]. Available at: [https://sviehb.files.wordpress.com/2011/12/viehboeck\\_wps.pdf](https://sviehb.files.wordpress.com/2011/12/viehboeck_wps.pdf).
10. Viehböck, S. (2011). *Brute forcing Wi-Fi Protected Setup*. [online], [accessed 1 November 2020]. Available at: [https://sviehb.files.wordpress.com/2011/12/viehboeck\\_wps.pdf](https://sviehb.files.wordpress.com/2011/12/viehboeck_wps.pdf).
11. Wi-Fi Alliance. *Product finder* [online]. Wi-Fi Alliance, [accessed 1 November 2020]. Available at: [http://www.wi-fi.org/product-finder-results?sort\\_by=default&sort\\_order=desc&certifications=39](http://www.wi-fi.org/product-finder-results?sort_by=default&sort_order=desc&certifications=39).
12. Wi-Fi Alliance. *Who We Are* [online]. Wi-Fi Alliance, [accessed 1 November 2020]. Available at: <https://www.wi-fi.org/who-we-are>.
13. Wi-Fi Alliance. *Wi-Fi Protected Setup* [online]. Wi-Fi Alliance, [accessed 31 October 2020]. Available at: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-protected-setup>.

## Summary

The security of wireless internet network (Wi-Fi) is important to every user, as data can be compromised by a malicious attacker. The theoretical part of the work reviews the history and technical structure of the WPS protocol as well as 2 methods of WPS protocol attacks – bruteforce attack and Pixie Dust attack. In the practical part of the work, both of the above

attacks were implemented in order to assess the security of the WPS protocol. The bruteforce attack was ineffective because the PIN generation and testing took too long and failed, but the Pixie Dust attack gave access to the network password and other data just in a few seconds, indicating a low level of security for the WPS protocol.



# Mārtiņš Čaune

## OPTIMĀLA KOMĒTU ATPAZĪŠANAS UN DATU APSTRĀDES ALGORITMA IZVEIDE

**Darba zinātniskais vadītājs**

*Mg. sc. comp. Andrejs Liepiņš*

### Kopsavilkums

Darba mērķis ir atrast labāko komētu atpazīšanas, izgriešanas un kompresijas algoritmu kombināciju noteiktos fizikālos apstākļos, kur tiek uzņemts viens attēls sekundē, kura izmēri ir  $2048 \times 2048$  px (41 94 304 baiti), tā, lai ar to būtu iespējams nosūtīt visu svarīgo informāciju (tikai komētu) no satelīta uz Zemi, ja savienojuma ātrums ir 32 Kb/s. Tika apskatīti vairāki meklēšanas algoritmi: 1) lineārās meklēšanas algoritms; 2) binārās meklēšanas algoritms; 3) spirāles meklēšanas algoritms; 4) nejaušās meklēšanas algoritms. Tika apskatīti arī vairāki attēlu kompresijas algoritmi: *TIFF*, *JPEG*, *JP2000*, *PNG*. Tie tika iztestēti un salīdzināti dažādās jomās. Tika iegūts, ka noteiktajos fiziskajos apstākļos, kur komēta visbiežāk atrodas attēla centrā, vislabākā algoritmu kombinācija ir spirāles meklēšanas algoritms kopā ar *PNG* kompresijas algoritmu, iegūstot lietderības koeficientu 65,5. *TIFF* kompresijas algoritms, kas nerada zudumus pēc kompresijas, aizņem vairāk vietas nekā nekompresēts *RAW* formāta fails, kā arī *JPEG* kompresijas algoritms apskatītajos testa datos radīja 41 % datu zudumu, lai gan vidējā novirze no oriģinālajām pikseļu vērtībām bija 0,55 %. Spirāles meklēšanas algoritms noteiktajos apstākļos ir vairāk nekā divas reizes ātrāks.

### Atslēgvārdi

Atpazīšanas algoritmi, meklēšanas algoritmi, attēlu kompresijas algoritmi.



## IEVADS

Cilvēki vienmēr ir gribējuši zināt savu izcelsmi, izprast, kas, kāpēc un kā. Sākot ar reliģiskajiem skaidrojumiem un beidzot ar zinātniski pamatotām un pētītām hipotēzēm, piemēram, lielā sprādziena teorija. Lai sīkāk pētītu mūsu vēsturi, ir detalizētāk jāpēta Saules sistēmas rašanās vēsture, un tam ir nepieciešams ievākt analizējamus datus, taču tādu ir maz. Ar šiem datiem par komētu būtu iespējams saprast, kā ir veidojusies Saules sistēma, tās planētas un, iespējams, no kurienes nāk dzīvība. Šī iemesla dēļ tiek pētīti asteroīdi un komētas, kas nav skartas 4,5 miljardu gadu. Šādus asteroīdus

un komētas ir grūti atrast, jo tās atrodas Koipera joslā, kas atrodas no 30 AU līdz 55 AU jeb  $4,5 \cdot 10^{12}$  m līdz  $7,5 \cdot 10^{12}$  m attālumā no Saules un atstaro ļoti maz gaismas [1]. Vidēji reizi 10 gados kāds no šiem mazajiem sasalušās gāzes ķermeņiem izmaina savu orbītu un pietuvojas Saulei [11]. Kad tas notiek, šie ķermeņi uz īsu brīdi pietuvojas līdz sasniedzamiem un izpētāmiem attālumiem. Lai izpētītu šādus ķermeņus, ir vajadzīga ierīce, kas tam ir sagatavota jau iepriekš, jo nepieciešamā satelīta izveide aizņem vairākus gadus. Šim nolūkam ir projekts "*Optical Periscopic Imager for Comets*" [9]. Šī projekta gaitā tiek veidots instruments, kas īpaši būvēts komētu pārtveršanai un pētīšanai. Šis satelīts misijas laikā atrastos apmēram 1–2 AU no zemes, tāpēc tam būtu ierobežota atmiņa, kā arī svara ierobežojumu dēļ tas varētu pārsūtīt datus ar ātrumu 32 Kb/s. Visu iegūto datu saglabāšana un pārsūtīšana būtu ļoti lēna, tāpēc ir vajadzīgs algoritms, kas spēj apstrādāt daļu no datiem pirms sūtīšanas, t. i., apstrādāt uzņemtās bildes: atpazīt komētu, izgriezt to no  $2048 \times 2048$  px izmēra bildes, kompresēt un nosūtīt uz Zemi. Var pieņemt, ka satelīts uzņem vienu attēlu sekundē, attēla izmērs – 4 194 304 baiti.

Šobrīd zinātnē visvairāk izmantotā programma, kas apstrādā komētu attēlus, ir "*OpenComet*", tomēr šī programma ir paredzēta citāda veida attēliem [2]. Tā paredzēta teleskopu uzņemto attēlu apstrādei, lai meklētu komētas starp daudziem dažādiem debess ķermeņiem. Tomēr šajā darbā apskatītajā situācijā šis algoritms būtu pārāk lēns.

## Mērķis

Iepazīties ar bilžu apstrādes un saspiešanas algoritmiem un praktiski izveidot programmu komētu bilžu apstrādei.

## Uzdevumi

1. Izpētīt, kādi attēli, komētas atrašanās vieta tajos un kādi citi efekti ir sagaidāmi un jāņem vērā, balstoties uz fiziskajiem apstākļiem.
2. Izpētīt dažādus datu pārmeklēšanas algoritmus un izvēlēties vai izveidot optimālāko.
3. Izpētīt dažādus bilžu kompresijas algoritmus un salīdzināt tos.
4. Izveidot mācību datus izmantojot *SISPO* ("*Space Imaging Simulator for Proximity Operations*"), kas maksimāli līdzinātos reālai situācijai.
5. Izveidot programmu, kas veic apstrādāto bilžu kompresiju un salīdzina dažādos kompresijas algoritmus, izvērtējot zudumus un faila izmēru.
6. Izveidot programmu, kas apstrādā bildes, un testēt to.

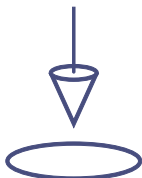


---

## DARBA METODOLOĢIJA

Eksperimenta gaita: 1) izveidot mācību datus izmantojot *SISPO* paplašinājumu programmā "*Blender*"; 2) izveidot programmu, kas salīdzina visas pikseļu vērtības starp diviem vienāda izmēra attēliem; 3) salīdzināt kompresijas algoritmus, izmantojot

iepriekš izveidoto programmu; 4) izveidot lineārās meklēšanas algoritmu, iekļaujot tajā aizsardzību pret kosmosa radiācijas pārgaismotajiem pikseliem; 5) izveidot spirāles meklēšanas algoritmu, kas iekļauj tās pašas sistēmas, ko iekļauj lineārās meklēšanas algoritms; 6) salīdzināt algoritmu kombinācijas.



## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Veiktie testi ar dažādajiem kompresiju algoritmiem deva visai negaidītus rezultātus, jo tikai viens no visiem kompresiju algoritmiem radīja zudumus. 3.1. tabulā redzams, ka vienīgais kompresijas algoritms, kas zaudēja 41 % datu, ir *JPEG*. Šī iemesla dēļ tas tālākajā darbā netika apskatīts. 2.2. attēlā redzams, ka *JPEG* kompresijas algoritma pazaudētā informācija visvairāk pazūd tieši tur, kur ir visvairāk informācijas, t. i., ko mētas atrašanās vietā, padarot datus nederīgus. Neviens cits kompresijas algoritms neradīja informācijas zudumus. Ir arī redzams, ka visefektīvākais kompresijas algoritms bija *PNG*, kam izdevās informāciju saspiest 6,645 reizes, nezaudējot to. Pēc tā seko *JP2000* algoritms ar saspiešanas koeficientu 4,159 un kompresijas algoritms *TIFF*, kas failu kopējo izmēru ir samazinājis 0,996 reizes, tātad tas failu izmēru ir palielinājis.

1. tabula

Kompresijas algoritmu efektivitāte un radītie zudumi

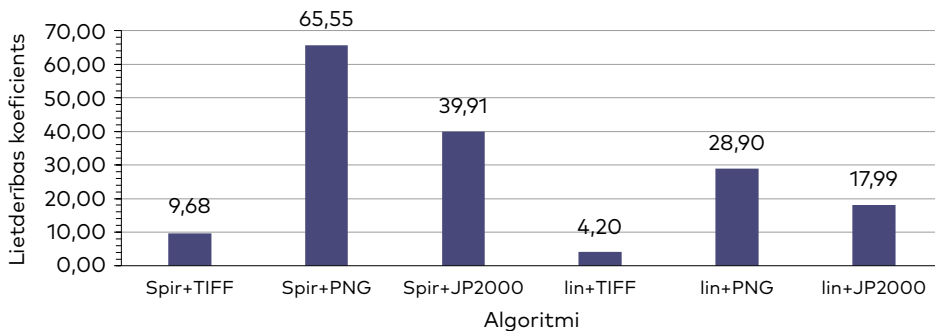
Datu apstrādes algoritms	Pazaudētā informācija, %	Pazaudētās informācijas vidējā novirze	Saspiešanas koeficients
TIFF	0,000	0,000	0,996
PNG	0,000	0,000	6,645
JP2000	0,000	0,000	4,159
JPEG	41,011	1,406	36,148

Apskatot meklēšanas algoritmu testu rezultātus (3. tab.), ir redzams, ka spirāles algoritms ir pārbaudījis visas 248 bildes vairāk nekā 2 reizes ātrāk par lineāro algoritmu. Tas nozīmē, ka šis algoritms ir efektīvāks par lineārās meklēšanas algoritmu. Tabulā un grafikā izmantotais apzīmējums *Spir + [kompresijas algoritms]* raksturo spirāles algoritmu kopā ar kādu kompresijas algoritmu. Savukārt *lin + [kompresijas algoritms]* apzīmē lineāro meklēšanas algoritmu kopā ar kādu kompresijas algoritmu. Ir iespējams novērot, ka gan starp spirāles meklēšanas, gan lineārās meklēšanas algoritmiem visātrākais ir bijis *PNG* kompresijas algoritms, kā arī to, ka, tikai izgriežot svarīgo informāciju, izdevās informācijas daudzumu samazināt 317 reizes.

## Meklēšanas algoritmu efektivitāte

Datu apstrādes algoritms	Apstrādājamo failu daudzums	Apstrādājamo failu kopējais izmērs, baiti	Pēcāpstrādes failu izmērs, baiti	Samazināšanās koeficients	Apstrādes laiks, s	Lietderības koeficients
<i>Spir + TIFF</i>	248	1 040 187 392,00	3 296 784,00	315,52	32,60	9,68
<i>Spir + PNG</i>	248	1 040 187 392,00	494 356,00	2104,13	32,10	65,55
<i>Spir + JP2000</i>	248	1 040 187 392,00	789 819,00	1316,99	33,00	39,91
<i>Spir + RAW</i>	248	1 040 187 392,00	3 285 024,00	317	31,80	9,97
<i>lin + TIFF</i>	248	1 040 187 392,00	3 296 784,00	315,52	75,10	4,20
<i>lin + PNG</i>	248	1 040 187 392,00	494 356,00	2104,13	72,80	28,90
<i>lin + jp2000</i>	248	1 040 187 392,00	789 819,00	1316,99	73,20	17,99
<i>lin + RAW</i>	248	1 040 187 392,00	3 285 024,00	317	71,20	4,45

Apskatot 1. attēlā redzamo algoritmu kombināciju lietderības koeficientus, var redzēt, ka visefektīvākais ir spirāles meklēšanas algoritms apvienojumā ar *PNG* kompresijas algoritmu, vidēji samazinot failu izmērus 65,55 reizes sekundē. Nākamā algoritmu kombinācija pēc efektivitātes ir spirāles meklēšanas algoritms ar *JP2000* kompresijas algoritmu. Efektīvākais no lineārajiem algoritmiem ir lineārais meklēšanas algoritms, kas kombinēts ar *PNG* kompresijas algoritmu, vidēji samazinot failu izmērus 28,90 reizes sekundē.



1. attēls. Algoritmu kombināciju lietderības koeficienti.

Ar pieņemtajiem sākotnējiem parametriem – satelīta parametriem, pieejamo datu pārraides ātrumu 32 Kb/s, sekundē uzņemtu vienu attēlu ar sākotnējo izmēru 4 194 304 bairi – kā derīgas algoritmu kombinācijas, kas paspētu bez aizkavējumiem pārsūtīt datus, var uzskatīt visas, kuru lietderības koeficients ir lielāks par 35, tātad spirāles meklēšanas algoritms kombinācijā ar *PNG* vai *JP2000* kompresijas algoritmiem.

---

## Atsauces

1. Brownlee, D. E. "Comets," *Treatise Geochemistry Second Ed.*, vol. 2, pp. 335–363, 2013, doi: 10.1016/B978-0-08-095975-7.00128-5.
2. Gyori, B. M., Venkatachalam, G., *et al.* "OpenComet: An automated tool for comet assay image analysis," *Redox Biol.*, vol. 2, no. 1, pp. 457–465, 2014, doi: 10.1016/j.redox.2013.12.020.
3. ESA, "multimedia-gallery." 2015, [Online]. Available: [https://sci.esa.int/web/rosetta/multimedia-gallery?p\\_p\\_id=com\\_liferay\\_asset\\_publisher\\_web\\_portlet\\_AssetPublisherPortlet\\_INSTANCE\\_43018&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&com\\_liferay\\_asset\\_publisher\\_web\\_portlet\\_AssetPublisherPortlet\\_INSTANCE\\_4](https://sci.esa.int/web/rosetta/multimedia-gallery?p_p_id=com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_43018&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_4).
4. Luo, Y., Zhang, J., Tang, G. "Survey of orbital dynamics and control of space rendezvous," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 27, no. 1, pp. 1–11, 2014, doi: 10.1016/j.cja.2013.07.042.
5. Penquer, A. Gilard, O., *et al.* "Radiation effects on image sensors," vol. 10564, no. October 2012, p. 12, 2017, doi: 10.1117/12.2309026.
6. Rahim, R., Nurarif, S., *et al.* "Comparison Searching Process of Linear, Binary and Interpolation Algorithm," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 930, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1742-6596/930/1/012007.
7. Schwarzkopf, G. J., "3D Reconstruction of Small Solar System Bodies using Rendered and Compressed Images," 2020.
8. Shi, L. Z. *et al.*, "Parallel spiral search algorithm applied to integer motion estimation," *Signal Process. Image Commun.*, vol. 95, no. February 2020, p. 116279, 2021, doi: 10.1016/j.image.2021.116279.
9. Slavinskis, A. *et al.*, "Nanospacecraft fleet for multi-asteroid touring with electric solar wind sails," *IEEE Aerosp. Conf. Proc.*, vol. 2018-March, pp. 1–20, 2018, doi: 10.1109/AERO.2018.8396670.
10. Weik, M. H. "inverse square law BT – Computer Science and Communications Dictionary," M. H. Weik, Ed. Boston, MA: Springer US, 2001, p. 834.
11. Žagars, J., Vilks, I. *Astronomija augstskolām*. Rīga: Latvijas Universitāte, 2005.

## Summary

This study aims to find the best comet recognition, cropping and compression algorithm for specific physical conditions, where a photo by

size 2048 × 2048 px (4 194 304 bytes) is taken every second, so that all scientifically important information (only the comet) can be transmitted

via 32Kb/s connection from satellite to Earth. This study looks at multiple different search algorithms: 1) linear search algorithm; 2) binary search algorithm; 3) spiral search algorithm; 4) random search algorithm. This study also looks at different compression algorithms: TIFF, JPEG, JP2000, PNG. These algorithms were tested in different categories. It was found that at these specific physical conditions, where the comet most of the time is in the center of image, the best performing algorithm combination was

the spiral search algorithm combined with PNG image compression algorithm, granting the coefficient of utility coefficient 65.5. The TIFF compression algorithm with 0 % information loss took up more space than uncompressed format RAW, and JPEG lost 41 % of the information in the images, even though the lost information deviation was on average 0.55 % of the original value. The spiral search algorithm turned out to be more than two times faster than linear search algorithm at the given physical conditions.





# Kristaps Jukša

## JAUNS EKSPERIMENTĀLS IETVARS MAGNĒTISKI AKTĪVAI VIDEI

### Darba zinātniskie vadītāji

*Mg. phys.* Elza Līna Liniņa,

*Dr. phys.* Guntars Kitenbergs

## Kopsavilkums

Pētījuma mērķis ir radīt jaunu makroskopisku eksperimentālu ietvaru, kurā ir iespējams replicēt mikroskopiskas magnētiski aktīvas vides procesus, piemēram, magnētisku mikropeldētāju kustību. Šāda veida ietvaram ir potenciāla iespēja vienkāršot un daudzveidot aktīvas vides izpētes metodes. Darbā tiek pētīti izaicinājumi, ar kuriem saskaras mikroroboti, un tiem atbilstošās vides īpašības, kas ir jāatveido jaunajā ietvarā. Lai iegūtu magnētiski aktīvu vidi, tiek izmantotas Helmholca spoles, kas tiek pieslēgtas pie polaritāti mainošas shēmas, ļaujot periodiski mainīt magnētiskā lauka virzienu un perioda parametrus. Ietvara darbības demonstrācijai tika izvēlēts replicēt mikrorobotu, ko veido elastīgas magnētiskas stīgas deformāciju izraisīta kustība. Makroskopiskam analogam tika izvēlētas feromagnētiskas neodīma lodītes, kas ievietotas 3D drukātos plastmasas ietvaros, tādējādi samazinot to veidotās stīgas elastību. Eksperiments tika veikts glicerīnā, lai arī stīgas kustības radītās plūsmas tuvinātu mikroskopiskajiem modeļiem, nodrošinot mazu Reynoldsa skaitli. Eksperimenta laikā mājas apstākļos tika replicēta vide un kustība, kas ir kvalitatīvi un kvantitatīvi salīdzināma ar mikroskopiskos izmēros veiktiem novērojumiem. Ietvars ir viegli pielāgams arī daudzu citu esošu un jaunu procesu izpētē.

## Atslēgvārdi

Aktīva vide, magnētiskais lauks, roboti, 3D printeris.



## IEVADS

Patlaban viens no daudzsološākajiem bioinženierijas attīstības virzieniem ir mikrorobotu izveide un to funkcionalitātes paplašināšana. Šādi mikrometros mērāmi roboti, iespējams, nākotnē ļautu ārstiem piekļūt tādās ķermeņa vietās, kas šobrīd ir grūti pieejamas – smadzenes, mugurkauls, aknas u. tml. Mikrorobotu izmantošana samazinātu nepieciešamību veikt salīdzinoši plašus iegriezumus ādā tikai tāpēc, lai piekļūtu ārstējamam iekšējam orgānam. Turklāt mikrorobotu attīstība pavērtu arī plašas iespējas gēnu inženierijā.

Šī ideja nav jauna, tā popkultūrā ir parādījusies jau 1966. gadā, kad tika izlaista zinātniskās fantastikas filma "*Fantastic Voyage*". Filmā attēlota samazināta zemūdene, kas tiek ievadīta cilvēka asinsrites sistēmā ar mērķi novērst trombu pacienta smadzenēs. Lai gan šāda pieeja ar mikroskopisku zemūdeni nešķiet reālistiska, tomēr filmā attēlotās misijas mērķim pastāv līdzība ar uzdevumiem, ar kādiem saskartos bioinženierijas mikroroboti [5].

Patlaban mikrorobotu izstrādē zinātnieki un inženieri visbiežāk iedvesmojas no dabas – mikroskopiskos mērogos savu ekoloģisko nišu ieņēmuši daudzi organismi, kas pielāgojušies kustību veikšanai apstākļos, ar ko ikdienā nesaskaras lielāka izmēra organismi. Lielākoties pastāvošie dizaini paļaujas uz ārējām – ķīmiskām vai fizikālām – mijiedarbībām, lai nodrošinātu mikrorobotus ar uzdevumu veikšanai nepieciešamo enerģiju un vadību. Pastāv gan dažādi aktivizācijas mehānismi, gan arī dažādi pārvietošanās veidi – sākot ar tādiem, kas izmanto virsmas, lai atspertos, vai kustas kā spirāle, līdz pat tādiem, kas izmanto mikroorganismu hibrīdus jeb modificētas baktērijas un šūnas. Viens no biežāk izmantotajiem veidiem mikrorobota izstrādē paļaujas uz magnētiski aktīvu objektu, kas tiek darbināts un kontrolēts, izmantojot ārēju magnētisko lauku [6].

Tomēr mikrorobotu izpētē zinātnieki saskaras ar grūtībām, viena no ir kurām būtiska ir izpētes metožu sarežģītība un ierobežojumi, piemēram, vajadzība pēc ļoti precīziem instrumentiem un problēmas veikt novērojumus trīs dimensijās. Viens veids, kā šādu problēmu varētu apiet, ir izveidot eksperimentālu ietvaru, kas makroskopiskā līmenī kalpotu kā analogs mikroskopiskajām vidēm. Tas ļautu labāk izpētīt un aprakstīt šādu robotu kustības vieglāk kontrolējamos un novērojamos apstākļos.

## Mērķis

Izveidot eksperimentālu ietvaru, kurā ir iespējams replicēt mikroskopiskus procesus mīkstā vidē.

## Darba uzdevumi

1. Izpētīt īpašības, kas piemīt mikroskopiskām vidēm.
2. Radīt eksperimenta sistēmu ar kontrolējamu homogēnu magnētisko lauku.
3. Izveidot mikrorobota analogu makromērogā.
4. Radīt mikrorobota kustības analogu eksperimentālajā ietvarā.
5. Salīdzināt ar jaunā ietvara palīdzību iegūtos rezultātus ar mikroskopiskā vidē iegūtajiem.



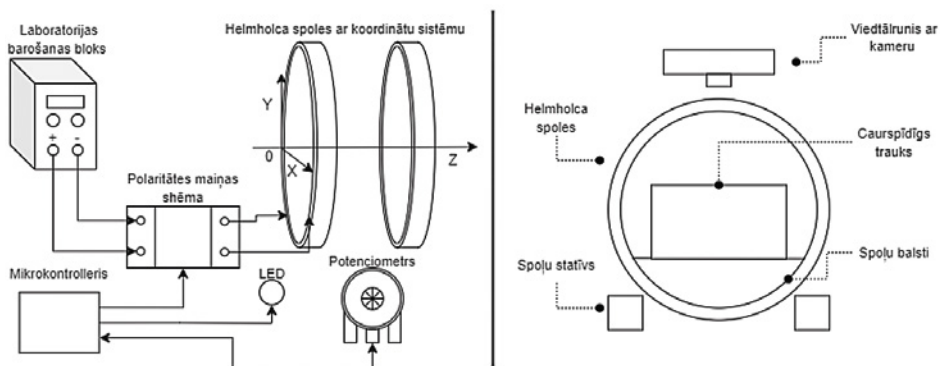
---

## DARBA METODOLOĢIJA

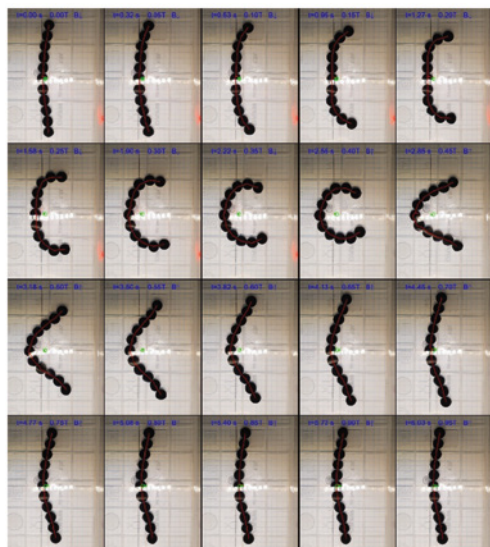
Lai iegūtu homogēnu magnētisko lauku, tika izmantotas Helmholca spoles. Ņemot vērā to, ka izmantotais barošanas bloks neatbalsta programmējamu polaritātes maiņu, tika izveidota ārēja shēma tās maiņai.

Lai radītu analoģu feromagnētiskajām mikrostīgām, tika izmantotas neodīma sa-  
 kausējuma feromagnētiskas lodītes ar 5 mm diametru. Šīs lodītes tika ievietotas  
 3D drukātos ietvaros, lai demonstrētu spēju regulēt lodīšu magnētisko mijiedarbību,  
 kvadrātiski samazinot iepriekš minēto magnētisko spēku starp magnētiskajām lodī-  
 tēm un samazinātu to radītās stīgas elastības koeficientu. 3D drukātie ietvari tika  
 iegūti, izmantojot SLA 3D printeri (*Elegoo Mars 2 Pro*).

Lai iegūtu kustību, eksperimentā tika mēģināts replicēt mikropeldētāja kustību, kas tika  
 iegūta nesēnā eksperimentā [12]. Tas sākās ar glicerīna ieliešanu caurspīdīgā traukā,  
 kas vēlāk kopā ar stīgu tika ievietots Helmholca spoļu iekšienē. Tika ieslēgts barošanas  
 bloks, un eksperimenta laikā kontrolēts lauka maiņas periods tā, lai pavediens neizveido  
 gredzenu. Eksperiments tika ierakstīts, izmantojot viedtālruni *Samsung Galaxy S10e*  
 kameru ar FHD (1920 × 1080 px) izšķirtspēju un ieraksta ātrumu 60 kadri sekundē.

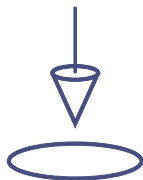


1. attēls. Kreisajā pusē – eksperimentālās iekārtas elektriskā interfeisa  
 shematiskais zīmējums ar koordinātu sistēmu, labajā pusē –  
 eksperimenta šķērsriezuma shematiskais zīmējums (autora attēls).



2. attēls. Viena pavediena kustības  
 cikla montāža ar laika, perioda un  
 lauka virziena atzīmēm (autora  
 attēls).

Lai apstrādātu iegūtos video failus, tika izmantots Latvijas Universitātes Magnētisku mīkstu materiālu laboratorijā pieejams *MATLAB* kods, kas ieguva pavediena masas centra atrašanos attiecībā pret laiku X un Z koordinātu sistēmā, sākotnēji iegūtie dati parādīja pārvietojumu starp pikseliem, tomēr tie tika pārveidoti milimetros, izmantojot fonā esošo rūtīņu lapu, kas ļāva ieviest mērogu.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

1. Izveidots eksperimentāls ietvars un parādīts, ka tas var kvalitatīvi replicēt mikroskopiskos mērogos redzamas mijiedarbības makroskopiskos izmēros.
2. Neskatoties uz vairāku lieluma kārtu atšķirību, ir demonstrēts makroskopisks mikrorobota analogs, kas gan kvalitatīvi, gan kvantitatīvi atdarina tā uzvedību un kustību.
3. Ir iespējams makroskopiskos izmēros kvantitatīvi atkārtot mikroskopiskos izmēros veiktus eksperimentus ar mikroskopiskiem mikrorobotiem.
4. Izveidotais ietvars ir vienkārši un daudzveidīgi pielāgojams dažādiem eksperimentiem un modeļiem. To ļauj vienkāršās mājas apstākļos izmantojamās iekārtas, viegli pieejamie materiāli un plašās 3D printeru prototipēšanas iespējas.

---

## Atsauces

1. Abelman, L., Hageman, T. A. G., P. Löhman, A., Mastrangeli, M., Elwenspoek, M. C. (2007). Three-dimensional self-assembly using dipolar interaction. *Sci. Adv.*, vol. 6, no. 19, pp. 6–10, 2020, doi: 10.1126/sciadv.aba.
2. Bente, K., Codutti, A., Bachmann, F., Faivre, D. (2018). Biohybrid and Bio-inspired Magnetic Microswimmers. *Small*, vol. 14, no. 29, pp. 1–25, 2018, doi: 10.1002/smll.201704374.
3. Borges, D. S., Herrmann, H. J., Carmo, H. A., Andrade, J. S., Araujo (2021). Morphological Transition between Patterns Formed by Threads of Magnetic Beads. *Phys. Rev. Lett.*, vol. 126, no. 11, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1103/PhysRevLett.126.118001.
4. Cebers, A., Erglis, K. (2016). Flexible Magnetic Filaments and their Applications. *Adv. Funct. Mater.*, vol. 26, no. 22, pp. 3783–3795, 2016, doi: 10.1002/adfm.201502696.
5. Ceylan, H., Giltinan, J., Kozielski, K., Sitti, M. (2017). Mobile microrobots for bioengineering applications. *Lab Chip*, vol. 17, no. 10, pp. 1705–1724, doi: 10.1039/c7lc00064b.
6. Choi, J., Hwang, J., Young, J. Kim, Choi, H. (2014). Recent Progress in Magnetically Actuated Microrobots for Targeted Delivery of Therapeutic Agents. *Adv. Healthc. Mater.*, vol. 10, no. 6, pp. 1–24, 2021, doi: 10.1002/adhm.202001596. Giancoli, *Physics Giancoli*.

7. Glycerol | C3H8O3 – PubChem. [online] [accessed Jan. 08, 2022]. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glycerol#section=Density>
8. Langins, A. (2016). *Makroskopisku magnētu ķēdes liekuma elastība*. Latvijas Universitāte Fizikas un matemātikas fakultāte Fizikas nodaļa Bakalaura darbs.
9. Lauga, E. (2011). Life around the scallop theorem. *Soft Matter*, vol. 7, no. 7, pp. 3060–3065, 2011, doi: 10.1039/c0sm00953a.
10. Marghussian, V. (2015). *Magnetic Properties of Nano-Glass Ceramics*.
11. Rapp, B. E. (2017). Fluids in *Microfluidics: Modelling, Mechanics and Mathematics*, Elsevier, , pp. 243–263.
12. Relay Switch Circuit and Relay Switching Circuit. [online]. [accessed Jan. 08, 2022]. Available at: <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/relay-switch-circuit.html>.
13. Schematical of magnetic fields induced by each of Helmholtz coils and... Download Scientific Diagram [online]. Available at: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-magnetic-fields-induced-by-each-of-Helmholtz-coils-and-the-corresponding\\_fig6\\_281204495/actions#reference](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-magnetic-fields-induced-by-each-of-Helmholtz-coils-and-the-corresponding_fig6_281204495/actions#reference) (accessed Jan. 15, 2022).
14. Spaldin, N. A. (2010). *Magnetic Materials*. Cambridge: Cambridge University Press,
15. Tierno, P., Snezhko, A. (2021). Transport and Assembly of Magnetic Surface Rotors\*\*. *ChemNanoMat*, vol. 7, no. 8, pp. 881–893, 2021, doi: 10.1002/cnma.202100139.
16. Zaben, A., Kitenbergs, G., Cēbers, A. (2021). Instability caused swimming of ferromagnetic filaments in pulsed field. *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-02541-3.

## Summary

The aim of this study is to create a new macroscopic experimental framework in which it would be possible to replicate activities occurring in active microscopic environments, such as movement of magnetic micro swimmers. This holds the potential to simplify and diversify methods of research into active environments. The study examines the challenges facing microrobots and the properties of their environment, which need to be simulated in the new framework. To create magnetically active environment, a pair of Helmholtz coils are used in combination with a polarity switching circuitry, which allows the change of period and parameters of the magnetic field. The demonstration

of the framework is accomplished by replicating a microrobot, created by a magnetic, elastic filament, which creates movement by deformation. To create a macroscopic analog of the filament, small neodymium beads incased in a 3D printed casing, to lower the elasticity of the filament, are used. The experiment is conducted in glycerin to provide lower Reynolds numbers for the flows created by the filament's movement. The experiment, which was conducted at home, managed to produce environment and movement, which was qualitatively and quantitatively comparable to that achieved in similar microscopic experiment. The framework is easily adaptable in research of current and new methods.

# Bogdans Grebņevs, Nikita Travins

## SPĀRNA PAGARINĀJUMA IETEKME UZ LIDAPARĀTA SPĀRNA AERODINAMISKAJĀM ĪPAŠĪBĀM

### Darba zinātniskais vadītājs

*Mg. phys.* Aivars Eriņš



### Kopsavilkums

Šis darbs ļauj iepazīties ar spārna projektēšanas izaicinājumiem. Pētījuma mērķis ir noteikt lidmašīnas spārna pagarinājuma ietekmi uz lidaparāta aerodinamiskajām īpašībām. Rezultātu iegūšanai tiek izmantotas trīs metodes: teorētiskais aprēķins; šķidrums un gāzu plūsmu dinamikas datormodelēšana (CFD); aerodinamiskais tuneļis (turpmāk – tuneļis). Darbā tiek salīdzināti modeļi ar trim dažādiem spārna pagarinājumiem – 5, 10 un 15. Teorētiskajos aprēķinos un datormodelēšanā aerodinamisko parametru vērtības tiek rēķinātas pilna izmēra lidaparāta prototipiem, savukārt tuneļī tas nav iespējams. Modeļa, kas tiek ievietots tuneļī, izmēru ierobežo tuneļa gabarīti, tāpēc, lai validētu datus, mērogotam modelim lieto līdzību teoriju. Rezultātā tiek iegūti un salīdzināti polārajās koordinātās trim dažādiem spārna pagarinājumiem, kas ir iegūti ar atšķirīgām metodēm. No iegūtiem rezultātiem tiek secināts, ka lielākam spārna pagarinājumam piemīt lielāka aerodinamiska kvalitāte.

Darbs izstrādāts Rīgas Tehniskās universitātes Mašīnzinību, transporta un aeronautikas fakultātes Aeronautikas institūtā no 2021. gada augusta līdz 2022. gada janvārim.

### Atslēgvārdi

Aerodinamika, spārna pagarinājums, aerodinamiskā kvalitāte, šķidrums un gāzu plūsmu dinamikas datormodelēšana, aerodinamiskais tuneļis.



## IEVADS

Inženieri nepārtraukti attīsta un modificē lidojošus aparātus ar mērķi paaugstināt to aerodinamisko efektivitāti. Šajās modifikācijās var iekļaut cēlējspēka palielināšanu, aerodinamiskās pretestības samazināšanu un tehnoloģijas racionalizēšanu. Tas nozīmē, ka ikvienai lidaparāta sastāvdaļai ir būtiska nozīme, jo cēlējspēks un aerodinamiskā pretestība ir atkarīgi no lidojoša ķermeņa aerodinamiskās formas.

Pamatojoties uz iepriekš sacīto, tiek definēts darba mērķis: aerodinamiski efektīva gaisa kuģa spārna pagarinājuma noteikšana un pārbaude. No tā izriet arī pētāmais jautājums: kā spārnu pagarinājums ietekmē lidojoša aparāta galvenās aerodinamiskās īpašības, tas ir, cēlējspēka koeficientu, kopējas un induktīvas pretestības spēka koeficientus, kā arī aerodinamisko kvalitāti. Izmantojot zinātnisko literatūru, tiek veikta detalizēta lidaparātu spārnu izpēte, kas iekļauj laukuma, spārna pagarinājuma un citu parametru analīzi. Šajā darbā galvenā uzmanība tiek pievērsta izaicinājumiem, ar kuriem sastopas inženieri parasta lidojuma laikā, t. i., lidojumā bez augstākās pilotāžas figūrām, nestandarta uzdevumiem, ekstremālām situācijām u. tml.

### Mērķis

Aerodinamiski efektīva gaisa kuģa spārna pagarinājuma noteikšana un pārbaude.

### Uzdevumi

1. Izpētīt spārnu parametru ietekmi uz lidaparāta aerodinamiskajām īpašībām.
2. Balstoties teorijas materiālos, izstrādāt trīs lidaparāta prototipa dizainus ar atšķirīgiem spārnu pagarinājumiem.
3. Veikt izstrādāto dizainu simulācijas datorprogrammā, pārbaudīt to aerodinamiskās īpašības.
4. Izgatavot izstrādāto lidaparātu prototipus un eksperimentāli pārbaudīt to aerodinamiskās īpašības tunelī.
5. Veikt iegūto datu analīzi un salīdzināt, kuram no apskatāmajiem modeļiem ir labāki aerodinamiskie parametri.



## DARBA METODOLOĢIJA

Lidaparāta aerodinamisko īpašību noteikšanai tiek izmantotas trīs metodes: teorētiskajā bāzē balstītie aprēķini; simulācija datorprogrammā; modeļa pārbaude tunelī.

## Aerodinamisko īpašību noteikšana ar teorētisko metodi

Spārna profila jeb spārna ar bezgalīgu pagarinājumu aerodinamiskās īpašības ir standarta lielumi, kas ir atrodami spārna profila specifikācijās. Ņemot vērā šos datus, ir iespējams pārrēķināt vajadzīgos koeficientus darbā apskatītajiem spārnu pagarinājumiem.

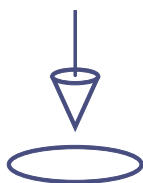
## Aerodinamisko īpašību noteikšana ar datorsimulāciju

Datorsimulācijas tiek veiktas *SolidWorks Flow Simulation* programmā, kas izmanto *CFD* metodi.

Tiek izstrādāti trīs pilnizmēra gaisa kuģa modeļi ar iepriekš definētiem parametriem, ar katru no tiem tiek veiktas datorsimulācijas dažādiem uzplūdes leņķiem. Izvēlētajā apkārtējā vide ir gaiss, spiediens ir vienāds ar atmosfēras spiedienu jūras līmenī. Uzplūstošās gaisa plūsmas ātrums tiek izvēlēts pēc prognozējamā kreisēšanas ātruma.

## Līdzību teorija

Aerodinamisko īpašību noteikšanai tunelī tiek izmantots lidmašīnas samazinātais modelis. Lai iegūtu pilnizmēra gaisa kuģim atbilstošas skaitliskas vērtības, ir nepieciešams izmantot līdzību teoriju.

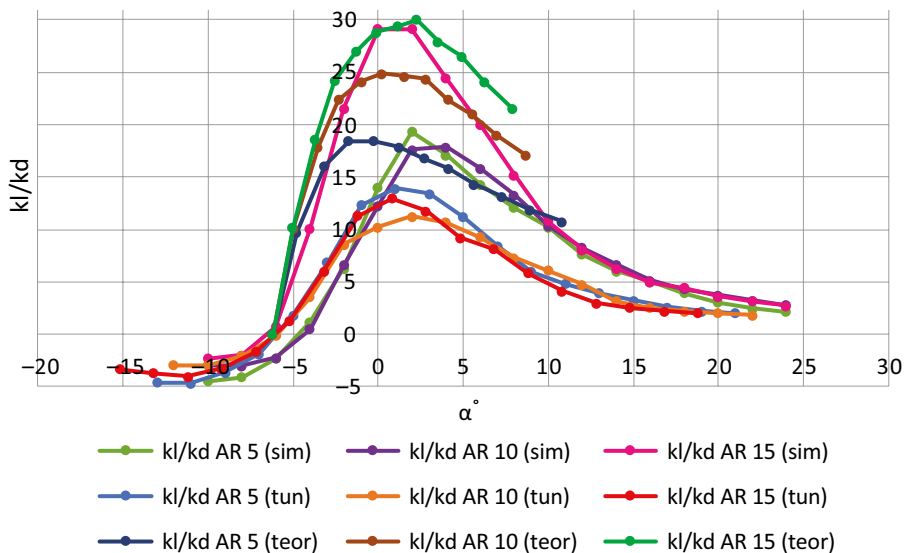


## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Dati, kas tiek iegūti ar trīs metodēm – datorsimulācijās, pārbaudē aerodinamiskajā tunelī un teorētiskajos aprēķinos, tiek apstrādāti un atspoguļoti ar *Microsoft Excel* programmas palīdzību. Uz grafika abscisu ass atliktas uzplūdes leņķa vērtības, uz ordinātu ass attēlotas aerodinamiskās kvalitātes koeficienta vērtības.

Rezultāti, kas tiek iegūti ar *Solidworks Flow Simulation* programmas palīdzību, un rezultāti, kas tiek iegūti tunelī, savstarpēji korelē, bet pilnībā nesakrīt. Ir pamanāms, ka iegūtie rezultāti aptuveni sakrīt ar teorētiski aprēķinātajām vērtībām, kas liecina par veiksmīgu pētījuma iznākumu. Ir daži iemesli, kāpēc datormodelēšanas rezultāti nesakrīt ar rezultātiem, kas tiek iegūti tunelī. Pirmais no tiem ir jau iepriekš apskatīts līdzību teorijā – lai rezultāti būtu salīdzināmi, Reinoldsa skaitļiem ir jāsakrīt, bet apskatītajā eksperimentā tie atšķiras par divām lieluma kārtām. Otrais iemesls, kāpēc rezultāti nesakrīt pilnībā, ir datormodelēšanas un aerodinamiska tuneļa iestatījumu neprecizitāte. Pirmtrkārt, datorsimulāciju precizitāti ietekmē iestatījumu kvalitāte ievērojami ietekmē rezultātu, taču noteikt, kādi parametri ietekmē kvantitatīvās vērtības, nebija šī pētījuma mērķis. Otrkārt, izmantotajā aerodinamiskajā tunelī nav iespējams garantēt prototipa novietošanu paralēli gaisa plūsmai, kas ļoti būtiski palielina kļūdas iespēju.





## Secinājumi

1. Tika sasniegts galvenais mērķis – iegūti grafiki polārajā koordinātu sistēmā testējamiem prototipiem, no kuriem var noteikt galvenos aerodinamiskos parametrus, piemēram, tādus kā nepieciešamā vilce, pacelšanās ātrums, kreisēšanas ātrums, aerodinamiskā kvalitāte.
2. No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka efektīvākais (ar mazāko nepieciešamo vilci, mazāko pacelšanās ātrumu, lielāko aerodinamisko kvalitāti) ir prototips ar lielāko spārna pagarinājumu.
3. Tika noskaidrots, ka spārna pagarinājums ietekmē cēlējspēka koeficientu atkarībā no uzplūdes leņķa. Jo lielāks ir spārna pagarinājums, jo straujāk pieaug cēlējspēks atkarībā no uzplūdes leņķa.
4. Zināšanas par spārna pagarinājumu ietekmi uz lidaparāta aerodinamiskajam īpašībām ļauj lidaparātu konstruktoriem prognozēt lidaparāta īpašības un veiksmīgāk pielāgot lidaparāta parametrus, lai sasniegtu gaidāmo rezultātu.

## Atsauces

1. Bogos, S., Stroe I. (2012). Similarity criteria for 'full' and 'scale' aircraft on the lateral stability analysis. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, vol. 74, no. 4, pp. 13–26.
2. CLARK Y AIRFOIL (clarky-il). [online] [accessed January 10, 2022]. Available at: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=clarky-il>.
3. *Eiropas Parlamenta un padomes regula (EK) Nr. 216/2008*. 2008. [online] [accessed 5 January 2022]. Available at : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008R0216&-from=LV>.

4. Granizo, J. F., Gudmundsson, S., Engblom W. A. Effect of slot span on wing performance. *35th AIAA Applied Aerodynamics Conference, 2017, 2017*, doi: 10.2514/6.2017-3578.
5. Gudmundsson S. (2014). The Anatomy of the Wing, *General Aviation Aircraft Design*, pp. 299–399, DOI: 10.1016/B978-0-12-397308-5.00009-X.
6. Heintz, Ch. (2010), *Flying on Your Own Wings: A Complete Guide to Understanding Light Airplane Design*.
7. Iljaszewicz, P., Lusiak, T., Pastuszak, A., Novak, A (2020). Aerodynamic analysis of the aircraft model made with the 3D printing method. In *Transportation Research Procedia*, 2020, vol. 51, pp. 118–133. doi: 10.1016/j.trpro.2020.11.014.
8. Institute of Electrical and Electronics Engineers, *2019 8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)*.
9. J. W. R. 1922-1999. Taylor, *Jane's All the World's Aircraft 1982–83*. London: Jane's Yearbooks, 1982.
10. Jackson, P. A. Jane's all the world's aircraft (2010). 2010-2011 p. 1034.
11. Jackson, P. A., Munson, K., Peacock, L., Bushell, S. (2011). Jane's all the world's aircraft 2011–2012," p. 960.
12. Jackson, P., Peacock, L. T., Munson, K., Taylor, J. W. R., (1999.) Jane's all the world's aircraft, 1999-2000, p. 856.
13. Jane's all the World's Aircraft 2000–01(2000).
14. Kuznecovs, S. (2020). Finite aspect ratio wing downwash, induced drag and lift curve (Part 2).
15. Kuznecovs, S. (2020). Finite aspect ratio wing downwash, induced drag and lift curve (Part 1).
16. Kuznecovs, S. Uzdevums Nr. 3.
17. Laboratorijas darbs nr. 6 spārna cēlējspēka un pretestības spēka koeficienti atkarība no uzplūdes leņķa un stūres uzstādīšanas leņķa. Spārna polāra.
18. Murphy Rebel | Murphy Aircraft Mfg Ltd. [online] [accessed 8 January 2022] Available at: <https://www.murphyair.com/detail/rebel.html>.
19. P2002 Sierra MKII Sporty & Stylish Low Wing Single Engine Aircraft. [online] [accessed 8 January 2022]. Available at: <https://www.tecnam.com/aircraft/p2002-sierra-mkii/>.
20. *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*. Federal Aviation Administration (2016).
21. Ransom, J. W. (1988). Taylor and Kenneth. Munson, "Jane's all the world's aircraft, 1988–89," p. 790.
22. REMOS GXNXT/GXnXES: Perfect Cruiser – REMOS. [online] [accessed 10 January 2022] Available at: <https://remos.com/modells/remos-gxnxgxnxes-perfect-cruiser?lang=en>
23. Silverstein, A. (1934). Scale effect on CLARK Y airfoil characteristics from N.A.C.A. full-scale wind-tunnel tests.
24. Sobachkin, A., Dumnov G. (2014). Numerical Basis of CAD-Embedded CFD.
25. Virus SW 80/100/115/iS – Pipistrel Aircraft. online] [accessed 8 January 2022] Available at: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/cruising/virus-sw-80-100-115-is/#tab-id-2>.

## Summary

This work allows you to get acquainted with the challenges of wing designing. The aim of the study is to determine the impact of plane wing extension on the aircraft's aerodynamic properties. Three methods are used to get the results: theoretical calculation, computational fluid dynamics (CFD), and aerodynamic tunnel (further, tunnel). The work compares models with 3 different wing extensions – 5, 10 and 15. For theoretical calculations and computer modeling, aerodynamic parameters are calculated for a full-scale model, but this is not applicable for the tunnel. The size of the model, which is inserted into the tunnel, is

limited by the tunnel dimensions, that is why in order to validate the data, a similarity theory must be applied for a scaled model. As a result, polar graphics for three different wing extensions are obtained using three different methods and compared with each other. From the results obtained, it is concluded that greater wing extension has a higher aerodynamic quality.

The research was carried out at the Institute of Aeronautics of Faculty of Mechanical Engineering, Transport and Aeronautics, Riga Technical University, from August 2021 to January 2022.

# Lukass Roberts Kellijs



## MEŽA POSTĪJUMU – MIZGRAUŽU IDENTIFIKĀCIJA AR TĀLIZPĒTES PALĪDZĪBU LATVIJAS TERITORIJĀ

### Darba zinātniskie vadītāji

Mg. phys. Elza Līna Liniņa,

Dr. sc. comp. Juris Siņica-Siņavskis

### Kopsavilkums

Pēdējo gadu laikā Latvijā ir pieaudzis Eiropas egļu astoņzobu mizgrauža (*Ips typographus* L.) postījumu teritoriju skaits, līdz ar to ir nepieciešamas efektīvas meža postījumu – mizgraužu identifikācijas sistēmas, lai samazinātu invāziju un ekonomisko zaudējumu risku. Efektīva metode ir tālizpēte, taču tradicionāliem tālizpētes datiem ir nozīmīgs trūkums – to zemā spektrālā izšķirtspēja, kas liedz identificēt postījumus individuālu koku mērogā. Potenciāla alternatīva ir aerofotografēšanas attēli, kas ietver RGB un CIR ortofotokartes, un digitālā augstuma modeļa pamatdati, ko Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra (LĢIA) iegūst visai valsts teritorijai aptuveni reizi trijos gados. Šī pētījuma gaitā tika izstrādāts un izvērtēts gadījuma meža algoritmā balstīts modelis, izmantojot 2020. gadā iegūtas ortofotokartes ar maskētām ēnām un mežu izcirtumiem, kuru reģioni tika manuāli klasificēti pēc lapotnes krāsas, izmantojot zināmas invāzijas teritorijas. Šī modeļa ģenerētās prognozes un kartētus slāņus tālāk var lietot efektīvai postījumu identifikācijai Latvijas teritorijā, lai cīnītos ar mizgraužu invāzijām.

### Atslēgvārdi

Mizgrauzis, *Ips typographus* L., sarkanais uzbrukums, tālizpēte, gadījuma mežs.



## IEVADS

Katru gadu arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta globālajām klimatiskajām pārmaiņām un to ietekmei uz vidi. Sausuma periodi un paaugstinātas temperatūras veģetatīvajā periodā izraisa mežu vitalitātes samazināšanos, koku augšanu stresa apstākļos un lielāku uzņēmību pret kukaiņu, piemēram, mizgraužu bojājumiem (Ali u. c., 2021).

Eiropas egļu astoņzobu mizgrauzis (*Ips typographus*, L.) ir invazīva suga, kas tiek uzskatīta par Eiropas mežu ekosistēmu viskritiskāko traucējumu izraisītāju (Ali u. c., 2021). Eiropā ir zināmas 154 mizgraužu sugas, un katra no tām ir pielāgojusies tikai vienai vai dažām saimniekkoku sugām (Lausch u. c., 2013).

Mizgraužu invāzijas Vācijā un Čehijā jau ir iznīcinājuši tūkstošiem hektāru egļu audžu, izraisot lielus ekoloģiskos un ekonomiskos zaudējumus, kā arī pēdējo piecu gadu laikā ir reģistrēts straujš kukaiņu invadētās koksnes pieaugums (Lausch u. c., 2013). Arī Latvijā ir konstatēta kaitēkļu darbība un rezultējošā koksnes vērtības sarukšana, tāpēc tiek aktīvi sekots līdzīgi egļu astoņzobu mizgrauža invāzijai (Selezņovs, 2020).

Tradicionāli, lai apkarotu šos kukaiņus, mežsaimnieki veic lauka apsekojumus, meklējot mizgraužu veidotās skaidas, lai identificētu inficētos kokus agrīnā uzbrukuma stadijā, kā arī tiek uzstādīti feromonu vaboļu slazdi (Fernandez-Carrillo u. c., 2020). Efektīva alternatīva šīm darbietilpīgajām metodēm ir tālīzpēte – apgabala fizisko īpašību noteikšana un uzraudzības process, mērot tā atstaroto un izstaroto starojumu no attāluma. Mizgrauža uzbrukuma stadiju laikā mainās skuju bioķīmiskās un biofizikālās īpašības, un tā rezultātā, izmantojot dažādus spektrālos sensorus un to veidotos attēlus, var identificēt šo kukaini (Ali u. c., 2021). Dators tiek apmācīts no konkrētu spektru attēliem atpazīt vai koks, ko reprezentē tā lapotnes pikseļu grupa, ir vesels vai nevesels. Savā būtībā tā ir attēla pikseļu – vismazāko attēla elementu, kas raksturo veidotā rastrgrafika spilgtumu jeb intensitāti konkrētajā spektrālajā joslā šajā punktā, – binārās klasifikācijas problēma, kurā ar datizraces algoritmiem tiek atšķirti neveselu koku pikseļi no veselajiem.

Pastāv daudz potenciālu tālīzpētes datu avotu, piemēram, brīvi pieejamie Sentinel-2 vai Landsat 8 satelītu sistēmu dati, ar kuru palīdzību spēja identificēt mizgraužus ir vairākkārt pētīta Eiropas teritorijās (Abdullah u. c., 2019). Taču vēl neizpētīts ir Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras atvērto datu – ortofotokaršu un digitālo augstuma modeļu – datu lietojums, kas sniedz daudz augstāku telpisko izšķirtspēju nekā iepriekšminētie dati, lai identificētu mežu bojājumus un mizgraužus.

## Pētījuma mērķis

Izveidot un izvērtēt modeli, kas spēj palīdzēt identificēt mežu bojājumus – mizgraužu uzbrukuma sarkano stadiju Latvijas teritorijā.

## Darba uzdevumi

1. Izpētīt mizgraužu uzbrukuma stadiju, mizgraužu inficēto koku un Latvijas mizgraužu postījumu teritoriju īpašības.
2. Iegūt, apstrādāt un izvērtēt Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras atvērto datus mizgraužu identifikācijas uzdevumam.
3. Izpētīt un apmācīt mērķim piemērotu algoritmisku modeli.
4. Izvērtēt apmācītā modeļa spēju identificēt meža postījumu – mizgraužu teritorijas, izmantojot lietotos datus.



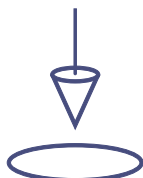
---

## DARBA METODOLOĢIJA

Pētījumā izmantotajai metodikai ir vairākas daļas. Sākotnēji tiek veikta pētāmās zonas nevēlamo pikseļu, piemēram, ēnu un izcirtumu, kas var pasliktināt modeļa precizitāti, ieviešot troksni, maskēšana. Izmantojot digitālā augstuma modeļa pamatdatus kopā ar dažādām attēlu apstrādes metodēm, tiek izveidota izcirtumu maska. Tad, balstoties uz noteiktu robežvērtību, kas izvēlēta no *RGB* otofotokartes zilās joslas, tiek izveidota ēnu maska. Abas maskas tiek pārklātas pētāmajai zonai, aizklājot analīzei nevēlamos pikseļus.

Pēc tam manuāli no *RGB* attēliem tiek atzīmēti un kategorizēti veseli un mizgraužu invadēti koku lapotnes reģioni, balstoties jau zināmās postījumu teritorijās, kas iegūtas vispārējos mežu apsekojumos. Šī pikseļu informācija tiek apkopota vienā tabulā kopā ar katra pikseļa iepriekš noteikto kategoriju.

Tabulas dati tiek sadalīti apmācības un testa datus. Apmācības dati tiek lietoti, lai apmācītu modeli – struktūru, ko ģenerē algoritms, kas ir apmācīta atpazīt noteiktu veidu sakarības, lai pēc ievades datiem veiktu prognozes par pētāmo problēmu. Testa dati tiek izmantoti, lai izvērtētu pētījumā lietotā gadījuma meža algoritma modeļa precizitāti. Visbeidzot, izmantojot iegūto modeli, tiek izveidots meža postījumu – mizgraužu invāziju prognožu kartēts slānis, ko var analizēt dažādās ģeogrāfiskās informācijas sistēmās (ĢIS).



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Izmantojot apmācīto modeli, lai klasificētu testa datus, tika iegūta 99 % precizitāte, proti, no 11874 kopējiem pikseļiem 128 pikseļi tika identificēti nepareizi. Modeļa prognožu pirmā veida kļūdu (pikseļi, kas prognozēti kā neveseli, bet patiesībā ir veseli) un otrā veida kļūdu (pikseļi, kas prognozēti kā veseli, bet patiesībā ir neveseli) skaits ir aptuveni vienāds, attiecīgi 66 un 62.

Lielākais trūkums LĢIA datu lietojumā ir to ļoti zemā temporālā izšķirtspēja, proti, dati tiek atjaunoti tikai reizi trīs gados. Šis pētījums pierāda to veiksmīgu lietojumu tādiem uzdevumiem kā mizgraužu identifikācija, līdz ar to ir pamats izsvērt šo datu biežāku iegūvi visā teritorijā vai arī konkrētu pētījumu gadījumā.

Augstā modeļa precizitāte liecina par LĢIA datu piemērotību mežu postījumu mizgraužu identifikācijai sarkanajā uzbrukuma stadijā. Modelis ir veiksmīgi spējīgs vizuāli identificēt mizgraužu inficētos kokus gan apsekotajās platībās, gan ārpus tām. Tā

kā apsekotās platības, kur ticis konstatēts mizgrauzis, ir tikai apsekotās zonas, nevis individuāli koki, specifiskiem apsekojumiem, kur mizgrauža sarkanā uzbrukuma stadijas invāzija tiek identificēta individuālu koku mērogā, vajadzētu tikt veiktiem, lai izveidotu piemērotus apmācības datus, kas apstiprinātu šāda modeļa spēju identificēt reālus mizgrauža sarkanās stadijas uzbrukumus.

Šādi individuāli apsekojumi arī iespējotu jaunus pētījumus, kur varētu tikt pētīta LĢIA un citu datu spēja identificēt mizgrauzi meža zonu vai individuālu koku līmenī pat zaļajā uzbrukuma stadijā, kad koks ir vizuāli zaļš, taču atstarojuma intensitāte joslās, piemēram, tuvajā infrasarkanajā, jau ir sākusi mainīties.

Saasinoties globālajām klimatiskajām pārmaiņām, mizgraužu invāzija var kļūt par daudz nopietnāku problēmu ar nepieciešamību pēc daudz efektīviem mizgraužu identifikācijas paņēmieniem. LĢIA pieejamie dati kopā ar gadījuma meža modeli sniedz vienu šādu potenciālo paņēmieni.

---

## Atsauces

1. Abdullah, H., Skidmore, A. K., Darvishzadeh, R., & Heurich, M. (2019). Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) compared with Landsat-8. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 5 (1), 87–106. <https://doi.org/10.1002/rse2.93>.
2. Ali, A. M., Abdullah, H., Darvishzadeh, R., Skidmore, A. K., Heurich, M., Roeoesli, C., Paganini, M., Heiden, U., & Marshall, D. (2021). Canopy chlorophyll content retrieved from time series remote sensing data as a proxy for detecting bark beetle infestation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22 (August 2020), 100524. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100524>.
3. Belgiu, M., & Drăgu, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>.
4. *Digitālais augstuma modelis | Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra*. (n. d.). Retrieved January 3, 2022, from <https://www.lgia.gov.lv/lv/digitalais-augstuma-modelis-0>.
5. Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
6. Fernandez-Carrillo, A., Patočka, Z., Dobrovolný, L., Franco-Nieto, A., & Revilla-Romero, B. (2020). Monitoring bark beetle forest damage in central europe. A remote sensing approach validated with field data. *Remote Sensing*, 12 (21), 1–19. <https://doi.org/10.3390/rs12213634>.
7. Gomez, D. F., Ritger, H. M. W., Pearce, C., Eickwort, J., & Hulcr, J. (2020). Ability of remote sensing systems to detect bark beetle spots in the south-eastern US. *Forests*, 11 (11), 1–10. <https://doi.org/10.3390/f11111167>.
8. Lausch, A., Heurich, M., Gordalla, D., Dobner, H. J., Gwilym-Margianto, S., & Salbach, C. (2013). Forecasting potential bark beetle outbreaks based

- on spruce forest vitality using hyper-spectral remote-sensing techniques at different scales. *Forest Ecology and Management*, 308, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.043>.
9. Seļezņovs, A. (2020). *Atskaite par egļu audzēm 2020. gadā SIA "Rīgas meži" apsaimniekotajās platībās*.
  10. *sklearn.ensemble.RandomForestClassifier – scikit-learn 1.0.2 documentation*. (n. d.). Retrieved January 8, 2022, from <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html>.
  11. *Welcome to the QGIS project!* (n. d.). Retrieved January 8, 2022, from <https://www.qgis.org/en/site/index.html>.
- Wermelinger, B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – A review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202 (1–3), 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.018>.
- Yang, I., & Acharya, T. D. (2015). Exploring Landsat 8. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, 4 (4), 2319–4413. <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/>.
- Kellijs, L. (2022). *Meža postījumu – mizgraužu identifikācija ar tālzpētes palīdzību*
- Latvijas teritorijā [Computer software]. <https://github.com/lukass16/Bark-Beetle-Detection-in-Latvia>.

## Summary

In the last few years, the number of natural disturbances induced by spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) in Latvia have increased, thus effective forest damage-bark beetle identification systems are needed to minimize the risk of outbreak and economic loss. Remote sensing is an effective method for this, but traditional remote sensing data sources have a major drawback – their low spatial resolution, which makes it impossible to identify damage at the scale of individual trees. A potential alternative is the aerial imagery, consisting of true colour and CIR orthophotos, and LiDAR point

cloud data obtained by the Latvian Geospatial Information Agency for the entire country roughly once every three years. In this study the ability of this data to help identify red-attack of the European spruce bark beetle has been evaluated. A random forest model was developed and validated using for shadow and forest clearing masked orthophotos obtained in 2020, which were manually classified by foliage colour, using known infestation areas. The predictions of this model and the mapped layers of infestation it produces can later be used to effectively identify and deal with bark-beetle infestations in Latvian territories.





# Valentīns Kuposovs

## SAULES PANEĻU SARAŽOTĀS ENERĢIJAS PROGNOZĒŠANA UN PROGNOŽU TICAMĪBAS PĀRBAUDE

**Darba zinātniskais vadītājs**

*Mg. phys. Aivars Eriņš*

### Kopsavilkums

Saules paneļu izmantošanas galvenā problēma ir lokālo ģeofizikālo un meteoroloģisko apstākļu ievērošana, lai visefektīvāk izmantotu saules paneli. Darbs ir orientēts uz starojuma krišanas leņķa un paneļa pārklājumu materiāla ietekmes uz tā efektivitāti pētījumiem. Darbā tika teorētiski noteikti pārklājuma transmisijas koeficienti dažādiem gaismas krišanas leņķiem, veidotas saražotās enerģijas prognozes, veikta prognozēto datu salīdzināšana ar reāliem datiem un veikti secinājumi.

### Atslēgvārdi

Saules paneļi, krišanas leņķi, transmisijas koeficienti, datu prognoze, datu salīdzināšana.



---

## IEVADS

Saules paneļi ir viens no zaļās jeb atjaunojamās enerģijas ražošanas veidiem, tāpēc ir svarīgi tos attīstīt, lai varētu izmantot pēc iespējas efektīvāk. Ne mazāk svarīgas ir arī to izmantošanas metodes un vide, kam ir liela nozīme enerģijas ražošanā un ko arī ir ne mazāk svarīgi pētīt kopējās efektivitātes palielināšanai.

Aktuāla problēma ir labāko apstākļu un metožu noteikšana, lai efektīvāk izmantotu saules paneli, jo katrai ģeogrāfiskai vietai ir optimālais stacionārais paneļa novietojuma leņķis, kādā gada laikā tiek saražots visvairāk elektroenerģijas. Paneļa efektivitāti ietekmē gan vietējie meteoroloģiskie apstākļi, ko pilnīgi precīzi nekad nevar paredzēt, gan paneļa novietojuma ģeogrāfiskais platums. Saules paneļa efektivitāti ietekmē arī paneļa fotoelektrisko elementu pārklājuma optiskās īpašības un struktūra, kā arī svarīga ir paneļa tīrība un mehāniskā izturība, lai nodrošinātu to ilgstošu darbību visdažādākajos laika apstākļos.

Šajā darbā autors apskatījis šādus saules paneļu efektivitāti ietekmējošus faktoros: saules gaismas krišanas leņķi pret Saules paneļiem; paneļu pārklājumu materiālu optiskās īpašības. Krišanas leņķis nepieciešams, lai aprēķinātu transmisijas koeficientu, kas parāda, cik liela daļa enerģijas nokļūst līdz pusvadītājam Saules panelī. Paneļa pusvadītāja materiālam un pārklājuma materiālam ir savs gaismas laušanas koeficients, kas arī ietekmē to, cik daudz starojuma tiks atstarots un cik nonāks līdz pusvadītāja slānim. To starojuma enerģijas daļu, kas nonāk līdz pusvadītājam, izsaka transmisijas koeficients. Savukārt transmisijas koeficienta reizinājums ar pusvadītāju materiāla lietderības koeficientu ir koeficients, kas parāda, cik liela daļa enerģijas, kas krīt pret paneli, tiek pārvērsta elektriskajā enerģijā, un tas ir lielums, ko cenšas maksimāli palielināt.

## Darba mērķis

Aprēķināt paneļu transmisijas koeficientu atkarībā no krišanas leņķa, pārbaudīt to korelāciju ar teorētiski iegūstamo saražoto enerģiju. Salīdzināt reālo Saules paneļu saražoto enerģiju ar prognozēto saražoto enerģiju.

## Uzdevumi

1. Aprēķināt paneļu transmisijas koeficientu atkarībā no gaismas krišanas leņķa.
2. Aprēķināt teorētiski iegūstamo saražoto enerģiju, pārbaudīt to korelāciju ar teorētiski iegūstamo saražoto enerģiju.
3. Izmantojot rīku, prognozēt Saules paneļu saražoto enerģiju.
4. Salīdzināt teorētiski iegūstamo enerģiju un rīka datus, kas prognozē sagaidāmo saražoto enerģijas daudzumu, ar reāliem datiem.

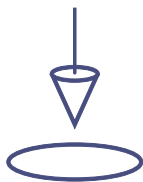


## DARBA METODOLOĢIJA

Vispirms tika izlemts aprēķināt uzņemto Saules enerģiju dienā bez mākoņiem. Tas tika darīts, izmantojot datus par Saules radiāciju, Saules atrašanos debesīs un Saules paneļu un pārklājumu materiālu laušanas koeficientiem jeb refrakcijas indeksiem. Tika aprēķināts krišanas leņķis pa stundām, un tas tika izmantots, lai aprēķinātu, kāda daļa enerģijas tika uzņemta, kur arī tika izmantoti Saules paneļa materiāla un pārklājumu refrakcijas indeksi. Tad iegūtais koeficients tika sareizināts ar Saules radiācijas datiem, paneļu efektivitāti, kas ir 18 %, un paneļu laukumu, un tika iegūti rezultāti.

Turpinājumā tika iegūti rīka dati [9], kas prognozē saražoto Saules paneļu enerģiju Rīgā, kā arī dati par uz Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātes stacionāro Saules paneļu saražoto enerģiju.

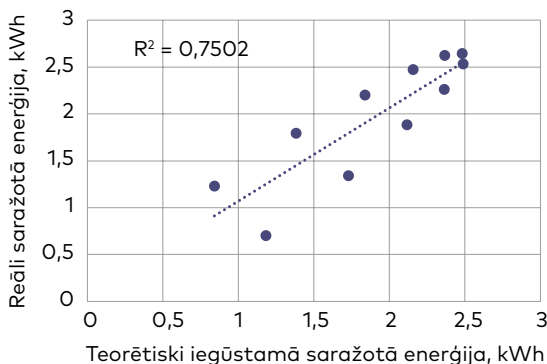
Visi dati tika ievadīti *MS Excel* tabulās, salīdzināti rezultāti, veikti nepieciešamie aprēķini un darbības, lai varētu uzskatāmi attēlot datus, analizēt rezultātus un veikt secinājumus.



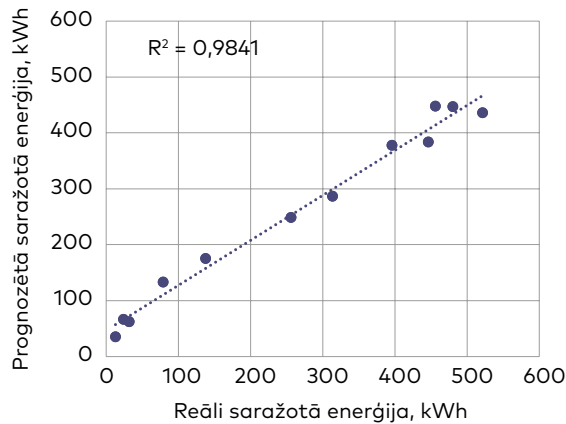
## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

1. attēlā ir salīdzināta reāli saražotā enerģija ar teorētiski iegūstamo – jo tuvāk tie ir iedomātajai taisnei  $y = x$ , jo precīzāki tie ir (grafikā redzamā taisne ir tendences līkne, nevis iedomātā taisne  $y = x$ ). Šeit ir redzams, ka tie ir gana izkaisīti un paredzēt ražotspēju šādā veidā nav precīzi. Lielos Saules paneļu masīvos tie arī būs gana ticami. Ir arī labāki Saules paneļu saražotās enerģijas paredzēšanas veidi, piemēram, izmantojot datorprogrammas un dažādus kalkulatorus, ko veidojuši profesionāļi.

2. attēlā redzama rīka prognoze, salīdzinot ar reāli saražoto enerģiju. Dati ir salīdzinoši tuvu iedomātajai taisnei  $y = x$ , tātad tos var nosaukt par precīziem (grafikā redzamā taisne ir tendences līkne, nevis iedomātā taisne  $y = x$ ). Rīka prognozes precizitāte uzlabosies ar Saules paneļu sistēmas jaudas palielināšanos, jo neprecizitātes ir vairāk noteiktas, nevis procentuālas. Šāds Saules paneļu saražotās enerģijas prognozēšanas veids ir ļoti precīzs un salīdzinoši ērts, jo rīkam [9] vajag tikai precīzu vietu kartē, paneļu jaudu, to slīpumu pret horizontu un virsmas azimuta leņķi. Pēc noklusējuma jau ir izvēlētas dažas vērtības, piemēram, sistēmas zudumi, un izvēlēts materiāls, no kura visbiežāk ir veidoti Saules paneļi, kā arī rīkam ir pieejamas citas funkcijas, kas netika apskatītas šajā darbā, bet interesentiem var noderēt.



1. attēls. Reāli saražotā enerģija, salīdzinot ar teorētiski iegūstamo saražoto enerģiju.



2. attēls. Prognozētā saražotā enerģija, salīdzinot ar reāli saražoto enerģiju.

## Atsauces

1. How Does a Photovoltaic Cell Work? [online]. [accessed 11 January 2022]. Available at: <https://www.plante-energies.com/en/medias/close/how-does-photovoltaic-cell-work>
2. Soteris A Kalogirou. (2014). *Solar energy engineering: processes and systems*. Second edition. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, pp. 840.
3. How solar cells and solar panels work. [online] [accessed 11 January 2022]. Available at: <http://www.ceis-caribenergy.org/wp-content/uploads/2013/08/How-solar-cells-and-solar-panels-work.pdf>.
4. How Do Solar Panels Work? [online] [accessed 11 January 2022]. Available at: <http://www.energiazero.org/fotovoltaico/How%20Do%20Solar%20Panels%20Work.pdf>.
5. Korea's battle with spent solar panels heats up [https://www.koreatimes.co.kr/www/nation/2020/08/371\\_294244.html](https://www.koreatimes.co.kr/www/nation/2020/08/371_294244.html) [online] [accessed 11 January 2022]. Available at: [https://www.koreatimes.co.kr/www/nation/2020/08/371\\_294244.html](https://www.koreatimes.co.kr/www/nation/2020/08/371_294244.html).
6. Photovoltaic Efficiency: Solar Angles & Tracking Systems. [online] [accessed 11 January 2022]. Available at: [https://www.teachengineering.org/content/cub\\_/lessons/cub\\_pveff/Attachments/cub\\_pveff\\_lesson01\\_fundamentalsarticle\\_v2\\_tedl\\_dwc.pdf](https://www.teachengineering.org/content/cub_/lessons/cub_pveff/Attachments/cub_pveff_lesson01_fundamentalsarticle_v2_tedl_dwc.pdf).
7. Solaredge [online], [accessed 11 January 2022]. Available at: <https://www.solaredge.com/>.
8. Datu meklēšana. [tiešsaiste], [skatīts 2022. gda 11. janvārī]. Pieejams: <https://www.meteo.lv/meteorologija-datu-meklesana/>.
9. Photovoltaic geographical information system. [online], [accessed 11 January 2022]. Available at: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP).

## Summary

The main problem when using solar panels is the observance of local geophysical and meteorological conditions in order to make the most efficient use of the solar panel. This paper is focused on the study of the effect of the angle of incidence of radiation and the effect of the panel

coating material on its efficiency. In this work, the transmission coefficients of the coating for different angles of light incidence were theoretically determined, energy production forecasts were made, the forecasted data were compared with real data, and conclusions were made.

# Marks Henrijs Majors



## KOMPOZĪTMATERIĀLU SKIMBOARD SPORTA DĒĻA OPTIMIZĒTAS STRUKTŪRAS IZVEIDE UN EKSPERIMENTĀLA PĀRBAUDE

### Darba zinātniskie vadītāji

Mg. phys. Aivars Eriņš,

Dr. sc. ing. Andrejs Pupurs

### Kopsavilkums

Profesionālā sporta inventāra optimizācija dod iespēju sportistiem sasniegt labāko iespējamo veikumu, tādēļ tika pētīta iespēja modelēt *skimboard* dēļa lieci, zinot izmantojamo materiālu īpašības. Pētījuma praktiskajā daļā tika izgatavots viegla svara augsta stinguma kompozītmateriālu *skimboard* sporta dēlis un eksperimentāli pārbaudīta tā pretestība pret lieci. No dēļa izgatavošanā izmantotajiem materiāliem tika izveidoti un eksperimentāli pārbaudīti materiālu paraudziņi, balstoties iegūtajos datos, tika veikta galīgo elementu metodes datorsimulācija pie lieces slogojuma. Tika noskaidrots, ka datorsimulācija uzrāda par 7 % augstāku lieces izturību, salīdzinot ar dēļa prototipu. Dēļa lieces datorsimulācija tika veikta, izmantojot vairākas materiālu kombinācijas, un tika noskaidrots, ka dēlis, kas izgatavots no oglekļa šķiedras kompozīta, kas klāts divos slāņos, ir par 2,2 % izturīgāks pret lieci, salīdzinot ar dēli, kas pārklāts ar vienu kārtu stikla šķiedras auduma un vienu kārtu oglekļa šķiedras auduma, un par 5,1 % izturīgāks pret lieci, salīdzinot ar dēli, kas pārklāts ar diviem slāņiem stikla šķiedras kompozītmateriāla.

### Atslēgas vārdi

Sporta aprīkojums, kompozītmateriāli, galīgo elementu metode, laminātu teorija.



---

## IEVADS

Augstas veiktspējas sporta aprīkojuma optimizācija un izgatavošana vienmēr bijis aktuāls jautājums.

*Skimboarding* ir attīstījies kā sērfošanas sporta virziens – *skimboard* sporta dēlis ir ievērojami īsāks un plānāks, salīdzinot ar parasto sērfošanas dēli, kā arī tam nav spuras. Sportists, turot rokās *skimboard* dēli, ieskrienas pa pludmales smiltīm un, sasniegto plānu ūdens kārtiņu virs smiltīm, sportists novieto savu ķermeni stāvus uz dēļa un slīd (hidroplanē) pa ūdens virsmu līdz pirmajam vilnim, uz kura veic visdažādākos trikus un, izmantojot viļņa radīto grūdienu, maina kustības virzienu un nonāk atpakaļ krastā.

Darba autors ir *skimboarding* entuziasts un, veidojot pirmos *skimboard* dēļa prototipus pēc jauniešu vidē populārākajiem *skimboard* dēļu paraugiem, kas galvenokārt veidoti no mitrumizturīga saplākšņa, identificējis būtiskas nepilnības. Mitrumizturīga saplākšņa *skimboard* sporta dēļi ir smagi un plāni, tādēļ tie izliecas zem sportista svara, kas samazina maksimālo distanci, ko iespējams sasniegt, turklāt dinamiskajā ūdens vidē var radīt augstākus traumatisma riskus, salīdzinot ar vieglākas konstrukcijas sporta dēli ar biežākām, noapaļotām malām. Tādēļ pētījuma praktiskajā daļā izveidots optimizētas struktūras *skimboard* dēļa prototips, izmantojot vieglus kompozītmateriālus ar augstu stingumu.

Projektējot kompozītmateriālu *skimboard* dēli, lai prognozētu augstas veiktspējas kompozītmateriālu dēļa lieces īpašības, darba praktiskajā daļā eksperimentāli noskaidrotas izmantojamo materiālu paraugu mehāniskās īpašības. Izmantojot darba teorētiskajā daļā apskatīto laminātu teoriju, aprēķinātas *skimboard* sporta dēļa čaulas kombinētā kompozītmateriāla mehāniskās īpašības. Darba praktiskās daļas turpinājumā veikta *skimboard* dēļa galīgo elementu metodes datormulācija pie lieces sloojuma, tās rezultāti salīdzināti ar *skimboard* dēļa prototipa eksperimentālajā pārbaudē iegūtajiem datiem.

Šāda pieeja būtu svarīga ne tikai sportistu drošībai un labai draudzīgāka, patērējot mazāk resursus izmēģinājuma prototipu izgatavošanai, bet arī samazinātu *skimboard* dēļa projektēšanas izmaksas un padarītu šo sporta veidu plašāk pieejamu dažāda līmeņa sportistiem visā pasaulē.

## Darba mērķis

Izstrādāt un eksperimentāli validēt kompozītmateriālu *skimboard* sporta dēļa projektēšanas metodi, optimizējot tā struktūru.

## Uzdevumi

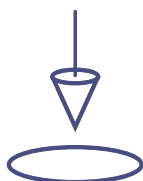
1. Veikt literatūras avotu izpēti par laminātu teoriju.
2. Izgatavot *skimboard* dēļa prototipu, eksperimentāli pārbaudīt tā lieces pretestību.
3. Izgatavot un eksperimentāli pārbaudīt materiālu paraudziņus.
4. Izstrādāt 3D galīgo elementu metodes *skimboard* dēļa datormodelim un aprēķināt tā izturību lieces sloojumā.



---

## DARBA METODOLOĢIJA

*Skimboard* dēļa 3D datormodelis tiek ievietots *ANSYS Workbench* galīgo elementu metodes datorprogrammā, definētas materiālu īpašības un galīgo elementu režģis. Tiek definēti divi 50 mm plati atbalsti ar 700 mm atstatumu un 40 N lejup vērsta slodze starp atbalstiem, kas tiek izkliedēta ar 50 mm plata balsta palīdzību. Tiek veikta lieces simulācija, ka arī apkopoti dati par maksimālo vertikālo pārvietojumu dēlim ar oglekļa šķiedras čaulu, dēlim ar stikla šķiedras čaulu un dēlim ar stikla šķiedras un oglekļa šķiedras kompozīta čaulu. Lai pārliicinātos, ka lieces simulācijas rezultāti korelē ar *skimboard* dēļa prototipa lieces deformāciju, slogošanas iekārtā *Zwick/Roell Z600* tiek definēts identisks slogošanas iestatījums, novietojot dēli uz diviem 50 mm platiem balstiem ar 700 mm atstatumu un slogojot ar 50 mm platu balstu no virspuses. Lai precīzi mērītu dēļa lieci, pie apakšējā slogošanas stiprinājuma labajā un kreisajā dēļa pusē 10 cm no dēļa sānu malas tiek piestiprināti divi digitālie indikatori. Tiek veikta slogošana, reģistrējot slodzi un dēļa vidus vertikālo pārvietojumu.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

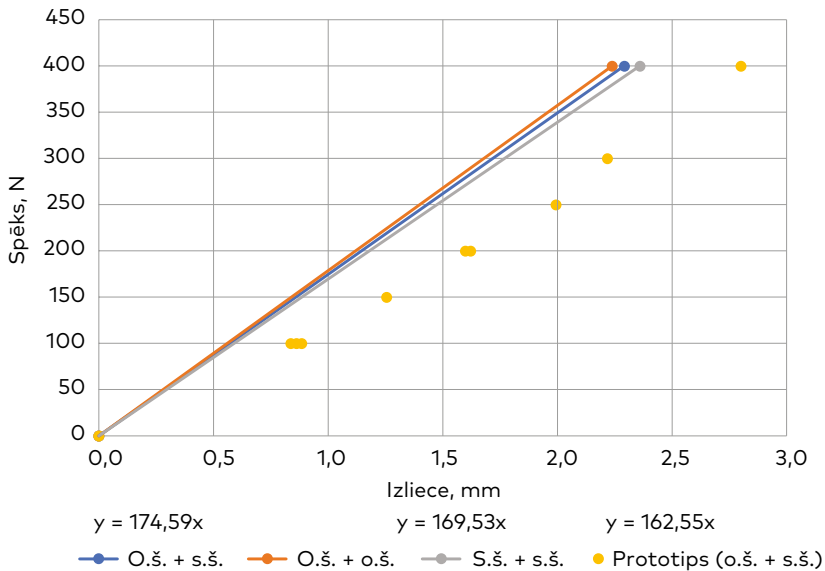
Gan eksperimentāli iegūtie *skimboard* dēļa lieces rezultāti, gan dēļa lieces datorsimulācijas rezultāti redzami 1. attēlā. Grafikā ar dzelteniem punktiem atzīmēta *skimboard* dēļa prototipa izliece, ar zilo līniju – *skimboard* dēļa datormodeļa ar oglekļa šķiedras un stikla šķiedras kompozīta čaulu izliece, ar pelēko līniju – datormodeļa ar divu slāņu stikla šķiedras kompozīta čaulu izliece, ar oranžo līniju – dēļa datormodeļa ar divu slāņu oglekļa šķiedras kompozīta čaulu izliece.

Tika noteikta vērtība, kas raksturo slodzi, kas nepieciešama, lai *skimboard* dēli izliektu tā, lai slogojuma viduspunkts būtu 1 mm zemāk nekā pirms slodzes pielikšanas. *Skimboard* dēļa datormodelis ar analogu uzbūvi *skimboard* dēļa prototipam šajā slogošanas iestatījumā izlieksies par 1 mm, ja tam būs pielikta 174,6 N slodze, un *skimboard* dēļa prototips izlieksies par 1 mm, ja tam tiks pielikta 162,6 N slodze.

Apskatot 1. attēlu, var secināt arī to, ka šajā lieces slogojumā dēlis, kura čaula ir veidota no diviem slāņiem oglekļa šķiedras, ir par 2,2 % noturīgāks pret lieci, salīdzinot ar dēli, kura čaula veidota no stikla šķiedras un oglekļa šķiedras kombinēta kompozītmateriāla, kā arī par 5,1 % noturīgāks pret lieci, salīdzinot ar dēli, kura čaula veidota no diviem slāņiem stikla šķiedras kompozītmateriāla.

Izstrādātā metodoloģija ļauj pietiekami precīzi prognozēt *skimboard* dēļa izlieci pie





1. attēls. Skimboard dēļa liece atkarībā no slodzes.

noteiktas slodzes. Izmantojot izveidoto datortsimulāciju, iespējams optimizēt dēļa struktūru un materiālus, lai iegūtu nepieciešamās stinguma un lieces pretestības īpašības. Iegūtos rezultātus iespējams izmantot turpmākos pētījumos, modelējot dēļa biezuma un citu parametru ietekmi uz dēļa lieces pretestību.

## Atsauces

1. *A Dictionary of Physics*. (2009). Oxford University Press. [online] Available at: <https://doi.org/10.1093/acref/9780199233991.001.0001>.
2. Adams, D. F., Whitney, T. J. (2018). 7.2 Test Methods for Mechanical Properties. In *Comprehensive Composite Materials II* (pp. 4–37). Elsevier. [online] Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10032-3>.
3. Adams, S., Allday, J. (2000). *Advanced Physics* (1st ed., Vol. 10). Oxford University Press.
4. Akgul, T., Apay, A. C., Aydin, E., & Sumer, Y. (2015). Study of Bending Strength and Numerical Modeling of Wooden and Plywood Frame Elements. *Acta Physica Polonica A*, 127 (4), 1414–1416 [online]. Available at: <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.127.1414>.
5. *Easy Composites*. (n. d.). [online] [accessed: 29 January 2022] Available at: <https://media.easycomposites.eu/datasheets/EC-TDS-EASYCell-40-75.pdf>.
6. Giancoli, D. C. (2009). *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics* (4th ed., Vol. 12). Pearson Education, Inc.
7. Halpin, J. C. (1992). *Primer on Composite Materials Analysis, Second Edition (revised)* (Vol. 3). Routledge. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780203742235>.

8. Halpin, J. C. (1992). *Primer on Composite Materials Analysis, Second Edition (revised)* (Vol. 4). Routledge. [online] Available at: <https://doi.org/10.1201/9780203742235>.
9. ISO: ISO 14125:1998(E). (1998). *Fibre reinforced plastic composites – Determination of flexural properties*. International Organization for Standardization.
10. Jiping Bai. (2013). *Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Structural Applications*. Woodhead Publishing.
11. Mahmood Mehrdad Shokrieh. (2021). *Residual Stresses in Composite Materials* (2nd ed., Vol. 6). Elsevier. [online] Available at: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-03934-1>.
12. *Overview of materials for PVC, Foam Grade*. (n. d.). Retrieved January 29, 2022, [online] Available at: [http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=e19bc7065d-1c4836a89d41ff23d47413](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=e19bc7065d-1c4836a89d41ff23d47413).

## Summary

Optimization of professional sports gear will enhance athletes to reach their highest possible performance, thus, the possibility of precise modelling of bending resistance of skimboard, given that the used material properties are known, was studied. Within the practical part of the research a high stiffness, lightweight skimboard was constructed and the resistance against bending in the board section where the largest force is expected, was experimentally evaluated. From materials included in skimboard construction material samples were made and their mechanical properties were experimentally evaluated. Based

on the data obtained a computer simulation was made using finite element method software. The data gathered from simulation show that the bending resistance of the skimboard computer model is 7 % higher than the bending resistance of the prototype. The computer simulation was repeated with different materials, and it was concluded that a skimboard with two-layer carbon fiber composite shell is 2.2 % more resistant against bending than a skimboard with one layer carbon fiber and one layer fiberglass composite and 5.1 % more resistant against bending in comparison with a skimboard with two-layer fiberglass composite shell.



# Valērija Meinardte

## ALĢU AUGŠANA STRESA APSTĀKĻOS

### Darba zinātniskie vadītāji

Mg. chem. Laura Fjodorova,

Mg. geogr. Aigars Lavrinovičs

### Kopsavilkums

Pētījumā apskatīta dažādu stresa apstākļu ietekme uz *Chlorella vulgaris* – mikroaļģu sugas augšanu un augstvērtīgu molekulu ražošanas spēju. Lai izpētītu stresa apstākļu ietekmi uz šīs sugas aļģēm, *C. vulgaris* šūnas tika audzētas barotnēs ar dažādiem stresa faktoriem (bez stresa, nitrātu deficīta, fosfātu deficīta, nitrātu un fosfātu deficīta, palielināta sāļuma, gaismas trūkuma, pazeminātas temperatūras, pazeminātas temperatūras un gaismas trūkuma, kā arī pazeminātas un palielinātas pH vides apstākļos). Izpētot proteīnu, biomasas, ogļhidrātu un lipīdu izmaiņas, tika secināts, ka vislielākais biomasas proteīnu daudzums tiek iegūts pazeminātā pH vidē, pieaugot par 23,20 % no sākotnējās vērtības un sasniedzot 14,09 mg DW. Visvairāk biomasas aļģe iegūst, augot pazeminātā pH vidē (1,97 g DW L<sup>-1</sup>), un vislielākais ogļhidrātu daudzums tiek iegūts, aļģei augot pazeminātā pH vidē (0,972 mg), pieaugot par 66,16 %. Apskatot kopējo saražoto lipīdu, proteīnu un biomasas daudzumu pret sākotnējo daudzumu, visvairāk aļģe spēj saražot pazeminātā pH vidē.

### Atslēgvārdi

*C. vulgaris*, stresa apstākļi, proteīns, biomasa, lipīdi, ogļhidrāti.



## IEVADS

Ik gadu cilvēki meklē un atrod alternatīvus veidus pārtikas iegūšanai, vienlaikus novēršot ietekmi uz klimata pārmaiņām un vides piesārņojumu. Viens no šādiem veidiem ir aļģu biomasas ražošana. Aļģes ir apkārtējā vidē visur esošs organisms. Tās ir nozīmīgs skābekļa un barības vielu avots ūdens ekosistēmās. Tās ir sastopamas dažādos biotopos un spēj ātri vairoties, palīdz uzturēt stabilu oglekļa dioksīda līmeni atmosfērā, uzglabājot gāzi organiskos materiālos. Aļģes spēj izturēt dažādas temperatūras svārstības, kā arī skābekļa un oglekļa dioksīda koncentrācijas izmaiņas. Tās ar heterotrofu barošanās veidu veic ūdens bioloģisko pašattīrīšanos no organiskā un minerālā piesārņojuma.

Pateicoties aļģu straujajai augšanai un minimālajām prasībām pret augšanas apstākļiem, aļģu izmantošana dažādās saimniecības un rūpniecības nozarēs pēdējos gados kļūst arvien populārāka. Aļģēs ir liels daudzums cilvēka organismam būtisku mikroelementu, piemēram, cinks, kalcijs, kālijs, jods, magnijs un dzelzs, tāpēc tās var izmantot pārtikā un veicināt bada mazināšanu, īpaši mazāk attīstītos pasaules reģionos. Aļģes veic fotosintēzi, tāpēc tās ir nozīmīgs un izdevīgs pigmentu iegūšanas avots, kas spētu aizvietot ne tikai mākslīgi izveidotas, bet arī dabiskās krāsvielas. Aļģes var lietot arī kā augsnes mēslojumu lauksaimniecībā, jo to sastāvā ir daudz barības un organisko vielu, kā arī aļģu izmantošana ir lētāka un vienkāršāka, salīdzinot ar citiem mēslošanas veidiem. Bioenerģija ir vēl viena aļģu potenciāla izmantošanas nozare. Ekstraktējot un pārstrādājot to sastāvā esošos lipīdus, iegūst biodīzeļdegvielu vai biogāzi. No aļģēm iegūstamā biodegviela ir videi draudzīgāka par no saulespuķu eļļas, sojas pupiņu eļļas vai rapša sēklu eļļas iegūto biodegvielu, jo aļģu augšanas laiks ir daudz īsāks, kā arī tām nav nepieciešams lielas auglīgas zemes platības. Tās spēj augt praktiski jebkurās ūdenstilpnēs, un to uzturēšana nav resursu ietilpīga. Aļģes dabiski ražo arī polimērus, lingīnu un ogļhidrātus, ko var izmantot polihidroksialkanoāta (PHA) vai bioplastmasas ražošanā. No bioplastmasas var ražot traukus, audumus, iepirkumu maisiņus un citas preces. Taču galvenā aļģu priekšrocība ir ietekme uz apkārtējo vidi – tās ir atjaunojams un kompostējams vides resurss, spējīgs sadalīties vidē bez atlikuma.

Lai palielinātu aļģu biomasas vērtību un veicinātu klimatam draudzīgas saimniecības un rūpniecības attīstīšanu, ir jāzina aļģu efektīvas izmantošanas veidi. Lai to konstatētu, ir jāizpēta aļģu biomasas, ogļhidrātu, lipīdu un proteīnu produktivitātes izmaiņas dažādos augšanas periodos un apstākļos.

## Darba mērķis

Apskatīt aļģu *Chlorella vulgaris* augšanas spējas un produktivitāti dažādos vides stressa apstākļos.

## Darba uzdevumi

1. Analizēt dažādu vides stresa faktoru ietekmi uz aļģu dzīvotspēju.
2. Novērtēt aļģes spēju ražot augstvērtīgas molekulas dažādu vides stresa apstākļu ietekmē.
3. Identificēt vides stresa faktoru, kura ietekmē aļģes ražo vislielāko biomasas, cukuru, lipīdu un proteīnu daudzumu.



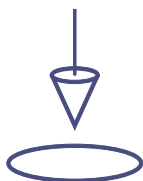
## DARBA METODOLOĢIJA

Eksperimentā izmantota mikroaļģu suga *Chlorella vulgaris* (sugas izolāts CCAP 211/11B). *C. vulgaris* biomasa eksperimenta vajadzībām pavairota piecu litru tilpuma fotobioreaktorā, izmantojot sintētisko barotni BG-11 un nodrošinot nepārtrauktu aerāciju ( $10 \text{ L h}^{-1}$ ),  $\text{CO}_2$  pievadīšanu un mākslīgo apgaismojumu (intensitāte

180  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  pie 16 : 8 stundu apgaismojuma režīma).

Vides stresa apstākļu simulēšanai aļģu biomasā iemaisīta BG-11 sintētiskajā barotnē ar pazeminātu pH līmeni (pH = 4; turpmāk pH-), ar paaugstinātu pH līmeni (pH = 11; turpmāk pH+), ar paaugstinātu sāļuma līmeni (~ 40 promiles; turpmāk sal +), bez nitrātajoniem (turpmāk N-), bez fosfātajoniem (turpmāk P-), bez nitrātajoniem un fosfātajoniem (turpmāk NP-), bez gaismas piekļuves (turpmāk tumsa), ar pazeminātu temperatūru (15°C; turpmāk Temp), bez gaismas piekļuves un ar noteiktu pazeminātu temperatūru (turpmāk T + T).

Aļģu biomasas koncentrācija noteikta spektrofotometriski, izmantojot UV un redzamo gaismu un mērot gaismas absorbciju paraugam pie 680 nm. Aļģu biomasas koncentrācijas noteikšanai izmantota attiecība starp aļģu sauso svaru un gaismas absorbcijas vērtību pie 680 nm. Spektrofotometriskai aļģu sausā svara koncentrācijas noteikšanai sagatavo kalibrācijas līkni. Ogļhidrātu sagatavošanai izmanto fenola-sērskābes metodi, to koncentrāciju nosaka, spektrofotometriski mērot koncentrāciju pie 490 nm atbilstoši iepriekš sagatavotai kalibrācijas līknei. Proteīnu suspensiju sagatavo pēc protokola, to koncentrāciju nosaka spektrofotometriski pie 495 nm. Lipīdu suspensiju sagatavo pēc noteikta protokola, to koncentrāciju nosaka spektrofotometriski atbilstoši iepriekš sagatavotai kalibrācijas līknei, mērot gaismas absorbciju pie 530 nm.



## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Biomasas daudzums Ref, P-, pH+, pH- un Temp vidē palielinās, sal+ vidē strauji samazinās, taču N-, NP, Tumsa un Tumsa + Temp vidēs biomasas koncentrācija viļņveidīgi mainījās. Vislielākais biomasas koncentrācijas pieaugums vērojams pazeminātā pH vidē (1,97 g DW L<sup>-1</sup>) un pazeminātā temperatūrā (1,94 g DW L<sup>-1</sup>).

**Cukura** saturs biomasā pieauga visos eksperimenta apstākļos, salīdzinot ar sākuma apstākļiem. Visvairāk ogļhidrātus aļģes spēja saražot pH- (0,972 mg/g), taču vismazākais ogļhidrātu daudzums ir Temp (0,399 mg/g). Salīdzinot ar Ref apstākļiem, pH- apstākļos aļģes spēja saražot cukuru par 31,69 % vairāk ogļhidrātu nekā references apstākļos, attiecīgi fosfātajonu deficītā spēja saražot cukuru ir par 19,36 % lielāka. Pārējos stresa apstākļos ogļhidrātu daudzums samazinājās. Lai aļģe spētu saražot pēc iespējas vairāk ogļhidrātu, tai jānodrošina vide ar zemu pH līmeni.

**Proteīna** saturs biomasā pieauga vien piecos eksperimenta apstākļos, salīdzinot ar sākotnējo tā saturu biomasā. Vislielākā vērtība tika sasniegta sal+ vidē (14,09 mg DW) un pH+ vidē (14,01 mg DW). Vismazāko proteīnu daudzumu *C. vulgaris* spēja saražot P- (8,08 mg DW). Salīdzinot stresa faktora ietekmē saražoto proteīnu daudzumu ar references apstākļos saražoto, *C. vulgaris* visvairāk spēja saražot proteīna sal+ un pH+, attiecīgi par 30,46 % un 30,07 % vairāk. Lai *C. vulgaris* spētu saražot

lielāku proteīnu daudzumu, jāizveido vide ar palielinātu pH līmeni vai palielinātu sāļumu.

**Lipīdu** daudzums biomasā pieauga visos eksperimenta apstākļos, salīdzinot ar sākotnējo to saturu biomasā. Visvairāk *C. Vulgaris* saražoja Temp (18,34 %), lipīdu saturs palielinājās par 70,48 %. Vismazākais lipīdu daudzums ir Tumsa + Temp (6,81 %). Būtiskas atšķirības vērojamas, salīdzinot references apstākļus ar stresa apstākļos iegūto lipīdu daudzumu. pH+ apstākļos aļģe spēj saražot par 45,73 % vairāk lipīdu nekā Ref. Lai aļģe spētu saražot lielāku proteīnu daudzumu, ir jāizveido vide ar pazeminātu temperatūru.

---

## Atsauces

1. Axelsson, L. *et al.* (2018). Perspective: Jatropha cultivation in southern India: Assessing farmers' experiences. *Biofuels, Bioprod. Biorefining* 6, pp. 246–256 (2012).
2. Benedetti, M., Vecchi, V., Barera, S. & Dall'Osto, L. Biomass from microalgae: The potential of domestication towards sustainable biofactories. *Microb. Cell Fact.* 17, pp. 1–18.
3. Cheng, D., He, Q. (2014). Assessment of environmental stresses for enhanced microalgal biofuel production – an overview. *Front. Energy Res.* 2, pp. 8.
4. Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.* 25, pp. 294–306.
5. Church, J. *et al.* (2017). Effect of salt type and concentration on the growth and lipid content of *Chlorella vulgaris* in synthetic saline wastewater for biofuel production. *Bioresour. Technol.* 243, pp. 147–153.
6. Cinar, S. O. *et al.* (2020). Bioplastic production from microalgae: A review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, pp. 1–21.
7. Finstein, M. S., Hunter, J. V. (1967). Hydrolysis of condensed phosphates during aerobic biological sewage treatment. *Water Res.* 1, pp. 247–254.
8. Gonçalves, A. L., Pires, J. C. M., Simões, M. (2013). Lipid production of *Chlorella vulgaris* and *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 4, pp. 1–6.
9. Hannon, M., Gimpel, J., Tran, M., Rasala, B., Mayfield, S. (2010). Biofuels from algae: challenges and potential Importance & challenges of algal biofuels. *Biofuels* 1, pp. 763–784.
10. Ji, C. F. *et al.* (2011). Effects of nutrient deprivation on biochemical compositions and photo-hydrogen production of *Tetraselmis subcordiformis*. *Int. J. Hydrogen Energy* 36, pp. 5817–5821.
11. Kadam, S. U., Álvarez, C., Tiwari, B. K. & O'Donnell, C. P. (2017). Extraction and characterization of protein from Irish brown seaweed *Ascophyllum nodosum*. *Food Res. Int.* 99, pp. 1021–1027.
12. Knoshaug, E. P., Dong, T., Spiller, R., Nagle, N., Pienkos, P. T. (2018). Pretreatment and fermentation of salt-water grown algal biomass as a feedstock for biofuels and high-value biochemicals. *Algal Res.* 36, pp. 239–248.
13. Lavrinovičs, A., Juhna, T. (2018). Review on Challenges and Limitations for Algae-Based Wastewater Treatment. *Constr. Sci.* 20, pp. 17–25.

14. Leavitt, P. R., Findlay, D. L., Hall, R. I., Smol, J. P. (1999). Algal responses to dissolved organic carbon loss and pH decline during whole-lake acidification: Evidence from paleolimnology. *Limnol. Oceanogr.* 44, pp. 757–773.
15. Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C. Q., Dubois-Calero, N. (2008). Biofuels from microalgae. *Biotechnol. Prog.* 24, pp. 815–820.
16. Local Government Association – High Rate Algal Ponds (HRAP[online] [accessed 12 December 2021]. Available at: <https://www.lga.sa.gov.au/about-lga/what-we-do/community-waste-water-management-systems/high-rate-algal-ponds-hrap>.
17. Ma, X., Zheng, H., Huang, H., Liu, Y., Ruan, R. (2014). Effects of Temperature and Substrate Concentration on Lipid Production by *Chlorella vulgaris* from Enzymatic Hydrolysates of Lipid-Extracted Microalgal Biomass Residues (LMBRs). *Appl. Biochem. Biotechnol.* 174, pp. 1631–1650.
18. Martínez-Roldán, A. J., Perales-Vela, H. V., Cañizares-Villanueva, R. O., Torzillo, G. (2014). Physiological response of *Nannochloropsis* sp. to saline stress in laboratory batch cultures. *J. Appl. Phycol.* 26, pp. 115–121.
19. Metabolism, C. Chapter 7 Photosynthesis, Carbohydrate Metabolism and. *Physiology*, pp. 153–175 (2000) doi:10.1007/0-306-48137-5.
20. Morales-Sánchez, D., Schulze, P. S. C., Kiron, V., Wlijffels, R. H. (2020). Production of carbohydrates, lipids and polyunsaturated fatty acids (PUFA) by the polar marine microalga *Chlamydomonas malina* RCC2488. *Algal Res.* 50, pp. 102016.
21. Park, J. B. K., Craggs, R. J., Shilton, A. N. (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresour. Technol.* 102, pp. 35–42.
22. Pasquet, V. et al. (2011). Study on the microalgal pigments extraction process: Performance of microwave assisted extraction. *Process Biochem.* 46, pp. 59–67.
23. Pawlita-Posmyk, M., Wzorek, M., Płaczek, M. (2018). The influence of temperature on algal biomass growth for biogas production. *MATEC Web Conf.* 240, pp. 4–10.
24. Powell, N., Shilton, A., Pratt, S. & Chisti, Y. (2011). Luxury uptake of phosphorus by microalgae in full-scale waste stabilisation ponds. *Water Sci. Technol.* 63, pp. 704–709.
25. Přebyl, P., Cepák, V. & Zachleder, V. (2012). Production of lipids in 10 strains of *Chlorella* and *Parachlorella*, and enhanced lipid productivity in *Chlorella vulgaris*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 94, pp. 549–561.
26. Radakovits, R., Jinkerson, R. E., Darzins, A. & Posewitz, M. C. (2010). Genetic engineering of algae for enhanced biofuel production. *Eukaryot. Cell* 9, pp. 486–501.
27. Varicon Aqua – Algal Photobioreactors. [online] [accessed 12 December 2021]. Available at: <https://freshbydesign.com.au/aquaponic-aquaculture-products/aquaculture-systems/varicon-aqua-algal-photobioreactors-2/>.
28. Zhao, B., Su, Y. (2014). Process effect of microalgal-carbon dioxide fixation and biomass production: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 31, pp. 121–132.

## Summary

This study examined the effects of various stress conditions on the growth of the microalgal species *Chlorella vulgaris* and its capacity to produce high-value molecules. To study the effects of stress conditions on algae of this species, *C. vulgaris* cells were grown in a medium with different stress factors (stress-free environment, nitrate deficiency, phosphate deficiency, nitrate and phosphate deficiency, salinity increased, pH decreased, pH increased, light deficiency, reduced temperature, reduced temperature and light deficiency). A study of

protein, biomass, carbohydrate and lipid changes concluded that the largest amount of biomass proteins is produced at a reduced pH, increasing by 23.20 % of the initial value and reaching 14.09 mg DW, the most biomass is obtained by the algae growing at a reduced pH (1.97 g DW L<sup>-1</sup>) and the largest carbohydrate amount is obtained from algae grown at a reduced pH (0.972 mg), increasing by 66.16 %. Looking at the total amount of lipids, proteins and biomass produced compared to the initial amount, most algae are able to produce in a reduced pH environment.





# Tālis Ozols

## PLAKNES PĀRKLĀŠANA AR VIENĀDĀM SNIEGPĀRSLĀM

### Darba zinātniskais vadītājs

*Dr. math.* Andrejs Cibulis

*Mg. math.* Emīls Veide

### Kopsavilkums

Par sniegpārslu tika definēta plaknes figūra, kurai ir visas tās simetrijas, kas piemīt kādam regulāram daudzstūrim. Tad tika pētīta plaknes pārklāšana ar vienādām sniegpārslām. Tika pētīti pārklājumi uz sfēras, Eiklīda plaknē un hiperboliskajā plaknē. Tika veikti pieņēmumi, lai šīs figūras varētu aprakstīt ar kombinatoriskiem vārdiem. Tika pārveidots algoritms no raksta [1], lai ar to varētu ģenerēt jebkuru no bezgalīgi daudzajām sniegpārslām, kas var pārklāt plakni.

### Atslēgvārdi

Pārklājumi, ģenerēšana, hiperboliskā ģeometrija.

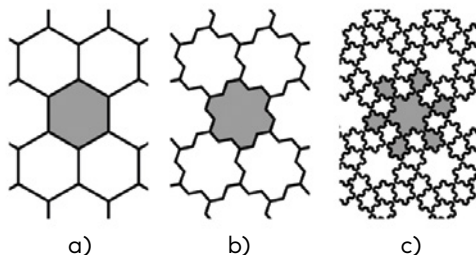


---

## IEVADS

Cepot piparkūkas, autoram radās doma, vai plakni var pārklāt ar sniegpārslām, lai nepaliktu neizmantota vieta. Par sniegpārslu šajā gadījumā tiek saukta plaknes figūra, kurai piemīt visas regulāra sešstūra simetrijas.

Triviālais risinājums ir plaknes regulārais sešstūru pārklājums. Tas un daži sarežģītāki piemēri redzami 1. attēlā.



1. attēls. Sniegpārslu pārklājumu piemēri.

Par regulāru  $n$ -stūri tiek saukts regulārs daudzstūris ar  $n$  malām. Ar Šlafli simbolu (angļu val. *Schläfli symbol*)  $\{p, q\}$ , kur  $p, q \in \mathbb{N}$  un  $p, q \geq 3$ , apzīmē tādu plaknes pārklājumu, kas sastāv tikai no regulāriem  $p$ -stūriem, kura katra virsotne pieder tieši  $q$  dažādu  $p$ -stūru robežām [31]. Iepriekš minētā triviālā risinājuma gadījumā katra pārklājuma virsotne pieder tieši trīs regulāriem sešstūriem, tātad  $p = 6$  un  $q = 3$ . Atkarībā no  $p$  un  $q$  šie pārklājumi var pastāvēt gan Eiklīda plaknē, gan uz lodes (Platona daudzskaldņi), gan hiperboliskajā plaknē. Pētniecības darbā sniegpārsla tika vispārināta visiem šiem gadījumiem. Par sniegpārslu tika definēta figūra, kurai ir visas tās pašas simetrijas, kas piemīt kādam regulāram  $p$ -stūrim.

Sniegpārsla tika saukta par pārklājošu sniegpārslu, ja tās kopijas var pārklāt plakni (bez caurumiem un bez savstarpējas pārklāšanās), un tai izpildās šādi pieņēmumi.

1. Sniegpārslas robeža ir vienkārša lauza līnija, visi posmi tās ir vienādi, visi leņķi ir ekvivalenti. Par ekvivalentiem darbā tika uzskatīti gan vienādi leņķi, gan tādi, kuru summa ir  $2\pi$ .
2. Jāpastāv pārklājumam, izmantojot sniegpārslas kopijas (tās var tikt pārvietotas un rotētas), kas ir topoloģiski vienāds ar regulāro  $\{p, q\}$  pārklājumu (tas nozīmē to, ka katrai sniegpārslai ir kopīga līkne ar tieši  $p$  citām figūrām un katra pārklājuma virsotne pieder tieši  $q$  dažādām sniegpārslām), katras tā figūras centrā ir kārtas  $p$  simetrijas centrs, katrā pārklājuma virsotnē – kārtas  $q$ .

Ja kāds no šiem pieņēmumiem tiktu izlaists, tad vai nu atrisinājumi būtu ļoti brīvi (izvēloties jebkuru sevi nekrustojošu līkni, varētu atrast pārklājošu sniegpārslu, kuras robeža ietver doto līkni), vai arī tos būtu ievērojami grūtāk sistematizēt.

## Mērķis

Izveidot un pamatot algoritmu, ar ko var ģenerēt jebkuru no bezgalīgi daudzajām pārklājošām sniegpārslām.

## Uzdevumi

1. Izpētīt literatūru, kurā risinātas līdzīgas problēmas.
2. Pārveidot literatūrā atrasto algoritmu, lai ar to ģenerētu pārklājošas sniegpārslas.
3. Darba gaitā izveidot datorprogrammu, ar kuru veikt izpēti, tajā iekļaut pārveidoto algoritmu.
4. Pierādīt, ka izveidotais algoritms spēj ģenerēt jebkuru pārklājošu sniegpārslu.



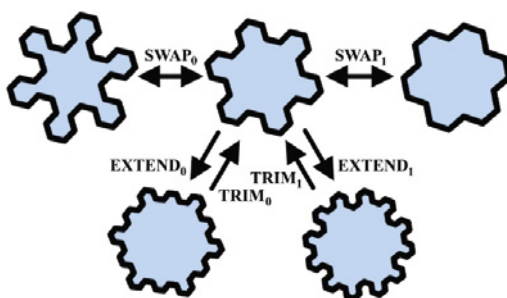
---

## DARBA METODOLOĢIJA

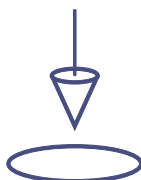
Meklējot informāciju par šāda veida problēmām, tika atrasts autoru *A. Blondin Massé, A. Garon* un *S. Labbé* raksts [1], kas ir pētniecības darba pamatā. Rakstā tika izveidots algoritms, ar ko var ģenerēt jebkuru no bezgalīgi daudzajiem *double square polyomino*. Tie ir polimino, kas plakni var pārklāt divos dažādos veidos ar šādām īpašībām: polimino tiek tikai pārvietoti (tas ir, tie nevar rotēt); katra pārklājuma virsotne pieder tieši četriem polimino.

Šis algoritms pētniecības darbā tika modificēts, lai tas ģenerētu tikai figūras ar kārtas  $p$  centrālo simetriju un lai to varētu izmantot arī hiperboliskajā un sfēriskajā ģeometrijā.

Tika pierādīts, ka katras pārklājošas sniegpārslas robežu var aprakstīt ar kombinatorisku vārdu. No vienas sniegpārslas var iegūt vairākas citas, tās vārdu pārveidojot ar operatoriem, kas ir funkcijas, kas vienu kombinatorisko vārdu pārvērš citā. Darbā definētajiem operatoriem tika pierādītas divas svarīgas īpašības. Pirmā īpašība: katram sniegpārslas vārdam (izņemot regulāro sešstūri) pastāvēs vismaz viens operators, ko lietojot, sniegpārslas vārds kļūs īsāks. Līdz ar to katru sniegpārslas vārdu var saīsināt atkārtoti. Vārda garums ir vesels nenegatīvs skaitlis, tāpēc to nevar samazināt bezgalīgi daudzas reizes un ir jāpastāv virknei ar operatoriem, ar kuriem no sākotnējā vārda var iegūt regulāra sešstūra vārdu. Otrā īpašība: katru operatoru var atsaukt, tas ir, ja sniegpārslas vārdu pārveido ar jebkuru no operatoriem, tad pastāvēs atsaucošs operators, ko var lietot pārveidotajam vārdam, lai iegūtu sākotnējo vārdu (2. att.). Ņemot vērā to, ka katru sniegpārslu var ar kādu operatoru virkni pārveidot par regulāru sešstūri, tika pierādīts, ka katru sniegpārslu var ģenerēt no regulāra sešstūra, izmantojot kādu operatoru virkni.



2. attēls. Vairāki pārklājošu sniegpārslu operatori, kas lietoti vienai sniegpārslai, un to atsaucošie operatori.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Darbā tika pierādīts, ka jebkuru no bezgalīgi daudzajām pārklājošajām sniegpārslām var aprakstīt ar kombinatoriskajiem vārdiem, tātad arī ģenerēt ar darbā aprakstīto algoritmu. Tomēr tiek ģenerēti arī vārdi, kas neapraksta derīgas pārklājošas sniegpārslas:

- PS sadalījuma robeža var sevi krustot, tādējādi pārkāpjot ievadā definēto pirmo pieņēmumu;
- viens un tas pats PS sadalījums var tikt ģenerēts atkārtoti.

Nederīgo PS sadalījumu atdalīšanai algoritms vēl nav radīts.

Lai veiktu matemātisko izpēti, noder pārklājumu programmatiska zīmēšana. Tāpēc tika izveidota *JavaScript* aplikācija (<https://ists-cilveks.github.io/Snowflake-tilings/>), kurā iespējams pārklājumus zīmēt ar datorpeli un arī ģenerēt ar darbā aprakstītajiem operatoriem.

Darbā risinātajai problēmai līdzīgas problēmas var formulēt arī vairāk nekā divās dimensijās, piemēram, telpas aizpildīšana ar vienādām figūrām, kurām piemīt noteikta veida simetrija. Šīs problēmas, visticamāk, nevarēs atrisināt ar vārdu kombinatoriku, tāpēc to atrisinājumus (ja tie eksistē) būtu grūtāk precīzi aprakstīt.

Darbā izveidotajā programmā bija nepieciešams zīmēt laužas līnijas, kurām ir vienāda garuma posmi un kurām ir zināmi leņķi starp secīgiem posmiem. Neatkarīgi no ģeometrijas veida ir iespējams precīzi aprēķināt attālumu starp noteiktas laužtās līnijas galapunktiem, ja dots tās posmu garums. Tomēr, lai zīmētu sniegpārslu pārklājumus, vajadzīgs arī pretējais: atrast posma garumu, ja laužtās līnijas galapunktiem jābūt noteiktā attālumā vienam no otra. Eiklīda ģeometrijā šī problēma ir vienkārša, jo posma garums ir tieši proporcionāls attālumam starp galapunktiem. Neeiklīda ģeometrijā šī sakarība nav pat monotona, un var pastāvēt vairāki atrisinājumi, no kuriem daudzi rada laužas līnijas, kas sevi krusto. Veidojot programmu, netika atrasts stabils veids, kā visos gadījumos aprēķināt posma garumu.

---

## Atsauces

1. Blondin Massé, A., Garon, A., Labbé, S. (2013). *Combinatorial properties of Double Square tiles*. *Theoretical Computer Science*, 502, 98–117 [online]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2012.10.040>.
  2. Lothaire, M. (1997). *Combinatorics on Words*. Cambridge University Press, Cambridge. [online]. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511566097>.
- Weisstein, E. W. *Schläfli Symbol*. MathWorld-A Wolfram Web Resource [online] [accessed 4 January 2022]. Available at: <https://mathworld.wolfram.com/SchlaefliSymbol.html>.

## Summary

Any shape having the same symmetries as some convex regular polygon was defined as a snowflake. Then tiling of a plane with congruent snowflakes was studied. Tiling on a sphere, Euclidean plane and hyperbolic

plane was studied. Assumptions were made about the possibility of tiling with combinatorial words. An algorithm was modified to exhaustively generate snowflakes that tile the plane.



# Annija Patrīcija Paugule

## MEMBRĀNU PIEMĒROTĪBAS NOTEIKŠANA TIEŠAJAI OSMOZEI ŪDENS APSTRĀDES PROCESĀ, TO BIOĻĪSKĀS AIZSĒRĒŠANAS NOVĒRŠANA

### Darba zinātniskie vadītāji

*Mg. sc. ing.* Jēkabs Bumbieris

*Mg. chem.* Laura Fjodorova

### Kopsavilkums

Ūdens kvalitāte un piesārņojums ir ļoti aktuālas un apspriestas problēmas, tāpēc darbā tika meklētas vispiemērotākās membrānas tiešās osmozes procesam, kas ar zemu enerģijas patēriņu spētu nodrošināt ūdens attīrīšanu un atsāļošanu. Lai noskaidrotu piemērotāko membrānu, tika veikti eksperimenti, izmantojot dažāda veida membrānas. Vispiemērotākajai no pieejamajām membrānām tika meklēts risinājums, kā samazināt tās bioloģisko aizsērēšanu, lai nebūtu jālieto dažādas ķīmiskās apstrādes metodes, kas var kaitēt apkārtējai videi. Lai būtu iespējams novērtēt bioloģiskās aizsērēšanas novēršanas metodes efektivitāti, tika veikti ATP mērījumi, kā arī tika uzņemti attēli, izmantojot mikroskopu, membrānas paraugu apstrādājot ar DAPI. Pētījuma noslēgumā tika izdarīti secinājumi par piemērotāko membrānu un tās apstrādi, lai novērstu bioloģisko aizsērēšanu.

### Atslēgvārdi

Tiešā osmoze, membrānas, membrānu aizsērēšana, bioloģiskā aizsērēšana,  $\text{TiO}_2$  fotokatalīze.



---

## IEVADS

Praktiski lietojot membrānu tehnoloģijas – tiešo un reverso osmozi –, nākas saskarties ar to aizsērēšanas problēmu. Šobrīd tā lielākoties tiek risināta dabai ne īpaši draudzīgā veidā – membrānas tiek tīrītas, tās apstrādājot ar līdzekļiem, kas satur hlору. Šo membrānu aizsērēšanas problēmu būtu nepieciešams risināt dabai draudzīgākā

veidā, lai membrānu procesus būtu iespējams padarīt videi vēl nekaitīgākus to plašā lietojuma dēļ. Tiešās osmozes tehnoloģijai ir ļoti plašs lietojums, tāpat kā reversajai osmozei. To ir iespējams lietot pārtikas rūpniecībā, notekūdeņu attīrīšanā, kā arī dzeramā ūdens ražošanā. Visos šajos procesos, izmantojot tiešo osmozi, ir iespējams samazināt nepieciešamo enerģijas patēriņu un uzlabot procesu efektivitāti.

Tiešās osmozes tehnoloģijas lietošana pārtikas rūpniecībā dod iespēju iegūt dažādus koncentrātus, ko tālāk var izmantot ražošanas procesā, kā arī tirgot. Kā vēl vienu lietojuma veidu var minēt notekūdeņu attīrīšanu. Mājsaimniecībās saražoto notekūdeņu apjoms ir niecīgs, salīdzinot ar rūpnīcām. Bieži vien nākas saskarties ar situācijām, kad dabīgās ūdenstilpes tiek piesārņotas ar ķīmisko piesārņojumu, ko rada rūpnīcu notekūdeņi. Ar tiešās osmozes palīdzību būtu iespējams iegūt tīru ūdeni, kas nepiesārņotu dabu, turklāt to būtu iespējams atkārtoti izmantot ražošanas procesā.

Šo tehnoloģiju ir iespējams lietot arī sālsūdens destilācijai. Šī procesa pieprasījums tikai pieaugs, jo ir novērojama saldūdens resursu samazināšanās. 2019. gadā 13 % EU-27 teritorijas nācās saskarties ar ūdens trūkumu, kas skāra 26 % Eiropas iedzīvotāju vairāk nekā pusgada garumā (*eea.europa.eu, n. d.*). Turklāt pasaulē ir teritorijas, kurās jau šobrīd ir novērojama augsnes un gruntsūdeņu sasāļošanās. Ļoti būtiska ir arī dzeramā ūdens kvalitāte, jo jau šobrīd pēc Pasaules Veselības organizācijas datiem piesārņotu dzeramo ūdeni uzturā lieto vismaz 2 miljardi cilvēku (*World Health Organization, 2022*). Tiešā osmoze ir perspektīva tehnoloģija, ar kuras palīdzību varētu nodrošināt tīru dzeramo ūdeni, izmantojot nelielu enerģijas apjomu, kā arī risināt citas minētās problēmas.

## Mērķis

Pārlicināties par piemērotāko membrānu un piemeklēt metodi, kā samazināt membrānas aizsērēšanu procesa laikā.

## Uzdevumi

1. Analizēt pieejamos literatūras avotus par tiešās osmozes tehnoloģiju un tās priekšrocībām, salīdzinot ar reverso osmozi.
2. Veikt praktiskus pētījumus, lai pārlicinātos par membrānas piemērotību.
3. Atrast metodi, ar kuras palīdzību iespējams novērst membrānas aizsērēšanu.
4. Veikt pētījumus, lai novērtētu un novērstu membrānas aizsērēšanu.

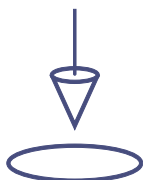


---

## DARBA METODOLOĢIJA

Membrānu piemērotība tika noteikta, membrānu paraugus ievietojot speciāli izgatavotā šūnā, kuras vienā pusē membrāna saskaras ar *feed solution*, kā *feed solution* izmantojot destilētu ūdeni, savukārt membrānas otrā pusē bija *draw solution*, kā *draw solution* izmantojot nātrija hlorīda šķīdumu ūdenī. Šādi tika testētas dažādas membrānas – asimetriskā reversās osmozes membrāna, asimetriskā tiešās osmozes membrāna, dažādas simetriskās biodegradējamās membrānas. Membrānu testēšanas

laikā tika noteiktas šķīdumu masas izmaiņas, kā arī šķīdumu elektrovadītspēja. Mērījumi tika izmantoti aprēķinos, lai noteiktu sāls un ūdens plūsmu caur membrānu. Lai novērstu bioloģisko aizsērēšanu asimetriskajai tiešās osmozes membrānai, tika izmantota titāna dioksīda fotokatalīze, ar kuras palīdzību ir iespējams atbrīvoties no gandrīz visiem bioloģiskajiem un organiskajiem piesārņotājiem (Bono, 2021). Šīs metodes efektivitāte tika pārbaudīta, nosakot baktēriju koncentrāciju ūdenī pirms eksperimentiem, nosakot koncentrāciju ūdenī pēc eksperimentā bez fotokatalīzes, kā arī nosakot koncentrāciju ūdenī eksperimentā ar fotokatalīzi. Tika arī vizuāli noteikta baktēriju koncentrācija uz membrānas. Attiecīgi tika izmantots membrānas paraugs, kas tika izmantots eksperimentā ar fotokatalīzi, paraugs, kas tika izmantots eksperimentā bez fotokatalīzes, un jauns paraugs. Visi paraugi tika apstrādāti ar DAPI, un pēc tam analizēti ar mikroskopu uzņemtie attēli, kuros vizuāli bija iespējams novērot baktēriju koncentrāciju atkarībā no krāsas, kādā membrānā iekrāsojās.



## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

1. Tiešās osmozes procesā ir nepieciešams ievērojami mazāks enerģijas patēriņš, salīdzinot ar reversās osmozes procesu, tāpēc tas varētu sniegt iespēju samazināt izmaksas, taču tiešās osmozes process vēl nav tik plaši izmantots kā reversā osmoze.
2. Praktiskajos eksperimentos izdevās pārliecināties, ka vispiemērotākās membrānas tiešajai osmozei ir asimetriskā FO membrāna, jo tai bija pietiekama ūdens caurlaidība, kā arī atbilstoša sāls caurlaidība, lai nodrošinātu optimālu procesa norisi, ko iespējams izmantot pārtikas rūpniecībā, dzeramā ūdens ražošanā, kā arī notekūdeņu attīrīšanā.
3. Pēc literatūras analīzes iespējams secināt, ka ļoti piemērota un atbilstoša metode membrānas bioloģiskās aizsērēšanas samazināšanai ir titāna dioksīda fotokatalīze, kas nodrošina atbrīvošanos no gandrīz visu veidu organiskajiem piesārņotājiem labai draudzīgā veidā ar zemām izmaksām, taču tā vēl iepriekš nav lietota membrānu aizsērēšanas samazināšanai.
4. Eksperimentos izdevās novērot membrānas aizsērēšanos, kā arī to nedaudz samazināt, izmantojot titāna dioksīda fotokatalīzi, taču fotokatalīzes laikā tika nedaudz bojāta asimetriskā FO membrāna, jo tika izvēlēts nepiemērots blīvējums.
5. Fotokatalīze, izmantojot ar titāna dioksīdu pārklātas optiskās šķiedras, ir perspektīvs risinājums membrānu aizsērēšanas novēršanai, taču ir nepieciešams turpināt eksperimentus, izmēģinot to uz dažāda veida membrānām, kā arī izvēloties piemērotāku blīvējuma veidu, lai netiktu bojāta membrāna. Šī metode neatstāj negatīvu ietekmi uz dabu, kā arī tai ir zemas izmaksas.

---

## Atsauces

Bono, N., Ponti, F., Punta, C., & Candiani, G. (2021). *Effect of UV Irradiation and TiO<sub>2</sub>-Photocatalysis on Airborne Bacteria and Viruses: An Overview*. *Materials*, 14 (5), 1075 [online]. Available at: <https://doi.org/10.3390/ma14051075>.

*Use of freshwater resources in Europe*. (n. d.). [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu). [online].

Available at: <https://www.eea.europa.eu/ims/use-of-freshwater-resources-in-europe-1>.

World Health Organization. *Drinking water*. [Who.int](http://who.int); World Health Organization: WHO [online] [accessed 22 March 2021]. Available at <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/drinking-water>.

## Summary

Water quality and pollution are very topical and discussed problems, therefore the most suitable membranes for forward osmosis process were searched, which can provide water purification and desalination with low energy consumption. Experiments using different types of membranes were performed to determine the most suitable one. For the most suitable membrane available, a solution was sought to reduce its bio fouling

without the need for various chemical treatment methods that could be harmful to the environment. To evaluate the effectiveness of the bio fouling prevention method, ATP measurements were performed, as well as images were taken under a microscope by treating the membrane sample with DAPI. At the end of the study conclusions were drawn about the most suitable membrane and its treatment to prevent bio fouling.





# Elizabete Pliene

## LIETOTĀJA IETEKME UZ MOBILO 5G ANTENU DARBĪBU

### Darba zinātniskā vadītāja

*Mg. sc. ing.* Tatjana Solovjova

*Dr. phys.* Virgīnija Vītola

*Mg. phys.* Elza Līna Liniņa

## Kopsavilkums

Pētījuma mērķis ir izpētīt un eksperimentāli kvantificēt lietotāja tuvuma ietekmi uz mobilā 5G telefona raidošo antenu uztvertā signāla intensitāti tālajā raidīšanas zonā. Pētījuma gaitā apskatīta 5G tehnoloģija, tās raksturlielumi un galvenie parametri, kā arī *MIMO* antenu sistēmas, kas ir pamatelements 5G tehnoloģijas īstenošanai. Lai skaidrotu lietotāja ietekmi uz mobilo 5G antenu uztvertā signāla intensitāti tālajā raidīšanas zonā, tiek aprakstīta bioloģiskā materiāla (cilvēka šūnu) mijiedarbība ar elektromagnētiskajiem viļņiem divās situācijās – viļņu absorbcija un atstarošānās. Eksperimentālajā daļā veikti mērījumi gan neaizšķērsotā telpā, gan lietotāja klātbūtnē. Tiek mērīta antenas starojuma intensitāte tālajā raidīšanas zonā, kas vēlāk tiek attēlots antenas virziendarbības diagrammā. Ar iegūtajiem datiem tiek aprēķināta no mobilā telefona uztvertā signāla līmeņa relatīvā samazināšanās lietotāja klātbūtnē, kas skaidri apraksta lietotāja ietekmi uz mobilās antenas darbību. Noskaidrots, ka relatīvais uztvertā signāla intensitātes zudums ir 14 % un *SAR* vērtība ir 0,064 W/kg.

## Atslēgvārdi

5G tehnoloģija, mobilās antenas, elektromagnētisko viļņu mijiedarbība ar cilvēka šūnām.



## IEVADS

Pēdējo 35 gadu laikā veiktie mobilo sakaru standartu jauninājumi ir būtiski ietekmējuši klientu uztvērēju antenu (*terminal antenna*) attīstību. Jau 3G un 4G tehnoloģija ir būtiski uzlabojusi mobilo sakaru ātrumu un kvalitāti, taču kā vienu no galvenajiem attīstības soļiem var minēt pāreju uz 5G tehnoloģiju, kas nodrošina līdz pat 1000 reižu lielāku datu pārraides apjomu un ātrumu.

5G tehnoloģijas realizācija piedāvā neskaitāmus uzlabojumus jau esošajām sistēmām un iespējas jaunu tehnoloģiju attīstībai, piemēram, lietu interneta (*IoT*) uzlabojumus,

kā arī iespēju jebkuram mobilā telefona lietotājam iesaistīties digitālās ekonomikas, kas pieprasa pēc iespējas mazāku aizkavi komunikācijas laikā, veidošanā un attīstībā. Tomēr arī šī tehnoloģija nāk ar saviem izaicinājumiem. Kompleksu *MIMO* antenu sistēmu izstrāde pieprasa daudz dažādu resursu, taču vēl lielāks izaicinājums ir nodrošināt to optimālu praktisko darbību. Kā vienu no galvenajiem izaicinājumiem tehniskā līmenī var apskatīt lietotāja ietekmi uz mobilo 5G antenu darbību.

Pāreja uz 5G tehnoloģiju nozīmē drastisku darba frekvenču nomaiņu, no sākotnējiem 2–6 GHz uz nu jau 6 GHz līdz pat 48 GHz. Ar frekvences palielināšanos būtiski samazinās viļņu garums, kas nozīmē, ka arvien lielāka ietekme ir objektiem, kas atrodas antenas tuvajā raidīšanas zonā. Mobilo ierīču gadījumā lietotājs ir tieši tas, kurš praktiski vienmēr atrodas mobilās ierīces tuvajā raidīšanas zonā.

Lai kvantificētu lietotāja ietekmi uz antenu darbību, tiek apskatīta cilvēka šūnu un elektromagnētisko viļņu mijiedarbība. Divi galvenie mijiedarbības veidi ir viļņu absorbcija un atstarošana. Apskatot abus mijiedarbības veidus, iespējams modelēt un paredzēt lietotāja ietekmi, ko vēlāk papildus var pārbaudīt, veicot eksperimentālus mērījumus.

## Mērķis

Izpētīt un kvantificēt lietotāja ietekmi uz mobilo 5G antenu uztvertā signāla intensitāti tālajā raidīšanas zonā.

## Uzdevumi

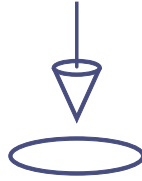
1. Teorētiski apskatīt cilvēka šūnu un elektromagnētisko viļņu mijiedarbību un tās sekas.
2. Veikt apskatu par šābrīža pieejamajām mobilajām 5G antenām.
3. Izvēlēties praktiskajiem mērījumiem piemērotāko mobilo telefonu ar 5G antenu.
4. Veikt mērījumus, lai kvantificētu elektromagnētisko viļņu absorbciju un atstarošanu no cilvēka šūnām.



---

## DARBA METODOLOĢIJA

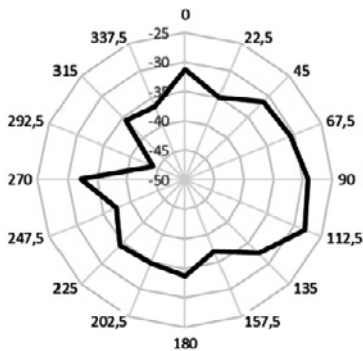
Lai izprastu lietotāja un mobilo antenu mijiedarbību, veikts teorētisks apskats, kas iekļauj gan elektromagnētisko viļņu pamatdarbības īpašību izpēti, gan cilvēka šūnu fizikālo īpašību izpēti, kā arī dažādu *MIMO* antenu sistēmu izpēti. Tika apskatīti gan mācību materiāli, gan arī citi pētījumi, kas saistīti ar darbā pētīto jautājumu. Pēc teorētiskā pētījuma tika veikta darba praktiskā daļa, kas īstenota sadarbībā ar Latvijas Elektronikas iekārtu testēšanas centru (LEITC). Kopumā eksperimenta gaitā veikti divu veidu mērījumi – neaizšķērsotā telpā un telpā ar lietotāja klātbūtni. Telefons (mobilā 5G antena) tika uzstādīts ekranizētā bezatbalss kamerā, kas tiek monitorēta. Mērījumi tika veikti ar spektra analizatoru. Vienā mērījumu reizē tika veikti 16 mērījumi, respektīvi, 16 dažādos leņķos attiecībā pret spektra analizatoru. Abi mērījumu veidi tiek atkārtoti vairākas reizes, lai iegūtu maksimāli precīzu vidējo uztvertās jaudas vērtību. Pēc tam visi iegūtie dati tika analizēti un salīdzināti, definējot secinājumus.



## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

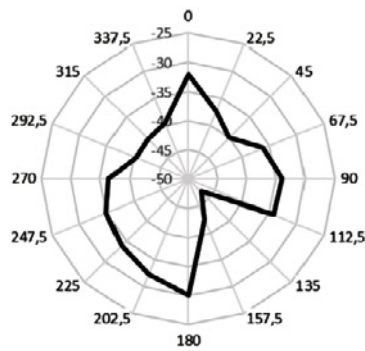
No eksperimentā iegūtajiem datiem tika izveidotas divas antenas virziendarbības diagrammas (1. un 2. att.), kurās iespējams novērot būtiskas atšķirības antenas starojuma intensitātē. Pie  $0^\circ$  abi mērījumi ir ļoti līdzīgi ( $-31,3$  dBm un  $-32,0$  dBm). Šāds rezultāts iespējams tāpēc, ka vienīgais absorbētājs, atrodoties šādā pozīcijā, ir lietotāja plaukstas, kā rezultātā zudums ir niecīgs. Vislielākā atšķirība novērojama  $135^\circ$  attiecībā pret uztverošo antenu, no kuras signāls tiek novadīts uz spektra analizatoru, kur neaizšķērsotā telpā starojuma intensitāte ir  $-32,4$  dBm, taču lietotājā klātbūtnes laikā tā ir  $-46,9$  dBm. To iespējams skaidrot ar faktu, ka, atrodoties  $135^\circ$  leņķī attiecībā pret signālu uztverošo antenu, lietotāja ķermenis starp mobilo antenu un spektra analizatoru atrodas sāniski, kā rezultātā starp mobilo telefonu un uztvērējantenu ir ievērojami biežāks slānis cilvēka šūnu, nekā tas būtu, ja lietotājs stāv perpendikulāri pret raidītajiem viļņiem, kas nozīmē, ka tiek absorbēts lielāks daudzums elektromagnētisko viļņu. Jāņem vērā arī viļņu daudzums, kas tiek atstarots no lietotāja ķermeņa un vēlāk absorbēts bezatbalss kameras sienās, kā rezultātā tie spektra analizatoru nemaz nesasniedz.

No mobilās ierīces uztvertā signāla līmeņa relatīvo samazināšanos izsaka kā pievadītās un uztvertās jaudas attiecību. Vidējā no mobilās ierīces uztvertā signāla līmeņa relatīvā samazināšanās izmantotajam mobilā telefona modelim ir  $0,14$  jeb  $14\%$ .



— Antenas starojuma intensitāte, dBm

1. attēls. Antenas virziendarbības diagramma neaizšķērsotā telpā.



— Antenas starojuma intensitāte, dBm

2. attēls. Antenas virziendarbības diagramma lietotāja klātbūtnes laikā.

1. Alekseev, S. I., Ziskin, M. C. (2007). Human skin permittivity determined by millimeter wave reflection measurements. *Bioelectromagnetics*, 28 (5), 331–339. doi: 10.1002/bem.20308.
2. Andersen, J. B., Nielsen, J. O., & Pedersen, G. F. (2016). Absorption Related to Hand-Held Devices in Data Mode. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 58 (1), 47–53. doi: 10.1109/TEMC.2015.2504398.
3. Behnke, K. (2019). Is this anything to worry about? 5G health issues explained. Grandmetric. Retrieved from <https://www.grandmetric.com/2019/03/26/5g-health-issues-explained/>.
4. Chahat, N., Zhadobov, M., Augustine, R., & Sauleau, R. (2011). Human skin permittivity models for millimetre-wave range. *Electronics Letters*, 47 (7), 427–428. doi: 10.1049/el.2011.0349.
5. Deng, C., & Lv, X. (2019). Eight-element MIMO antenna with tightly-arranged pairs for 5G mobile terminal. 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, APSURSI 2019 – Proceedings, 705–706. doi: 10.1109/APUSN-CURSINRSM.2019.8888678.
6. Gabriel, S., Lau, R. W., & Gabriel, C. (1996). The dielectric properties of biological tissues: Measurements in the frequency range 10\uppercase{H}z to 20\uppercase{GH}z. *Physics in Medicine and Biology*, 41 (11), 2251–2269.
7. Gandhi, O. P., & Riaz, A. (1986). Absorption of Millimeter Waves By Human Beings and Its Biological Implications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, MTT-34 (2), 228–235. doi: 10.1109/tmtt.1986.1133316.
8. Huo, Y., Dong, X., Xu, W., & Yuen, M. (2018). Cellular and WiFi Co-design for 5G User Equipment. *IEEE 5G World Forum, 5GWF 2018 – Conference Proceedings*, 256–261. doi: 10.1109/5GWF.2018.8517059.
9. Ilvonen, J., Kivekäs, O., Holopainen, J., Valkonen, R., Rasilainen, K., & Vainikainen, P. (2011). Mobile terminal antenna performance with the user's hand: Effect of antenna dimensioning and location. In *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* (Vol. 10). doi: 10.1109/LAWP.2011.2163290.
10. Khan, R., Al-Hadi, A. A., Soh, P. J., Kamarudin, M. R., Ali, M. T., & Owais. (2018). User influence on mobile terminal antennas: A review of challenges and potential solution for 5G antennas. *IEEE Access*, 6, 77695–77715. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2883788.
11. Melia, G. (2013). Electromagnetic Absorption by the Human Body from 1–15 GHz (Issue August). Retrieved from [http://etheses.whiterose.ac.uk/4676/7/gmthesis2\\_3.pdf](http://etheses.whiterose.ac.uk/4676/7/gmthesis2_3.pdf).
12. Orfanidis, S. (2019). *Electromagnetic wave & Antennas*. Film.
13. Paper, T. W. (2020). *Massive MIMO for New Radio*. December.
14. Pelosi, M., Franek, O., Knudsen, M. B., Pedersen, G. F., & Andersen, J. B. (2010). Antenna proximity effects for talk and data modes in mobile phones. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 52 (3), 15–27. doi: 10.1109/MAP.2010.5586570.
15. Ren, Z., & Zhao, A. (2019). MIMO Antenna with Compact Self-Decoupled Antenna Pairs for 5G Mobile Terminals. *IEEE Access*, 7 (7), 82288–82296. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2923666.

16. Ren, Z., Wu, S., & Zhao, A. (2019). Triple Band MIMO Antenna System for 5G Mobile Terminals. 2019 International Workshop on Antenna Technology, IWAT 2019, 163–165. doi: 10.1109/IWAT.2019.8730605.
17. Ren, Z., Zhao, A., & Wu, S. (2019). Dual-Band MIMO Antenna System for 5G Mobile Terminals. 13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019, EuCAP, 2019–2022.
18. Syrytsin, I., Zhang, S., Pedersen, G. F., Zhao, K., Bolin, T., & Ying, Z. (2017). Statistical Investigation of the User Effects on Mobile Terminal Antennas for 5G Applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65 (12), 6596–6605. doi: 10.1109/TAP.2017.2681701.
19. Toftgård, J., Hornsleth, S. N., & Andersen, J. B. (1993). Effects on Portable Antennas of the Presence of a Person. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 41 (6), 739–746. doi: 10.1109/8.250451.
20. Vannithamby, R., & Talwar, S. (2016). Towards 5G : Applications, Requirements and Candidate Technologies. In *Towards 5G: Applications, Requirements and Candidate Technologies* (p. 469).
21. Wang, J., Wang, S., & Sui, J. (2021). Closely-spaced four-element MIMO antenna for 5G mobile terminals. 2020 International Symposium on Antennas and Propagation, ISAP 2020, 711–712. doi: 10.23919/ISAP47053.2021.9391378.
22. Wayne, L. (n.d.). Criticality of 5G Modem to RF Integration; A look inside Samsung Galaxy S20 Ultra \_\_ Omdia. Retrieved from <https://omdia.tech.informa.com/OM006104/Criticality-of-5G-Modem-to-RF-Integration-A-look-inside-Samsung-Galaxy-S20-Ultra>.
23. Wireless, N. Y. U., & Polytechnic, N. Y. U. (2021). *The Human Body and Millimeter – Wave Wireless Communication Systems : Interactions and Implications*. IEEE.
24. Zhao, K., Luxey, C., He, S., Zhang, S., Ishimiya, K., Ying, Z., Helander, J., Sjoberg, D., Bolin, T., Gustafson, C., Liao, Q., Ying, Z., & Bolin, T. (2017). *Mobile Antenna Systems for 4G and 5G Applications with User Body Interaction*. KTH Royal Institute of Technology.

## Summary

This study aims to investigate and experimentally quantify user's influence on mobile 5G antennas. The study looks at 5G technology, its characteristics, and key components. Further, MIMO antenna systems are described, which are one of the key enablers of 5G technology. To explain user's influence on these 5G mobile antennas, the interactions between biological matter (human cells) and electromagnetic waves are explained in two situations – wave absorption and reflection. The experiment is done in two different

setups: in an uncrossed room (free space) and with user's presence in the near radiation field. The intensity of the antenna radiation is measured, which is later displayed in radiation pattern graphs. The resulting data can be used to calculate the relative loss of detected signal caused by user's presence which clearly describes the user's impact on the function of the mobile antenna. It was concluded that relative loss of detected signal due to user's presence is 14 % and the SAR value is 0.064 W/kg.

# Alfrēds Saročinskis, Petr Gabuniia

## JAUNU HIPOTĒŽU PAR PIRMSKAITĻU IZVIETOŠANU NATURĀLU SKAITĻU RINDĀ IZVEIDOŠANA

### Darba zinātniskais vadītājs

*Mg. math. Stanislav Didych*

*Mg. sc. educ. Inguna Granta*



### Kopsavilkums

Darbā piedāvātas hipotēzes par intervālu, kas garantēti ietver vienu vai vairākus pirmskaitļus, robežu noteikšanu. Katras hipotēzes pārbaudei tika izveidota datorprogramma *Python* programmēšanas valodā, ar kuras palīdzību pirmskaitļa eksistence tika pārbaudīta pirmajos 3000 000 intervālos.

Veiktais pētījums parāda, ka hipotēzes, kas piedāvātas šajā darbā, ir unikāli pastiprinājumi citām jau eksistējošām hipotēzēm par pētījuma tēmu. Darba pielikumā atrodami datorprogrammu kodi, ar kuru palīdzību izvirzītās hipotēzes tiek pārbaudītas nosacītam naturālu skaitļu intervālam.

### Atslēgvārdi

Pirmskaitļi, pirmskaitļu sadalījuma funkcija, Ležandra hipotēze (3. Landau problēma), Debova hipotēze, Oppermana hipotēze.



## IEVADS

Pirmskaitļi jebkurā cilvēces vēstures posmā ir bijuši svarīgi. Tie ir plaši izmantojami datu šifrēšanā, kas 21. gadsimtā ir viena no aktuālākajām tēmām. Skaitliski lielāki pirmskaitļi garantē lielāku drošības pakāpi, tāpēc lielu pirmskaitļu meklēšana mūsdienās ir aktuāla problēma. Palielinoties cilvēcei pieejamo skaitļošanas sistēmu jaudai,

drošai šifrēšanai nepieciešamie pirmskaitļi kļūst arvien skaitliski lielāki, un laiks, kas nepieciešams datorprogrammai, lai veiktu visu iespējamo pirmskaitļu pilno pārļasi, kļūst arvien mazāks.

Lai paātrinātu pirmskaitļu meklēšanas procesu, tiek izmantots Bertrāna postulāts. Izmantojot to, intervāla, kurā meklējami pirmskaitļi, izmērs krietni samazinās. Taču Bertrāna postulāta izmantošana mūsdienās nav efektīva. Bertrāna postulāts garantē pirmskaitļa eksistenci pārāk lielā intervālā. Bertrāna postulātam ir vairāki pastiprinājumi, stiprākais no kuriem šobrīd ir Oppermana hipotēze. Šajā darbā tiek piedāvāti vairāki Bertrāna postulāta pastiprinājumi, kas uzdoti, izmantojot gan kombinācijas, gan arī rekurenti uzdotu virkni. Stiprākā no autora hipotēzēm pastiprina arī Oppermana hipotēzi, līdz ar to tā ir efektīvākā hipotēze skaitliski lielu pirmskaitļu meklēšanai.

## Mērķis

Izpētīt, kā naturālu skaitļu rindu var sadalīt pēc iespējas mazākos intervālos tā, lai katrā intervālā būtu garantēti atrodami viens vai vairāki pirmskaitļi.

## Uzdevumi

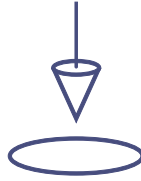
1. Izvirzīt hipotēzi par intervāliem, kuros garantēti atrodami viens vai vairāki pirmskaitļi.
2. Pastiprināt Ležandra hipotēzi.
3. Pastiprināt Oppermana hipotēzi.
4. Izveidot datorprogrammu hipotēzes pārbaudīšanai.
5. Katru hipotēzi pārbaudīt pirmajiem 3000 000 intervāliem.



---

## DARBA METODOLOĢIJA

Hipotēzes izstrādāšanā tika izmantotas šādas metodes: analīze; sintēze; analogija; salīdzinājums; indukcija; dedukcija; apkopojums; idealizācija; modelēšana. Darba izstrādāšanas procesā tika izvirzītas vairākas hipotēzes, taču visos mazos gadījumos izpildījās tikai dažas. Tam tikai rīkots papildu pārbaudījumu, kas samazina hipotēzes atspēkošanas varbūtību. Savukārt hipotēzes pārbaudei tika izmantotas datorprogrammas *Python* valodā, ar kuru katrā no hipotēzēm tika pārbaudītā pirmajiem 3000 000 intervāliem, garantējot, ka hipotēzes nav iespējams atspēkot, pārbaudot acīmredzamus intervālus.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Darbā piedāvātas hipotēzes pierada, ka, lai atrastu pēc iespējas mazāku intervālu, kurā garantēti atrodas noteiktais pirmskaitļu skaits, efektīvāk ir lietot kombinācijas formulas, nevis naturālu skaitļu kvadrātus (Ležandra hipotēze) un/vai divu pēc kārtas sekojošu skaitļu reizinājumu (Oppermana hipotēze) un jo lielāks ir meklējamo pirmskaitļu skaits, jo lielāku priekšrocību iegūst darbā piedāvāta hipotēze. Atkarībā no meklējamā pirmskaitļu daudzuma ir iespējams regulēt meklējamo pirmskaitļu skaitu un, attiecīgi, laiku nepieciešamo pirmskaitļu meklēšanai. Darbs parada arī to, ka intervālu, garantēti saturošu vienu vai vairākus pirmskaitļus, robežskaitļi var būt arī skaitļi, uzdoti ar rekurento virkni.

---

### Atsauces

1. Bertrand, J.: Mémoire sur le nombre de valeurs que peut prendre une fonction quand on y permute les lettres qu'elle renferme. In: Journal de l'École Royale Polytechnique. 30 (18), 1845, S. 123–140.
2. Ianakieva, I. hipotēze. [tiešsaiste] [skatīts 2022. gada 4. janvārī]. Pieejams: URL:[https://oeis.org/search?q=+1%2C+3%2C+6%2C+10%2C15%2C+21&sort=&language=&go=Se](https://oeis.org/search?q=) arch.
3. Legendre, A. M., Essai sur la théorie des nombres Paris, Duprat, (1798) [online] [accessed January 4, 2022]. Available at: URL: <https://archive.org/details/essaisurlathor00lege/page/224/mode/2up?view=theater>.
4. Oppermann Oversigt over det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandling og dets Medlemmers Arbejder. – 1882. – C. 169–179. URL:[online] [accessed January 4, 2022]. Available at: <https://books.google.lv/books?id=UQgXAAAA>.
5. TCHEBICHEF Mémoire sur les nombres premiers. Journal de mathématiques pures et appliquées 1re série, tome 17 (1852), p. 366–390 URL: [http://sites.mathdoc.fr/JMPA/PDF/JMPA\\_1852\\_1\\_17\\_A19\\_0.pdf](http://sites.mathdoc.fr/JMPA/PDF/JMPA_1852_1_17_A19_0.pdf).
6. The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences® (OEIS®) [online], [accessed January 11, 2022]. Available at: <https://oeis.org>.
7. Сушкевич А. К. Теория чисел: элементарный курс. – Харьков: изд-во ХГУ им. А. М. Горького, 1954. С.18. [online], [accessed January 11, 2022]. Available at: <https://edu-lib.com/matematika-2/dlya-studentov/sushkevich-a-k-teoriya-chisel-onlayn>.



## Summary

This work suggests hypotheses about number intervals containing at least one or more prime numbers. To check each hypothesis, a Python programming language-based code was created.

The research has shown that the conjectures suggested in this work are unique strengthening for already existing conjectures on the research topic. The Appendix contains the codes that are used to check the set conjectures in defined number range.

# Beatrise Silava



## JAUNU BETULĪNU C(3) POZĪCIJĀS SAISTĪTU TRIAZOLU KONJUGĀTU SINTĒZE

### Darba zinātniskie vadītāji

*Dr. chem.* Jevgeņija Lugiņina

*Bc. chem.* Edijs Jansons

*Mg. chem.* Laura Fjodorova

### Kopsavilkums

Mūsdienās arvien plašāku nozīmi ieņem dabasvielās bāzētu terapeitisko līdzekļu izstrāde un to lietojums dažādu slimību ārstēšanai. Betulīns ir pentaciklisks lupānu rindas triterpenoīds, kas atrodams dažādu augu sastāvā. Izteikti daudz betulīna ir bērza tāsī, ko izmanto kā galveno betulīna ieguves avotu. Viens no paņēmieniem, kā uzlabot betulīna bioloģiski aktīvās īpašības, ir to saistīt ar 1,2,3-triazola gredzenu. Triazola gredzens organismā imitē amīda saites, tajā pat laikā uzrādot augstāku noturību pret hidrolīzi. 1,4-Diaizvietots triazols ir izostērs *trans*-, savukārt 1,5-diaizvietots triazols ir izostērs *cis*-peptīda saitēm. Šī darba gaitā izvēlēts izveidot līdz šim maz pētītus C-C saistītus betulīna-(1,2,3-triazola) konjugātus, triazola fragmentu saistot pie betulīna C(3) pozīcijas. Triazola heterocikla konstruēšanai tika izmantotas vara (I) un rutēnija (II) katalizētas alkīna-azīda 1,3-dipolārās ciklopievienošanās reakcijās (CuAAC un RuAAC), veidojot attiecīgi 1,4- un 1,5-diaizvietotus 1,2,3-triazolus.

### Atslēgvārdi

Betulīns, dabasvielas, triterpenoīds, C-C saites, 1,2,3-triazoli.



## IEVADS

Dabīgas izcelsmes preparātu lietošana terapeitiskiem nolūkiem ir zināma kopš cilvēces pirmsākumiem, tomēr pastiprināta interese par dabā sastopamu bioloģiski aktīvo savienojumu sintētiskajiem un pussintētiskajiem analogiem radusies salīdzinoši nesen (*Gershenzon* un *Dudareva*, 2007), (*Afonso* u. c., 2018). Betulīns ir pentaciklisks lupānu rindas triterpenoīds, kas atrodams dažādu augu sastāvā. Izteikti daudz betulīna ir bērza tāsī, ko izmanto kā galveno betulīna ieguves avotu. Latvijā betulīna iegūšana ir salīdzinoši izdevīga, jo bērzi ir bieži sastopami un tiek izmantoti kokapstrādes nozarē. Betulīnam un tā analogiem piemīt plaša spektra terapeitiskas īpašības

dažādu vīrusu, audzēju un iekaisumu ārstēšanai.

Lai palielinātu savienojumu bioloģisko aktivitāti, mūsdienās arvien plašāk veido substrātu hibrīdus, apvienojot bioloģiski aktīvus fragmentus. Šī darba gaitā izvēlēts izveidot ar C-C saiti saistītus betulīna-(1,2,3-triazola) konjugātus, triazola fragmentu saistot pie betulīna C(3) pozīcijas. Diazvietota triazola fragmentiem ir īpaša nozīme ārstniecisko vielu izstrādē, tas ir noturīgs pret hidrolīzi un ir izostērs peptīda saitēm. 1,4-Triazols ir izostērs trans-, savukārt 1,5- triazols ir izostērs cis-peptīda saitēm.

Triazola heterocikla konstruēšanai ir iespējams izmantot vara (I) un rutēnija (II) katalizētas alkīna-azīda 1,3-dipolārās ciklopievienošanās reakcijās (CuAAC un RuAAC), veidojot attiecīgi 1,4- un 1,5-diaizvietotus triazolus.

Līdz šim salīdzinoši maz ir zināmi ar C-C saiti saistīti betulīna-triazola konjugāti, kas to padara par perspektīvu tēmu jaunu betulīnā bāzētu bioloģiski aktīvu savienojumu iegūšanas.

## Mērķis

Iegūt jaunus betulīnu C(3) pozīcijās saistītus 1,4- un 1,5-diaizvietotus triazola konjugātus.

## Uzdevumi

1. Izveidot literatūras apskatu par triterpēnu triazolu iegūšanu un to bioloģisko aktivitāti.
2. Iegūt ar C-C saiti saistītus betulīna-(1,2,3-triazola) konjugātus.
3. Izpētīt 1,4 un 1,5-diaizvietotu triazolu iegūšanas reakcijas apstākļus un to atšķirības.



## DARBA METODOLOĢIJA

### Vispārīgā procedūra I 1,4-triazola iegūšanai, izmantojot vara (I) katalizētu 1,3-dipolāro ciklopievienošanās reakciju

Spiedmēģenē iesver alkīnu 15 (1 ekv.) un azīdu (3 ekv.), šķīdina THF (4 mL), pievieno CuI (0,5 ekv.), DIPEA (3,5 ekv.). Spiedmēģeni noslēdz un atstāj maisīties 70 °C, līdz sasniegta pilnīga izejvielas konversija (PSH kontrole, 3 d). Reakcijas maisījumu šķīdina DCM (20–60 mL) vai EtOAc (40–50 mL), mazgā secīgi ar pies. NaSH (5–10 mL), H<sub>2</sub>O (5–10 mL). Ūdens slāņus apvieno un ekstrahē ar DCM (2 × 5 mL) vai EtOAc (2 × 5 mL). Organiskos slāņus apvieno un mazgā ar pies. NaCl ūdens šķīdumu (5–10 mL), žāvē virs bezūdeņ. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> filtrē. Iegūto produktu attīra ar šķīduma hromatogrāfiju uz silikagela (eluentis MeOH/DCM vai EtOAc/Hex; gradients atkarīgs no produkta Rf).

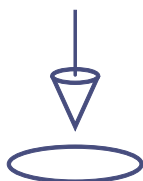
### Vispārīgā procedūra II 1,5-triazola iegūšanai, izmantojot rutēnija (II) katalizētu 1,3-dipolāro ciklopievienošanās reakciju

Izkarsētā spiedmēģenē iesver alkīnu 17 (1 ekv.), azīdu a vai b (3 ekv.) šķīdina abs. Tol (2 mL) un degazē ar argonu. Šķīdumam ātri pievieno [RuCp\*COD]Cl (0,1 ekv.) un

atstāj maisīties 110 °C trīs dienas. Iegūto produktu attīra ar šķīdumu hromatogrāfiju uz silikagela (EtOAc/Hex; gradients atkarīgs no produkta Rf).

### Vispārīgā procedūra II 1,5-triazola iegūšanai, izmantojot rutēnija (II) katalizētu 1,3-dipolāro ciklopievienošanas reakciju

Izkarsētā spiedmēģenē iesver alkīnu **17** (1 ekviv.), azīdu a vai b (3 ekviv.) šķīdina abs. Tol (2 mL) un degazē ar argonu. Šķīdumam ātri pievieno [RuCp\*COD]Cl (0,1 ekviv.) un atstāj maisīties 110 °C trīs dienas. Iegūto produktu attīra ar šķīdumu hromatogrāfiju uz silikagela (EtOAc/Hex; gradients atkarīgs no produkta Rf).

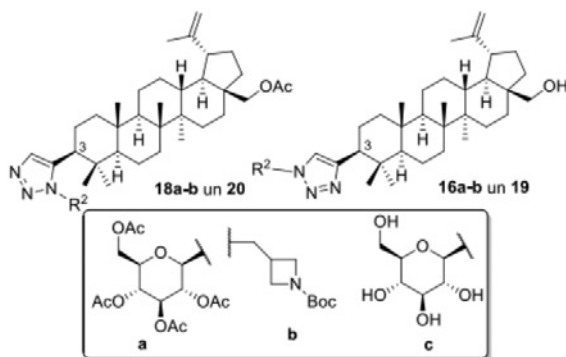


## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Vara (I) katalizēta alkīna-azīda ciklopievienošanas (CuAAC) reakcija, alkīnam **15** reaģējot ar azīdiem **a** un **b**, noris ar vidējiem līdz augstiem iznākumiem, reģioselektīvi veidojot 1,4-diaizvietotus triazola konjugātus **16a** un **16b**.

Rutēnija (II) katalizēta alkīna-azīda ciklopievienošanas (RuAAC) reakcijā, alkīnam **17** reaģējot ar azīdu **a**, noris ar vidēju iznākumu, reģioselektīvi veidojot 1,5-diaizvietotu triazola konjugātu **18a**.

RuAAC reakcijā, alkīnam **17** reaģējot ar azīdu **b**, netiek sasniegta pilnīga izejvielas konversija. Pēc trīs dienām reakcijas rezultātā selektīvi veidojas 1,5-diaizvietots betulīna triazola konjugāts **18b** ar 46 % iznākumu. Pagarinot reakcijas laiku līdz sešām dienām, arī netika sasniegta pilnīga izejvielas konversija un tika novērota 2 reģioizomēru, 1,4 un 1,5-diaizvietotu triazolu, veidošanās ar kopējo iznākumu 70 % (64 : 36 attiecībā). Ar labiem iznākumiem tika deaizsargāti savienojumi **16a** un **18a**, izmantojot katalītisku NaOMe daudzumu MeOH šķīdumā, veicot reakcijas istabas temperatūrā.



1. attēls. Iegūtie betulīna konjugāti.

---

## Atsauces

1. Boz, E., Tüzün, N. Ş. (2019). Reaction mechanism of ruthenium-catalyzed azide-alkyne cycloaddition reaction: A DFT study. *J. Organomet. Chem.* 724, 167–176 (2013).
2. Chouaib, K. et al. Regiospecific synthesis by copper- and ruthenium-catalyzed azide-alkyne 1,3-dipolar cycloaddition, anticancer and anti-inflammatory activities of oleanolic acid triazole derivatives. *Arab. J. Chem.* 12, 3732–3742.
3. Gershenzon, J., Dudareva, N. (2007). The function of terpene natural products in the natural world. *Nat. Chem. Biol.* 3, 408–414.
4. Afonso, A. F., Pereira, O. R., Válega, M., Silva, A. M. S. & Cardoso, S. M. Metabolites and biological activities of thymus *zygis*, thymus *pulegioides*, and thymus *fragrantissimus* grown under organic cultivation. *Molecules* 23, (2018).
5. Huisgen, R., Szeimies, G., Möbius, L. (1967). 1,3-Dipolare Cycloadditionen, XXXII. Kinetik der Additionen organischer Azide an CC-Mehrfachbindungen. *Chem. Ber.* 100, 2494–2507.
6. Johansson, J. R., Beke-Somfai, T., Said Stålsmeden, A., Kann, N. (2016). Ruthenium-Catalyzed Azide Alkyne Cycloaddition Reaction: Scope, Mechanism, and Applications. *Chem. Rev.* 116, 14726–14768.
7. Tornøe, C. W., Christensen, C., Meldal, M. (2002). Peptidotriazoles on solid phase: [1,2,3]-Triazoles by regioselective copper(I)-catalyzed 1,3-dipolar cycloadditions of terminal alkynes to azides. *J. Org. Chem.* 67, 3057–3064.
8. Rostovtsev, V. V., Green, L. G., Fokin, V. V. & Sharpless, K. B. (2002). A stepwise Huisgen cycloaddition process: Copper(I)-catalyzed regioselective 'ligation' of azides and terminal alkynes. *Angew. Chemie – Int. Ed.* 41, 2596–2599.
9. Neumann, S., Biewend, M., Rana, S., Binder, W. H. (2020). The CuAAC: Principles, Homogeneous and Heterogeneous Catalysts, and Novel Developments and Applications. *Macromol. Rapid Commun.* 41.
10. Majeed, R. et al. (2013). Synthesis of 3-O-propargylated betulinic acid and its 1,2,3-triazoles as potential apoptotic agents. *Eur. J. Med. Chem.* 63, 782–792.
11. Oakdale, J. S., Fokin, V. V., Umezaki, S., Fukuyama, T. (2013). Preparation of 1,5-Disubstituted 1,2,3-Triazoles via Ruthenium-catalyzed Azide Alkyne Cycloaddition. *Org. Synth. an Annu. Publ. Satisf. methods Prep. Org. Chem.* 90, 96–104.
12. Zhang, L. et al. (2005). Ruthenium-catalyzed cycloaddition of alkynes and organic azides. *J. Am. Chem. Soc.* 127, 15998–15999.

## Summary

Nowadays medicinal chemistry is focusing on novel drug synthesis based on naturally occurring biologically active compounds. Betulin is a pentacyclic lupane type triterpenoid found in various plants. A significant amount of betulin is

found in birch bark, which is used as the main source for betulin production. Proficient way to increase betulin bioactive properties is to combine it with 1,2,3-triazole ring. In biological systems triazole mimics peptide bonds, while at the

same time being more resistant to hydrolysis. 1,4-Disubstituted triazoles are isosteres for trans-, while 1,5- disubstituted triazoles are isosteres to cis-peptide bonds. In this work, it was chosen to synthesise C-C-linked betulin-(1,2,3-triazole) conjugates, which are less known comparing to other betulin-triazole conjugates. Copper (I) and ruthenium (II) catalyzed 1,3-dipolar cycloaddition reactions (CuAAC and RuAAC)

were used to construct 1,4- and 1,5-disubstituted 1,2,3-triazole heterocycles, respectively.

The research has been carried out at the Institute of Technology of Organic Chemistry, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Riga Technical University, from September 2021 until December 2021. The scientific research has been written in Latvian and consists of 16 pages, 11 pictures, 3 tables and 1 appendix.



# Raivis Dāvis Steberis

## AR POLIMĒRU SAISTĪTU SO<sub>2</sub> SUROGĀTU IZSTRĀDE

### Darba zinātniskā vadītāja

*Ph. D.* Krista Gulbe

*Mg. sc. ing.* Jolanta Rimša

## Kopsavilkums

Organiskajā sintēzē sulfonilsavienojumu iegūšanai kā sulfonilgrupas avoti tiek plaši izmantoti dažādi SO<sub>2</sub> surogāti, kas atšķirībā no gāzveida SO<sub>2</sub> ir cieti un viegli dozējami reaģenti. Zinātniskās pētniecības darba mērķis bija izstrādāt metodes slāpekļa heterociklu saturošu ar polimēru saistītu SO<sub>2</sub> surogātu iegūšanai un analīzei. Šāda tipa SO<sub>2</sub> nesēji pēc reakcijas un SO<sub>2</sub> atbrīvošanas būtu viegli atgūstami un atkārtoti piesātināmi ar SO<sub>2</sub>.

Zinātniskās pētniecības darba literatūras apskatā sniegts neliels ieskats par līdz šim zināmajiem SO<sub>2</sub> surogātiem un to izmantošanas iespējām, kā arī sīkāk apskatītas titrēšanas metodes, kas izmantotas darba eksperimentālajā daļā, t. i., skābju-bāzu un jodometriskā titrēšana.

Darba eksperimentālajā daļā, balstoties literatūrā zināmajās sintētiskajās metodēs, veikta divu jaunu ar polimēru saistītu SO<sub>2</sub> nesēju sintēze, t. i., ar polimēru saistīts 1,4-diazabiciklo [2.2.2] oktāns (PS-DABCO) un ar polimēru saistīts 4-dimetilaminopiridīns (PS-DMAP). Pēc iegūto polimēru apstrādes ar SO<sub>2</sub> tika izdalīti mērķa polimēru un SO<sub>2</sub> kompleksi (PS-DMAP • nSO<sub>2</sub> un PS-DABCO • nSO<sub>2</sub>). Izmantojot dažādas titrēšanas metodes, tika noskaidrots Luisa bāzisko slāpekļu daudzums polimēra nesējā, kā arī SO<sub>2</sub> saturs mērķa kompleksos.

## Atslēgvārdi

SO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> surogāti, DABCO, DMAP, titrēšana.



## IEVADS

Mūsdienās arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta ilgtspējīgām ķīmiskajām pārvērtībām un procesiem, kam ir minimāla ietekme uz vidi, augsta atomefektivitāte un zemas izmaksas.<sup>1</sup>

Sēra dioksīdam kā lētai un viegli pieejamai lielrūpniecības izejvielai ir liels potenciāls

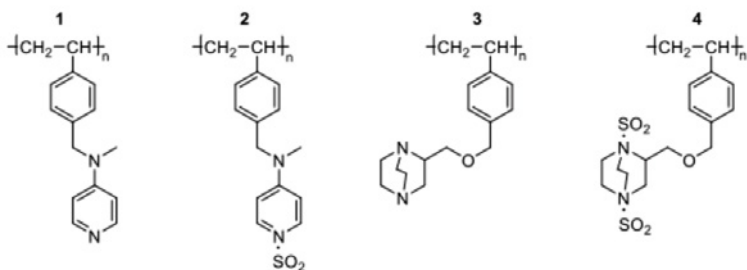
ilgtspējīgu organiskās sintēzes metožu izstrādē. Salīdzinot ar citam gāzēm,  $\text{SO}_2$  ir relatīvi augsta viršanas temperatūra ( $-10\text{ }^\circ\text{C}$ ), tāpēc to ir viegli un ērti sašķidrināt.<sup>2</sup> Šķidr  $\text{SO}_2$  ir polārs šķīdinātājs ar izteiktām Luisa skābes īpašībām. To var izmantot kā alternatīvu klasiskajiem organiskajiem šķīdinātājiem, lai realizētu tādas ķīmiskās pārvērtības, kas notiek Luisa skābes klātienē un/vai ar karbēnija jona kā starpstāvokļa veidošanos.<sup>3</sup> Vēl nozīmīgāks ir  $\text{SO}_2$  kā reaģenta lietojums organiskajā sintēzē.<sup>4</sup> Pēdējās desmitgadēs strauji attīstījušās atomefektīvas daudzkomponentu sintēzes metodes sulfonilsavienojumu iegūšanai no sēru nesaturošām izejvielām un  $\text{SO}_2$  kā sulfonilgrupas avota. Lai realizētu pārejas metālu katalizētas sulfonilēšanas reakcijas ar  $\text{SO}_2$  iespiešanu, izmanto dažādus  $\text{SO}_2$  surogātus, kas ir viegli dozējami, reakcijas vidē nodrošinot vajadzīgo  $\text{SO}_2$  daudzumu.<sup>5</sup> Populārākie  $\text{SO}_2$  surogāti, kas reakcijas vidē spēj atbrīvot  $\text{SO}_2$  molekulas, ir metālu metabisulfīti ( $\text{M}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ,  $\text{M} = \text{K}, \text{Na}$ ) un DABSO.  $\text{M}_2\text{S}_2\text{O}_5$  atbrīvo  $\text{SO}_2$  molekulas, sadaloties reakcijas vidē, savukārt DABSO ir stabils lādiņu pārneses komplekss starp diamīnu DABCO un  $\text{SO}_2$  molekulām (1 : 2). Lai gan plaši lietojamie līdz šim izstrādātie  $\text{SO}_2$  surogāti nav atomefektīvi, jo tos nav iespējams reģenerēt ( $\text{M}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) vai to atguve ir ekonomiski neizdevīga (DABSO). Literatūrā atrodama virkne piemēru, kuros katalizators/reaģents tiek piesaistīts polimēram.<sup>6</sup> Šādus ar polimēru saistītus katalizatorus/reaģentus ir viegli atgūt no reakcijas maisījuma un lietot atkārtoti, padarot procesu atomefektīvāku. Līdzīgi varētu darboties ar polimēru saistīti slāpekļa heterocikla saturoši  $\text{SO}_2$  nesēji, kas pēc reakcijas būtu reģenerējami un pēc piesātināšanas ar  $\text{SO}_2$  atkārtoti izmantojami.

## Mērķis

Izstrādāt metodes ar polimēru saistītu slāpekli saturošu  $\text{SO}_2$  surogātu iegūšanai un to struktūras kvantitatīvai analīzei.

## Uzdevumi

1. Iegūt ar polimēru saistītus  $\text{SO}_2$  nesējus – ar polimēru saistītu DMAP (**1**) un ar polimēru saistītu DABCO (**3**).
2. Noteikt slāpekli saturoša heterocikla (atbilstoši DMAP vai DABCO) saturu iegūtajos polimēros **1** un **3**.
3. Iegūt slāpekļa heterociklu saturošo polimēru un  $\text{SO}_2$  kompleksus – ar polimēru saistītu DMAP un  $\text{SO}_2$  kompleksu (**2**) un ar polimēru saistītu DABCO un  $\text{SO}_2$  kompleksu (**4**).
4. Noteikt  $\text{SO}_2$  saturu iegūtajos polimēra un  $\text{SO}_2$  kompleksos **2** un **4**.







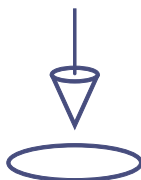
---

## DARBA METODOLOĢIJA

Darbā izvēlētie slāpekļa heterocikli DMAP un DABCO ir vājas organiskas bāzes. Visbiežāk, lai noteiktu vāju bāzu koncentrāciju, tiek lietota skābju-bāzu titrēšana, kur vāja bāze tiek titrēta ar stipru skābi. Pētāmajam šķīdumam pievienojot pH indikatoru (piemēram, fenolftaleīnu), titrēšanas beigu punktā var novērot straujas krāsas izmaiņas. Šāda pieeja tika izmantota, lai noteiktu DABCO saturu polimērā. Precīzākiem mērījumiem var izmantot potenciometrisku titrēšanu, kurā par ekvivalences punktu liecina straujas potenciāla izmaiņas šķīdumā titrēšanas gaitā. DMAP saturs mērķa polimērā tika noteikts, izmantojot automātisku potenciometriskās titrēšanas iekārtu.

Pētījuma gaitā  $\text{SO}_2$  saturs noteikšanai tika izmantota jodometriskā titrēšana. Tā ir viena no populārākajām titrēšanas metodēm, lai noteiktu  $\text{SO}_2$  vai sulfītu koncentrāciju pētāmajos paraugos. Šai titrēšanas metodei ir divi varianti: analizējamo šķīdumu titrē ar zināmas koncentrācijas  $\text{I}_2$  standartšķīdumu;  $\text{I}_2$  pārākumu attitrē ar zināmas koncentrācijas  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  standartšķīdumu. Abos gadījumos kā indikatoru izmanto cieti, kas ar jodu veido violetas krāsas kompleksu.

Iegūto savienojumu kvalitātes noteikšanai tiem tika kodolu magnētiskā rezonanse (KMR). KMR spektri ( $^1\text{H}$ -KMR un  $^{13}\text{C}$ -KMR) tika reģistrēti ar iekārtu *Bruker Avance 500*.  $^1\text{H}$ -KMR spektri tika uzņemti pie 500 MHz, kalibrējot pret nedeiterētā šķīdinātāja signālu,  $^{13}\text{C}$ -KMR spektri uzņemti pie 126 MHz, kalibrējot pret šķīdinātāja  $^{13}\text{C}$  signālu.

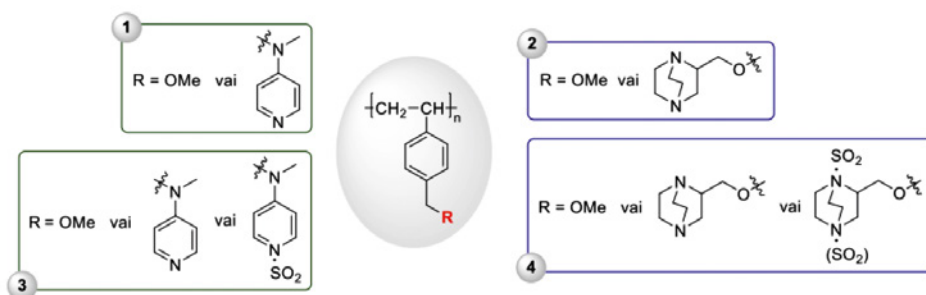


---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

1. Mērķa  $\text{SO}_2$  surogātus PS-DMAP $\times$ n $\text{SO}_2$  (**2**) un PS-DABCO $\times$ n $\text{SO}_2$  (**4**), kuru pamatā ir ar polimēru saistīts slāpekļa heterociklu saturošs  $\text{SO}_2$  nesējs, var iegūt no komerciāli pieejamām izejvielām, lietojot literatūrā zināmas sintētiskās procedūras.
2. Slāpekļa heterocikla saturu iegūtajā PS-DMAP (**1**) iespējams noteikt, izmantojot potenciometrisku titrēšanu, un tas ir robežās no 3,3 mmol/g līdz 4,2 mmol/g polimēra.
3. Slāpekļa heterocikla saturu iegūtajā PS-DABCO (**3**) iespējams noteikt, izmantojot skābju-bāzu titrēšanu, un tas ir 2,4 mmol/g polimēra.

- SO<sub>2</sub> saturu iegūtajos polimēra un SO<sub>2</sub> kompleksos PS-DMAP×nSO<sub>2</sub> (**2**) un PS-DABCO×nSO<sub>2</sub> (**4**) iespējams noteikt, izmantojot jodometrisko titrēšanu, un tas ir attiecīgi 3,4 mmol/g un 1,3 mmol/g polimēra.
- Ņemot vērā Luisa bāzisko slāpekļu saturu polimēra nesējos PS-DMAP (**1**) un PS-DABCO (**3**), to spēja saistīt SO<sub>2</sub> ir attiecīgi 81 % un 27 % no teorētiski iespējamā SO<sub>2</sub> daudzuma.
- Darba sākumā izvirzītā hipotēze ir apstiprinājusies daļēji, jo SO<sub>2</sub> tika piesaistīts izstrādātajiem polimēru nesējiem **1** un **3**, bet tā saturs mērķa kompleksos **2** un **4** nav ekvivalents Luisa bāzisko slāpekļu daudzumam polimēra nesējā.



## Atsauces

- Analytical Methods (Sulfur Dioxide) [online] [accessed 10 January 2022]. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp116-c6.pdf>.
- Burow, D. F. Liquid Sulfur Dioxide. In *The Chemistry of Nonaqueous Solvents: Inert, Aprotic, and Acidic Solvent*; Lagowski, J. J., Ed.; Academic Press, 1970; pp. 137-185.
- Cloy, J. M., Smith, K. A. Greenhouse Gas Sources and Sinks. In *Encyclopedia of the Anthropocene*; Dellasala, D. A., Goldstein, M. I., Eds.; Elsevier Inc., 2018; Vol. 2, pp. 391-400. doi: 10.1016/B978-0-12-809665-9.09961-4.
- Comstock, L. R., Rajski, S. R. Expedient Synthesis of Aziridine-Based Cofactor Mimics. *Tetrahedron* 2002, 58, 6019. doi: 10.1016/S0040-4020(02)00590-2.
- Emmett, E. J., Willis, M. C. The Development and Application of Sulfur Dioxide Surrogates in Synthetic Organic Chemistry. *Asian J. Org. Chem.* 2015, 4, 602. doi: 10.1002/ajoc.201500103.
- Experiment 17: Potentiometric Titration. [online] [accessed 10 January 2022]. Available at: <https://www.bc.edu/content/dam/bc1/schools/mcas/Chemistry/pdf/undergrad/lab-courses/gen/spring/pHtitration.pdf>.
- Free and Total Sulfur Dioxide (SO<sub>2</sub>) in wine (Ripper method) by automatic titration. [https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/LPD/Application-Notes/Free%20and%20total%20Sulfur%20dioxide%20SO<sub>2</sub>%20in%20wine%20by%20automatic%20titration.pdf](https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/LPD/Application-Notes/Free%20and%20total%20Sulfur%20dioxide%20SO2%20in%20wine%20by%20automatic%20titration.pdf).

8. Gulbe K, Turks, M. Synthesis of Sulfones via Ru(II)-Catalyzed Sulfonation of Boronic Acids. *J. Org. Chem.* 2020, 85, 5660. doi: 10.1021/acs.joc.9b03403.
9. Ye, S., Qiu, G., Wu, J. Inorganic Sulfitess as the Sulfur Dioxide Surrogates in Sulfonylation Reactions. *Chem. Commun.* 2019, 55, 1013. doi: 10.1039/c8cc09250h.
10. Jansons, E. Analītiskās ķīmijas teorētiskie pamati; LU Akadēmiskais apgāds, 2006.
11. Jiang, L., Guo, F., Wang, Y., Jiang, J., Duan, Y., Hou, Z. Selective N-Monomethylation of Anilines with Methanol Catalyzed by Commercial Pd/C as an Efficient and Reusable Catalyst. *Asian J. Org. Chem.* 2019, 8, 2046. doi: 10.1002/ajoc.201900509.
12. Kanamueller, J. M. Sulfur Dioxide Adducts of Some Disubstituted Hydrazines. *J. Inorg. Nucl. Chem.* 1971, 33, 4051. doi: 10.1016/0022-1902(71)80503-1.
13. Li, H., Yang, M., Zhang, X., Yan, L., Li, J., Qi, Y. Mesoporous Silica-Supported Copper Catalysts for Homocoupling Reaction of Terminal Alkynes at Room-Temperature. *New J. Chem.* 2013, 37, 1343. doi: 10.1039/c3nj41006d.
14. Martial, L., Bischoff, L. Stoichiometric Release of SO<sub>2</sub> from Adducts: Application to the Direct Synthesis of Protected Dienes. *Synlett* 2015, 26, 1225. doi: 10.1055/s-0034-1380508.
15. Menger, F. M., McCann, D. J. A Polymer-Bound 4-Aminopyridine: Synthesis and Reactivity. *J. Org. Chem.* 1985, 50, 3928. doi: 10.1021/jo00220a052.
16. Murray, R. W., Reilley, C. N. Potentiometric Titrations. *Anal. Chem.* 1964, 36, 370-380. doi: 10.1021/ac60211a032.
17. Nguyen, B., Emmett, E. J., Willis, M. C. J. *Am. Chem. Soc.* 2010, 132, 16372. doi: 10.1021/ja1081124.
18. Petracca, R., Bowen, K. A., McSweeney, L., O'Flaherty, S., Genna, V., Twamley, B., Devocelle, M., Scanlan, E. M. Chemoselective Synthesis of N-Terminal Cysteinyl Thioesters via  $\beta,\gamma$ -C,S Thiol-Michael Addition. *Org. Lett.* 2019, 21, 3281. doi: 10.1021/acs.orglett.9b01013.
19. Price, S. C., Ren, X., Jackson, A. C., Ye, Y., Elabd, Y. A., Beyer, F. L. Bicontinuous Alkaline Fuel Cell Membranes from Strongly Self-Segregating Block Copolymers. *Macromolecules* 2013, 46, 7332. doi: 10.1021/ma400995n.
20. Sherrington, D. C. Polymer-Supported Reagents, Catalysts, and Sorbents: Evolution and Exploitation – A Personalized View. *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.* 2001, 39, 2364. doi: 10.1002/pola.1213.
21. Stace, S. J., Moad, G., Fellows, C. M., Keddie, D. J. The Effect of Z-Group Modification on the RAFT Polymerization of N-Vinylpyrrolidone Controlled by "Switchable" 18 N-Pyridyl-Functional Dithiocarbamates. *Polym. Chem.* 2015, 6, 7119. doi: 10.1039/c5py01021g.
22. Suta, K., Turks, M. In(III) and Hf(IV) Triflate-Catalyzed Hydration and Catalyst-Free Hydrohalogenation of Aryl Acetylenes in Liquid Sulfur Dioxide. *ACS Omega* 2018, 3, 18065. doi: 10.1021/acsomega.8b01630.
23. Woolven, H., González-Rodríguez, C., Marco, I., Thompson, A. L., Willis, M. C. DABCO-Bis(Sulfur Dioxide), DABSO, as a Convenient Source of Sulfur Dioxide for Organic Synthesis: Utility in Sulfonamide and Sulfamide Preparation. *Org. Lett.* 2011, 13, 4876. doi: 10.1021/ol201957n.

24. Zheng, D., An, Y., Li, Z., Wu, J. Metal-Free Aminosulfonylation of Aryldiazonium Tetrafluoroborates with DABCO $\times$ (SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> and Hydrazines. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2014, 53, 2451. doi: 10.1002/anie.201309851.
25. Zheng, D., Wu, J. Sulfur Dioxide Insertion Reactions for Organic Synthesis; Springer Nature, 2017. doi: 10.1007/978-981-10-4202-7.

## Summary

Various SO<sub>2</sub> surrogates are widely used in organic synthesis as sources of the sulfonyl group to obtain sulfonyl compounds. Unlike gaseous SO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> surrogates are solid and easy to dose. The aim of the research was to develop methods for the synthesis and analysis of polymer-supported SO<sub>2</sub> surrogates containing nitrogen heterocycles. This type of SO<sub>2</sub> carriers would be easy to recover and re-saturate with SO<sub>2</sub> after the reaction.

The literature review provides a brief overview of SO<sub>2</sub> surrogates and their applications, as well as a more detailed description of the titration methods used in the experimental part of the

work, i.e., acid-base and iodometric titrations.

Based on known synthetic methods, two novel polymer-supported SO<sub>2</sub> carriers, i.e., polymer-supported 1,4-diazabicyclo[2.2.2]octane (PS-DABCO) and polymer-supported 4-dimethylaminopyridine (PS-DMAP) were synthesized. After treatment with SO<sub>2</sub>, both complexes of target polymers and SO<sub>2</sub> were isolated (PS-DMAP  $\times$  nSO<sub>2</sub> and PS-DABCO  $\times$  nSO<sub>2</sub>). The amount of Lewis basic nitrogen in the polymeric carrier and the SO<sub>2</sub> content in the target complexes were determined by employing various titration methods.



# Adrians Slics

## FAZILOĢIKAS LIETOJUMS ROBOTU VADĪBĀ

### Darba zinātniskie vadītāji

*Dr. sc. ing.* Agris Ņikitenko,

*Mg. sc. comp.* Andrejs Liepiņš

## Kopsavilkums

Faziloģikas lietojams mūsdienās ir sastopams dažāda veidu komerciālās tehnoloģijās. To lieto sadzīves elektroniskās iekārtās procesu kontrolēšanai, piemēram, veļasmašīnās, no signāliem izsecinot nākamās darbības veikšanai vai izmaiņai.

Taču robotikā to īpaši nelieto citu piemērotāku kontroles metožu dēļ, robotikā populārs ir proporcionāli-integrālo-diferenciālo (PID) kontrolieru lietojums. Šajā darbā tiek apskatīts faziloģikas lietojums divu riteņu diferenciālās piedziņas modelim, izveidojot faziloģikas PID kontrolieri.

Modelim tiek lietots kontrolieris, kur ir noteikts uzdevums ar diferenciālās piedziņas kinemātiku pārvietoties pa trajektoriju. Šajā darbā, mainot kontroliera iestatījumus, tiek pētīta precizitāte.

Rezultātā tika iegūts modeļa kontrolieris, kas veica precīzu pārvietošanu pa noteiktām trajektorijām, kas ļāva par secināt praktisku faziloģikas lietojumu robotu kinemātikā.

## Atslēgvārdi

PID, proporcionāli-integrālais-diferenciālais kontrolieris, nestrikta kontrole, faziloģika.



## IEVADS

Faziloģika ir loģikas veids, kur kāda apgalvojuma atbilstību nenosaka kā "paties" un "nepaties", bet kā piederības pakāpi kā no "necik paties" un "nedaudz paties" līdz "pilnībā paties" [1].

Šim veidam arvien vairāk tiek izpētīti lietojumi, kā mūsdienās to kontroli var sastapt dažāda veida elektronikā un sadzīves tehnikā, kur faziloģika tiek lietota sarežģītu, nelineāru modeļu izveidē. Tā darbība bieži vien tiek veikta ar fazifikācijas, lēmuma pieņemšanas loģikas un defazifikācijas daļām vadībā [2]. Atšķirībā no

proporcionāli-integrāli-diferenciāliem (PID) kontrolieriem, kur lieto matemātiskus modeļus, to regulēšana var nebūt tik intuitīva, jo īpaši vairāku dimensiju uzdevumiem, piemēram, kur jāregulē kāda modeļa darbības ātruma un pagrieziena leņķis vienlaikus.

Vadībā faziloģiku var lietot un definēt dažādi. Tā ir atkarīga no uzdevuma, ko kontrolierim programmatūrā ir nepieciešams pildīt, tāpēc, lai noteiktu tās precizitātei, tika izvirzīts mērķis faziloģikas kontroliera izveidei, kas ietver iepriekš minētās bieži sastopamās daļas, kur tiek pētīts lietojums robota modeļa vadībai. To var izmantot, lai veiktu visas nepieciešamās izmaiņas kontrolē vai kādu noteiktu aspektu no tā. Šajā darbā tiks pievērsta uzmanība pilnai kontrolei, tāpēc, lai pētītu faziloģikas lietojumu robotu vadībā, tika izveidots veida izmantotās loģikas kontrolieris, kurā tiek noteikta iegūtā precizitāte jeb kļūdas no patiesās vērtības, kā arī precizitāti starp diviem laika posmiem precizitātes izmaiņas novērtēšanai.

## Mērķis

Izveidot veidu, kā robota kinemātiskā kustībā var lietot faziloģiku tās kontrolei.

## Uzdevumi

1. Tiek noteikta faziloģikas kontroliera uzbūve un nepieciešamā darbības secība modeļa lietojumam.
2. Tiek izveidots divu riteņu diferenciālais robota modelis un vadībā lietotais faziloģikas kontrolieris programmatūrā.
3. Tiek izveidots testēšanai pārvietojuma uzdevums modeļa plaknē izveidotajam modelim.
4. Tiek testēta izveidotā sistēma un no rezultātiem tiek izteikti iespējamiem uzlabojumi precizitātes uzlabošanai.
5. Tiek optimizēts modeļa kontrolieris.



---

## DARBA METODOLOĢIJA

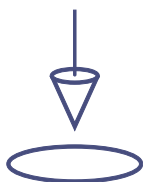
Modeļa un kontroliera implementācijā tika izmantots *Python* 3.9 ar pievienotām bibliotēkām *numpy* [3] un *Simpful* 2.5 versiju [4] aprēķinu modelēšanai un veikšanai. Divu riteņu modeļa pārvietojuma un vietas noteikšana ir veikta, izmantojot diferenciālās piedziņas kinemātiku.

Sākotnēji tika izveidots fazikontrolieris, kura zināšanu bāze ir bāzēta uz izvadi no kļūdas ievades. Balstoties uz šo parametru, tika noteikta viena kreisā un viena labā riteņa nākamais ātrums. Ievades elementi ir izvērtēti ar *Negative*, *Zero* un *Positive* lielumiem fazifikācijā. Pēc lēmuma pieņemšanas loģikas tie seko noteikumu tabulai, mainot ātrumu no *Low*, *Average*, un *High*, attiecīgi noteiktajai kļūdai ritenim, mēģinot veidot mazāku novirzi no paredzētās trajektorijas.

Trajektorija un modelis tika definēts pārvietojumam pa plakni. Posmi robota pārvietojumam tika ģenerēti ar izveidotām funkcijām, kas attēloja  $y = x$  līkni taisnam

posmam,  $y = 5e \frac{(x-5)^2}{8}$  un  $y = \sin(x)$  nelineārai kustībai.

Pēc šīs sistēmas izveides pārvietojumā tika konstatētas ievērojamas atšķirības pret ceļu, pēc kā sistēma tika papildināta precizitātes uzlabošanai. Pie esošās kļūdas ievades ir ieviests kļūdas izmaiņas mainīgais līdzīgi kā PD kontrolieriem. Tādējādi tika paplašināta zināšanu bāze riteņa ātruma noteikšanai, izmantojot šos ievades mainīgos, kā arī palielinot lingvistisko mainīgo veidu un skaitu, ieviešot *Negative* un *Positive* vietā apzīmētāju *big* un *small* absolūtās vērtības lieluma precīzākai pielīdzināšanai. Tika mainīts arī atjaunošanas laiks no 100 ms uz 10 ms jaunāku ātrumu ieviešanai.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Sākotnēji definētajā fazilōģikas PID kontrolierī tika veiktas izmaiņas, paplašinot fazilōģikas zināšanu bāzi un lēmumu pieņemšanas loģiku, kas radīja novērojamas izmaiņas trajektorijā. Uzdevuma trajektorijā radītās kļūdas lielums kopumā ir mazinājies, un veiktais ceļš salīdzinājumā ar nemainīto kontrolieri kļūva precīzāks un tuvāks definētajai modeļa pārvietošanas trajektorijai.

Pirmreizējā modeļa veiktās izmaiņas ir saistītas ar trim raksturojošiem elementiem, kas ir lingvistiskie mainīgie *Negative*, *Zero* un *Positive*. Tie pēc ienākošiem signāliem tika izvērtēti fazifikācijas procesā, salīdzinot lineārās īpašības ik pēc 0,1 s.

Pēc metodiskiem uzlabojumiem fazilōģikas kontrolierī, palielinot zināšanu bāzi un mainot lēmuma pieņemšanas loģiku, kā arī mazinot atjaunošanas laika intervālu, palielinājās precizitāte. Izveidotais modelis pārvietojās pa iepriekš definētām iecerētā pārvietoējuma līknēm ar ievērojami palielinātu precizitāti, salīdzinot ar sākotnējo.

Tika izveidots fazilōģikas lietojums diferenciālā divu riteņu modelī, ar kura fazilōģikas kontrolieri var veikt precīzu pārvietoējumu un ātrumu izmaiņu plāknē, izmantojot ievadē noteiktās kļūdas un aprēķinātās kļūdas izmaiņas.

---

## Atsauces

1. Fazilōģika – Latvijas Nacionālais terminolōģijas portāls [tiešsaiste] [skatīts 2022. gada 20. janvārī]. Pieejams: <https://termini.gov.lv/kolekcijas/32/skirklis/194604>.
2. Jantzen, J., Verbruggen, H., Ostergaard J.J. (1999). *Practical Applications of Fuzzy Technologies the Handbooks*.
3. NumPy documentation – NumPy v1.22 Manual [online], [accessed 22 November 2022]. Available at: <https://numpy.org/doc/stable/>.
4. Simplful module – Simplful documentation [online], [accessed 22 November 2022]. [https://simplful.readthedocs.io/en/latest/simplful\\_module.html](https://simplful.readthedocs.io/en/latest/simplful_module.html).

## Summary

Fuzzy logic can be found in various types of commercial technologies today. It is used in household electronic devices to control processes, e. g., in washing machines, by inferring the next action or change from the signals. However, it is not particularly used in robotics due to other more suitable control methods where proportional-integral-differential (PID) controllers are popular. This work examines the application of phase logic to a 2-wheel differential drive model by creating a phase logic PID controller.

A controller is applied to the model, where the task of moving along a trajectory through the kinematics of the differential drive is determined, where the accuracy of changing the settings of the controller is studied in this work.

As a result, a model controller was obtained that performed accurate movement along the given trajectories, which allowed us to conclude a practical application of fuzzy logic in robot kinematics.





# Viesturs Streļčs

## JAUNA METODE PURĪNA ATVASINĀJUMU SINTĒZĒ

### Darba zinātniskie vadītāji

*Dr. chem.* Irina Novosjolova

*Mg. sc. ing.* Jolanta Rimša

## Kopsavilkums

Purīna atvasinājumi ir organisko vielu klase, kas ir plaši sastopama dabā. Pateicoties vairāku vielu bioloģiskajai aktivitātei, purīna atvasinājumi bieži tiek lietoti farmācijas industrijā, tostarp arī ievērojams skaits triazolilpurīnu un to atvasinājumu. Triazolilpurīni ir pēdējos gados aktīvi pētīti purīna atvasinājumi, kuriem piemīt ne vien bioloģiska aktivitāte, bet arī fluorescences īpašības, ko var izmantot DNS un RNS pētniecībā. Darbā tiek pārbaudīta triazolilpurīnu triazolilgredzena atvēršana ar N-, S- un O- nukleofīliem noteiktos apstākļos. Lai to pārbaudītu, darbā no komerciāli pieejamām izejvielām pakāpeniski tika sintezēts 6-triazolilpurīns, ar kuru tika izmēģinātas SNAr reakcijas 100 °C temperatūrā, izmantojot četrus dažādus nukleofīlus. Tika izdalīts un ar <sup>1</sup>H-KMR un <sup>13</sup>C-KMR spektriem aprakstīts N-nukleofīla atvēršanas produkts un paplašinātas zināšanas par triazolilpurīnu triazolilgredzena atvēršanu, ko nākotnē var izmantot, lai optimizētu reakcijas apstākļus un izmēģinātu tās arī ar 2,6-bis-triazolilpurīniem.

## Atslēgvārdi

Purīni, triazolilpurīni, CuAAC, triazolilgredzena atvēršana, SNAr reakcijas.



## IEVADS

Purīna atvasinājumi ir plaši dabā sastopama un laboratorijā lietota bioloģiski aktīvo organisko vielu klase. Purīna karkass sastāv no imidazola un pirimidīna gredzeniem, kas to padara par heterociklisku aromātisku savienojumu.

Divas no četrām dezoksiribonukleīnskābes (DNS) un ribonukleīnskābes (RNS) nukleotīdos ietilpstošajām slāpekļa bāzēm ir purīni – adenīns un guanīns. Tās rada ūdeņraža saites ar tām komplementārajiem pirimidīniem, tādējādi veidojot bāzu pārus. Adenoīns un adenoīna trifosfāts funkcionē kā purinergisko receptoru aktivizētājs purinergiskajā signalizācijas sistēmā (*Praetorius, H. A., Leipziger, J., 2009*), kas ir

nepieciešama vairāku šūnu funkciju, galvenokārt apoptozes, migrācijas un izplatīšanās regulēšanai. Ksantīns, teofilīns, kofeīns un teobromīns ir dabā plaši sastopami purīna atvasinājumi ar stimulējošu aktivitāti uz cilvēka organismu.

Purīna atvasinājumu plašās bioloģiskās aktivitātes dēļ laboratorijās tiek sintezēti un pētīti arvien jauni atvasinājumi. Purīnu 2',3'-didezoksinukleozīdiem piemīt antivirālā aktivitāte. Tie spēj darboties kā HIV vīrusa reversās transkriptāzes inhibitori, nekaitējot cilvēka šūnām (Chandra, P., Chandra, A., Demirhan, I. un Gerber, T., 1987). Triazolilpurīnu nukleozīdi uzrāda citostatiskas īpašības saskarsmē ar cilvēku karcinomas šūnām, inhibitoras īpašības pret dažādiem enzīmiem – fosfatāzēm, polimerāzēm un reversām transkriptāzēm (Lakshman, M. K. u. c., 2012), kā arī tie darbojas kā adenozīna receptoru antagonisti. Triazolilpurīnu nukleozīdiem piemīt arī fluorescentas īpašības, pateicoties kurām tos var potenciāli izmantot par bioloģiskiem sensoriem DNS un RNS pētīšanā (Novosjolova, I., Bizdena, E. un Turks, M., 2015), kā arī analītiskajā ķīmijā, kur tos lietojot, var noteikt metālu jonu esamību bioloģiskās sistēmās (Novosjolova, I., Bizdena, E. un Turks, M., 2015).

Vairāku minēto purīnu atvasinājumu sintēzē tiek izmantotas Sonogaširas, vara(I) katalizētā alkīnu-azīdu ciklopievienošanās (CuAAC) un SNAr reakcijas. Lietojot šo reakciju sekvenču, no halogēnu saturošiem purīniem iespējams iegūt triazolilpurīnus un tālāk veikt to triazolilgredzenu atvēršanu.

## Mērķis

Sintezēt triazolilpurīnu atvasinājumu un atvērt tā triazolilgredzenu ar nukleofīliem.

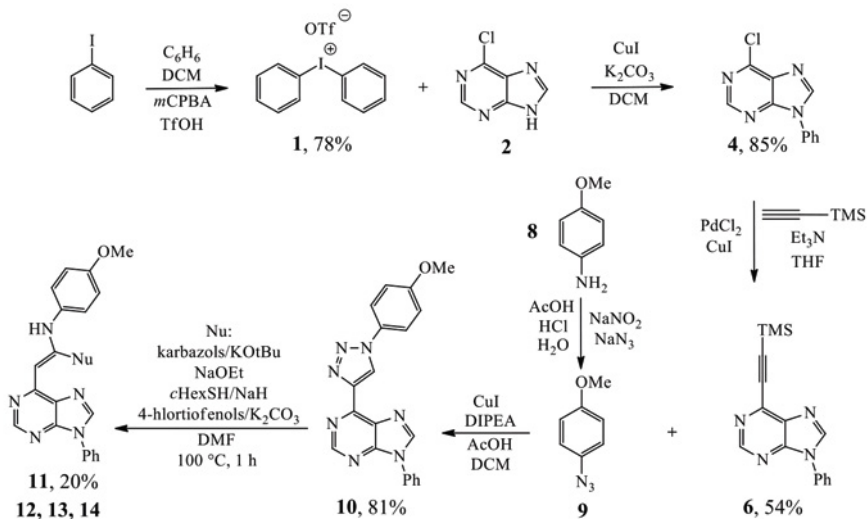
## Uzdevumi

1. Sintezēt un izdalīt 9-fenilpurīnus.
2. Ar Sonogaširas reakciju sintezēt un izdalīt trimetilsililgrupu saturošus purīnus.
3. Ar CuAAC reakciju no iegūtā trimetilsililpurīna sintezēt un izdalīt 6-triazolilpurīnu.
4. Iegūt un raksturot visas purīna izejvielas un triazolilgredzenu atvēršanas gala produktus.



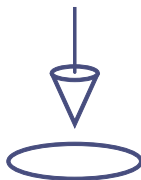
## DARBA METODOĻĶIJA

Lai pārbaudītu, vai 9-fenil-6-triazolilpurīnam ir iespējams veikt triazolilgredzenu atvēršanu ar N-, S- un O-nukleofīliem 100 °C temperatūrā, vispirms tika veikta izejvielu sintēze (1. att.). Pēc tam ar iegūto savienojumu 10 tika izmēģināta triazola atvēršanas reakcija, lietojot dažādus nukleofīlus. Vispirms no jodbenzola, benzola un trifluormetānsulfonskābes tika iegūts jodonija sāls 1. Sāls turpmāk tika lietots, lai no komerciāli pieejamā 6-hlorpurīna 2 iegūtu fenilpurīnu 4. Tālāk, izmantojot fenilpurīnu 4 tika veikta Sonogaširas reakcija 50 °C temperatūrā, pēc kuras attīrīšanas tika iegūts savienojums 6. Pēc tam tika veikta nepieciešamā azīda 9 sintēze no para-metoksianilīna, lietojot nātrija nitrītu un nātrija azīdu. Tālāk starp savienojumu 6 un azīdu 9 tika veikta CuAAC reakcija. Reakcijas maisījumu pārbaudīja ar augstas



1. attēls. Mērķsavienojumu sintēzes shēma.

efektivitātes šķīduma hromatogrāfiju, un reakciju pārtrauca, tiklīdz vairs nebija novērojama izejvielas klātbūtne. Tālāk ar 5 % EDTA ūdens šķīdumu produkts tika attīrīts no vara joniem un nofiltrēts, dodot savienojumu 10 ar 81 % iznākumu. Tālāk ar iegūto triazolilpurīnu 10 tika pārbaudīta triazolilgredzena atvēršanas reakcija ar dažādiem nukleofīliem. Visas reakcijas tika veiktas 1 stundu 100 °C temperatūrā. No visiem izmēģinātajiem nukleofīliem izdevās izdalīt tikai ar karbazolu atvērto purīna atvasinājumu 11 ar 20 % iznākumu pēc tā hromatogrāfiskas attīrīšanas uz silikagēla.



## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Pētījuma gaitā tika pierādīts, ka, lietojot iepriekš izstrādātu metodi jodonija sāls izmantošanai purīna N9 pozīcijas arilēšanai, no komerciāli pieejamām izejvielām ar augstiem iznākumiem ir iespējams sintezēt 9-fenil-6-hlorpurīnu un 9-fenil-2,6-dihlorpurīnu turpmākai modifikācijai. Lietojot Sonogaširas un CuAAC reakcijas, no fenilpurīniem veiksmīgi divās stadijās ir iespējams iegūt triazolilpurīna atvasinājumus, ko lietot triazolilgredzena atvēršanas reakciju pētīšanai. Purīna atvasinājumu sintēzes procesā bieži rodas blakusprodukti vai nenotiek pilnīga izejvielas konversija, tāpēc, lai iegūtu augstas kvalitātes un tīrības produktus turpmākām reakcijām, nepieciešams tās attīrīt, lietojot hromatogrāfisko attīrīšanu uz silikagēla. Lai arī reakcijās mērķsavienojums ir galvenais produkts, ievērojama daļa iznākuma tiek zaudēta, veicot

mērķsavienojuma attīrīšanu no blakusproduktiem ar silikagēla kolonnu hromatogrāfiju. Neskatoties uz to, ka izdevās iegūt un izdalīt tikai ar slāpekļa nukleofīlu (karbazolu) veiktās 6-triazolilpurīna triazolilgredzena atvēršanas produktu, tika pārbaudīts un pierādīts, ka atvēršanas reakcijām ar sēra (cikloheksāntiolu un 4-hlortiofenolu) un skābekļa (nātrija etoksīdu) nukleofīliem ir jāpiemeklē piemērotāki apstākļi, jo konkrētajos apstākļos notika vai nu izejvielu degradēšanās nātrija etoksīda gadījumā, vai arī reakcija nenotika vai produkts tika iegūts niecīgā daudzumā (sēra nukleofīlu gadījumos). Izpētes procesa laikā tika izdalīti un ar <sup>1</sup>H-KMR un <sup>13</sup>C-KMR spektriem aprakstīti iepriekš literatūrā nezināmi purīna atvasinājumi. Darbā iegūtos rezultātus un novērojumus nākotnē ir iespējams izmantot arī 2,6-bistriazolilpurīnu triazolilcikla atvēršanas reakcijās, iegūstot jaunus perspektīvus produktus. Iegūtās pārvērtības un zināšanas var piemērot arī citu heterociklu sintēzei un modificēšanai.

---

## Atsauces

1. Barral, K., Moorhouse, A. D., Moses, J. E. (2007). Efficient conversion of aromatic amines into azides: A one-pot synthesis of triazole linkages. *Org. Lett.* 9, 1809–1811.
2. Castro, V., Rodríguez, H., Albericio, F. (2013). CuAAC: An Efficient Click Chemistry. *Worrell, B. T., Malik, J. A. & Fokin, V. V. Direct evidence of a dinuclear copper intermediate in Cu(I)-catalyzed azide-alkyne cycloadditions. Science.* 340, 457–460.
3. Chandra, P., Chandra, A., Demirhan, I., Gerber, T. (1987). Chemotherapeutic approaches in the control of the acquired immune deficiency syndrome. *AIDS-Forschung* 2, 265–275.
4. Chehade, K. A. H., Spielmann, H. P. (2000). Facile and efficient synthesis of 4-azidotetrafluoroaniline: A new photoaffinity reagent. *J. Org. Chem.* 65, 4949–4953.
5. Chinchilla, R., Nájera, C. (2011). Recent advances in Sonogashira reactions. *Chem. Soc. Rev.* 40, 5084–5121.
6. Chinchilla, R., Nájera, C. (2007). The Sonogashira reaction: A booming methodology in synthetic organic chemistry. *Chem. Rev.* 107, 874–922.
7. Cīrule, D., Novosjolova, I., Bizdēna, Ē., Turks, M. (2021). 1,2,3-Triazoles as leaving groups: SNAr reactions of 2,6-bistriazolylpurines with O- and C-nucleophiles. *Beilstein J. Org. Chem.* 17, 410–419.
8. Gupte, A. et al. (2008). Inhibition of siderophore biosynthesis by 2-triazole substituted analogues of 5'-O-[N-(salicyl)sulfamoyl]adenosine: Antibacterial nucleosides effective against *Mycobacterium tuberculosis*. *J. Med. Chem.* 51, 7495–7507.
9. Hossain, M. D., Kitamura, T. (2006). Reaction of iodoarenes with potassium peroxodisulfate/trifluoroacetic acid in the presence of aromatics. Direct preparation of diaryliodonium triflates from iodoarenes. *Tetrahedron* 62, 6955–6960.
10. Ibrahim, N., Chevot, F., Legraverend, M. (2011). Regioselective Sonogashira cross-coupling reactions of 6-chloro-2,8-diiodo-9-THP-9H-purine with alkyne derivatives. *Tetrahedron Lett.* 52, 305–307.
11. Jacobson, K. A., Galen, P. J. M., Van, J. M. W. (1992). *Medicinal Ch E.* 80–87.

12. Krikis, K. E., Novosjolova, I., Mishnev, A. Turks, M. (2021). 1,2,3-Triazoles as leaving groups in SNAr-Arbuzov reactions: Synthesis of C6-phosphonated purine derivatives. *Beilstein J. Org. Chem.* 17, 193–202.
13. Lakshman, M. K. et al. Synthesis and biological properties of C-2 triazolylinosine derivatives. *J. Org. Chem.* 77, 5870–5883 (2012).
14. Liu, Q., Tor, Y. (2003). Simple conversion of aromatic amines into azides. *Org. Lett.* 5, 2571–2572.
15. Niu, H. Y. et al. (2011). CuBr catalyzed C-N cross coupling reaction of purines and diaryliodonium salts to 9-arylpurines. *Org. Biomol. Chem.* 9, 5039–5042.
16. Novosjolova, I., Bizdena, E., Turks, M. (2015). Synthesis and applications of azolylpurine and azolylpurine nucleoside derivatives. *Eur. J. Org. Chem.* 2015, 3629–3649.
17. Praetorius, H. A., Leipziger, J. (2009). Intrarenal purinergic signaling in the control of renal tubular transport. *Annu. Rev. Physiol.* 72, 377–393.
18. Saboury, A. A. et al. (2002). A product inhibition study on adenosine deaminase by spectroscopy and calorimetry. *J. Biochem. Mol. Biol.* 35, 302–305.
19. Scriven, E. F. V., Turnbull, K. (1988). Azides: their preparation and synthetic uses. *Chem. Rev.* 88, 297–368.
20. Smith, P. A. S., Rowe, C. D., Bruner, L. D. (1969). Azides and amines from grignard reagents and tosyl azide. *J. Org. Chem.*, 34, 3430–3433.
21. Weusmann, J. et al. (2017). Die zahnärztliche selektive Intensivprophylaxe in Rheinland-Pfalz: Untersuchungen an Erstklässlern im Schuljahr 2013/2014. *Gesundheitswesen* 79, 247–251.
22. Zaloom, J., Roberts, D. C. (1981). Preparation of azido derivatives from amino acids and peptides by diazo transfer. *J. Org. Chem.* 46, 5173–5176.

## Summary

Purine derivatives are a common, naturally occurring class of organic compounds. Several purine derivatives show biological activity and are therefore used in the pharmaceutical industry, including a significant number of triazolylpurines and their derivatives. Triazolylpurines are purine derivatives that have been actively studied in recent years, and they not only show biological activity, but also fluorescent properties that can be used in DNA and RNA research. In this work, the opening of the triazolyl ring of triazolylpurines with N-, S- and

O- nucleophiles under certain conditions is researched. To test the triazolyl ring opening, 6-triazolylpurine was gradually synthesized from commercially available starting materials and SNAr reactions were performed at 100 °C using 4 different nucleophiles. The N-nucleophile product was isolated and described by <sup>1</sup>H-NMR and <sup>13</sup>C-NMR spectra, as well as the knowledge on the opening of the triazolyl ring of triazolylpurines was expanded and can be used in the future to optimize reaction conditions and test them with 2,6-bistriazolylpurines as well.

# Jānis Šņucītis

## DIVTAKTU DZINĒJA JAUDAS PALIELINĀŠANA

### Darba zinātniskie vadītāji

*Dr. phys.* Virgīnija Vītola

*Mg. phys.* Aivars Eriņš



### Kopsavilkums

Darba gaitā lielākā uzmanība pievērsta Padomju Savienībā konstruētā *D6* divtaktu dzinēja darbības modificēšanai, kas iekļāva dzinēja forsēšanu, lai manipulētu ar ievērojamās gāzu maisījuma ceļu un degkambars tilpumu. Pētniecības darba rezultātā secīgi izkristalizējās vairāki darba secinājumi. Galvenokārt jāuzsver praktiska rakstura iespējas veikt šāda veida dzinēja uzlabojumus ikvienam interesentam pašrocīgi. Darbā skaidri apstiprinājās tas, ka šāda veida uzlabojumus noteiktajam divtaktu dzinējam – *D6* – nav iemesla veikt, jo iegūtie dati neliecināja par īpaši ievērojamiem uzlabojumiem, kas būtiski veicinātu dzinēja veiktspēju. Jāuzsver arī tas, ka šādiem divtaktu dzinējiem tomēr mūsdienu sabiedrībā loma zūd, tie tiek aizstāti ar citām, daudz efektīvākām un rūpnieciski izdevīgākām alternatīvām.

### Atslēgvārdi

Dzinējs, divtaktu, jauda, *D6*.



## IEVADS

Ikdienā divtaktu dzinēji tiek izmantoti bieži, reizēm pat neapziņoti atšķirību no četraktu dzinēja. Lai gan tie ir kļuvuši mazāk izplatīti transportlīdzekļu industrijā, tos joprojām masveidā izmanto kā motorzāģu, krūmgriežu un mopēdu piedziņas līdzekļus. Divtaktu dzinējs darbojas daudz vienkāršāk nekā četraktu, jo tam ir mazāk kustīgo daļu, kas nozīmē zemāku masu, lielāku maksimālo apgriezīu skaitu minūtē, līdz ar to lielāku jaudas atdevi. Galvenā atšķirība ir vārstu neesamība, tos aizstājot ar ievērojamām izplūdes lūkām. Kopš 19. gs. beigām tie ir strauji attīstījušies, un tiem nenoliedzami bija liela nozīme pasaules vēsturē pagājušajā gadsimtā. Tie vienmēr ir bijuši kompakta, izturīgāki un vieglāk lietojami nekā četraktu dzinēji, tieši tāpēc to nozīme bija lielāka. Bet tiem ir gan plusi, gan mīnusi, raugoties no lietotāja skatpunkta.

Dzinējiem ar piespiedu indukcijas sistēmām ir jāuzliek papildu gaisa-gaisa vai gaisa-ūdens dzesētājs, kas atdzesē gaisu, palielinot tā blīvumu, palielinot jaudu līdz pat

50 %, taču tad ir jāreķinās ar to, ka biežāk būs jālej eļļa karterī, lai uzturētu pietiekami lielu eļļas spiedienu un kompensētu motora slodzes radīto nodilumu. Vai arī pastāv iespēja uzstādīt "draw-through" karburatora sistēmu, kur turbīna atrodas starp iepļūdes kolektoru un karburatoru, tā spēj saspīest degmaisījumu tik efektīvi, ka pati atdzesē sevi uzreiz aiz turbīnas, kad degmaisījums atkal izplešas ceļā uz degkameru. Šajā gadsimtā ir veiktas daudzas inovācijas, kas ļauj iegūt pēc iespējas lielāku jaudas un masas attiecību. Šie dzinēji attīsta lielāku griezes momentu pie lielākiem apgriezieniem, jauda ir funkcija no griezes momenta un dzinēja vārpstas leņķiskā ātruma reizinājuma, kas dalīts ar konstanti, tieši šī iemesla dēļ divtaktu dzinēji attīsta lielāku jaudu un ir vieglāki un vienkāršāki, vienīgais trūkums ir motora nodilšanas ātrums. Tieši šīs jaudas dēļ pēc eļļa ir jāmaina no trīs līdz piecām motorstundām, ja jauda ir liela. Ja tā ir mazāka, tad var eļļu mainīt to ik pēc 12 motorstundām, tas ir, ja dzinējam ir karteris un eļļa netiek pievienota degmaisījumā. Motokrosa motocikli ar darba tilpumu 250 kubikcentimetri, spēj attīstīt līdz 50 zirgspēkiem, bet ar mazām izmaiņām, nomainot tikai karburatoru, var iegūt līdz pat 13 % pieaugumu pie maksimālās apgriezienu frekvences.

## Mērķis

Pierādīt, ka, forsējot dzinējus, kuriem ir rūpnīcas komponentes, uzlabojas dzinēja termodinamiskie parametri, neinkriminējot iespēju piedalīties ceļu satiksmē vai sacensībās.

## Uzdevumi

1. Modificēt dzinēju, lai palielinātu tā jaudu brīdī, kad karburatora vārti ir pilnībā atvērti, nemodificējot cilindru.
2. Uzlabot dzinēja termodinamiku.
3. Veikt mērījumus datu analīzei.
4. No veiktā pētījuma izveidot aktuālu zinātniskās pētniecības darbu.



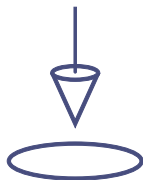
---

## DARBA METODOLOĢIJA

Darbs veikts, izmantojot praktiskas metodes – veicot mērījumus, mainot parametrus un atkārtoti veicot mērījumus. Teorētiskie aprēķini tika veikti ļoti minimāli, jo vecām tehnikas vienībām nevar paredzēt visus parametrus, kas var būt atšķirīgi no oficiālajiem datiem kvalitātes kontroles dēļ un sensoru neesamības rezultātā. Netika pārlietu sarežģīta mērīšanas metode, lai veiktos mērījumus būtu viegli veikt atkārtoti un iegūt tādus pašus datus.

Dati iegūti ar visdažādākajiem sensoriem, kas tika rūpīgi kalibrēti, un mērinstrumentiem. Galvenā mērījumu iekārta bija jaudas stends, kurā varēja noteikt sākotnējo jaudu un jaudu pēc izmaiņām. Tas bija visa pētījuma mugurkauls, uz kā tika bāzēti tālākie pētījumi un izmaiņas, jo primārais mērķis bija jaudas palielināšana. Termodinamikas uzlabošana bija sekundāra, bet abi jautājumi ir savstarpēji saistīti.

Tika izmantotas gadu desmitiem izmantotās metodes, kas ir pierādītas praksē un nav apstrīdamas, tādējādi pētījums ir leģitīmāks nekā tad, ja tiktu izmantotas jaunas metodes, kas nav plaši pieņemtas zinātniskajā un akadēmiskajā vidē. Visu metožu apraksti ir atrodamā zinātniskajā literatūrā par dzinēju darbības galveno parametru testēšanu.



---

## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Jaudas ieguvums ir tuvu 25 %, netika ietekmēta dzinēja integritāte. Jaudas izmaiņa jūtama visā apgriezīgu diapazonā. Apgriezīgu diapazonu var notestēt īsākā laikā, jo atvieglotās detaļas rotācijas inerci samazina pietiekami, lai apgriezieni palielinātos ātrāk.

Darba hipotēze apstiprinājās – degvielas patēriņš slodzes apstākļos palielinājās par ~ 0,2 L/100 km, uzlabojās dzinēja termodinamikās īpašības, kas saistītas ar darba temperatūru un slāpekļa oksīdu emisiju daudzumu. Izmaiņu rezultātā saruka kopējais emisiju daudzums, neskatoties uz degvielas patēriņa pieaugumu.

Standarta komponentes šādas izmaiņas spēj izturēt. Dzinējā izmantotie materiāli ir pietiekami kvalitatīvi un viegli apstrādājami. Taču divtaktu dzinēji rada pārāk lielu piesārņojumu, ja tiek izmantoti industriālos mērogos, tāpēc ir jāmeklē alternatīvas. Mūsdienu sabiedrībā šie dzinēji neiekļautos pat *Euro 1* klasē, kam ir viszemākās prasības nesadegušo ogļūdeņražu dēļ.

Darba gaitā netika mainīts dzinēja darba tilpums, bet tikai degkammeras tilpums, tāpēc netiek noteikti Ceļu Satiksmes un drošības direkcijas papildu ierobežojumi, jo dzinējs iekļaujas mazlitrāžas klasē jeb grupā ar darba tilpumu līdz 50 kubikcentimetriem. Uzlabotais dzinējs nepārkāpj arī jaudas maksimālo robežu, ko nosaka AM vadītāja apliecības noteikumi.

---

### Atsauces

1. 1908 Alfred Scott patent. (2009). [online] [accessed 17 December 2020]. Available at: [https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=28&ND=3&adjacent=true&locale=en\\_EP&FT=D&date=19090729&CC=G-B&NR=190816564A&K C=A](https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=28&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19090729&CC=G-B&NR=190816564A&K C=A).
2. Abhilash, P., Nanda Kkumar, R. (2020). Performance analysis of two stroke petrol engine on basis of variation in carburetor main jet diameter. *Mater. Today Proc.*, pp. 2–9.
3. Abu-Zied, B. M., Obalová, L. K., Pa-cultová A, Klegova A., Asiri A. M. (2021). An investigation on the N2O



- decomposition activity of MnxCo1-xCo2O4 nanorods prepared by the thermal decomposition of their oxalate precursors. *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 93, pp. 279–289.
4. Carl Benz 2-stroke engine patent. (2013). [online], [accessed 15 December 2020]. Available at: [https://web.archive.org/web/20120204045616/http://home.arcor.de/carsten.popp/DE\\_0003\\_7435\\_A.pdf](https://web.archive.org/web/20120204045616/http://home.arcor.de/carsten.popp/DE_0003_7435_A.pdf) (accessed Dec. 15, 2020).
  5. Caton, J. A. (2018). The thermodynamics of internal combustion engines: Examples of insights. *Inventions*, vol. 3, no. 2. pp., 4–26.
  6. Chicurel, R. (1991) A modified Otto cycle engine for fuel economy. *Appl. Energy*, vol. 38, no. 2, pp. 105–116.
  7. Dubinin, Y. V., Yazykov N. A., Reshetnikov S. I., Yakovlev V. A. (2021). Catalytic combustion of sulfur-containing liquid fuels in the fluidized bed: Experiment and modeling. *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 93, pp. 163–169.
  8. Jansons T., Zviedre E. (1971). *Padomi motosportistiem Rīga: Zvaigzne*, 160 lpp.
  9. Muthu, V., K. Bhaskar, K., P. Pavan, P., Jayabalakrishnan, D., M. Prabhahar, M. (2020). Experimental investigation on a two stroke SI engine to optimize fuel consumption through electronic ignition. *Mater. Today Proc.*, pp. 1–4.
  10. Septivani, N., Riyandwita, B. W. (2018). Spark ignition engine modeling for in-cylinder pressure and temperature prediction using simulink. *MATEC Web Conf.*, vol. 204, pp. 0–5.
  11. Song, H., Quinton, K. S., Z. Peng, Z., H. Zhao, H., Ladommatos, N. (2016). Effects of oxygen content of fuels on combustion and emissions of diesel engines. *Energies*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12.
  12. Завод Л. М., Двигателе С. О. (1980). *Двигатель*. Рига: Лиесма 34 стр.

## Summary

The focus of the research is on modifying performance of the D6 two-stroke engine designed in the Soviet Union, which included the engine's forcing to manipulate the intake gas mixture path and combustion chamber volume. As a result of the research work, several conclusions crystallized. The main emphasis should be on the purely practical possibilities of making this type of engine upgrade for each person interested by hand. The work

clearly confirmed that there is no reason to make such improvements to the specified two-stroke engine (D6) because the obtained data did not show any significant improvements that would significantly improve engine performance. It should also be emphasized that such two-stroke engines are losing their role in modern society and are being replaced by other, more efficient and industrially viable alternatives.

# Anete Paula Tomiņa, Patrīcija Rocēna

## EGĻU SKUJU MATERIĀLA IZMANTOŠANA VIENREIZLIETOJAMO KRŪZĪŠU IZGATAVOŠANĀ

### Darba zinātniskie vadītāji

*Mg. chem.* Laura Fjodorova,

*Dr. phys.* Virgīnija Vītola,

Alise Anna Stīpniece-Jekimova



### Kopsavilkums

Dabai draudzīgu materiālu izmantošana kļūst arvien aktuālāka mūsdienu sabiedrība, tāpēc darbā apskatīts un analizēts veids, kā izveidot pilnvērtīgi izmantojamas skuju krūzītes. Apskatīta dažādu iespējamo skuju krūzīšu saistvielu izturība, ķīmiskais sastāvs, šķīdība ūdenī un cena, un secināts, kura saistviela ir visatbilstošākā krūzīšu veidošanai. Darba gaitā krūzīšu paraugiem tika veiktas ūdens analīzes, lai izpētītu, kas izdalās ūdenī, kā arī apskatītas ūdens analīzes un izturība jau tirgū esošajām krūzītēm. Pētījuma beigās secināti izdevīgākie materiāli krūzīšu ražošanai.

### Atslēgvārdi

Pārtikas iepakojumi, skujas, ekoloģiskas saistvielas.



## IEVADS

Iedzīvotāju uzmanība arvien vairāk tiek pievērsta dabai draudzīgu, atjaunojamu resursu izmantošanai, tomēr plastmasas iepakojumu ražošana un rūpniecība turpinās. Kopš 20. gs. 50. gadiem pasaulē ir saražoti vairāk nekā deviņi miljardi tonnu plastmasas, un tikai aptuveni 9 % no tās tiek pārstrādāti. Liela daļa no šiem atkritumiem vēl 500 gadu pēc lietošanas piesārņo vidi, no plastmasas izdaloties toksiskām ķīmiskajām vielām.

Lai mazinātu šo piesārņojumu, tiek pētīti arvien jauni materiāli, kas var aizvietot tradicionālo plastmasu, kas gatavota no naftas pārstrādes produktiem. Tirgū pieejamas alternatīvas ir stikls, papīrs metāls, koks, bioplastmasa u. c. Taču daudzi no šiem materiāliem neizpilda visas prasības, kas nepieciešamas pārtikas trauku, tai skaitā – krūzīšu pilnvērtīgai izmantošanai.

Nocirsto mūžzaļo koku skujuas pārsvarā tiek izmestas un netiek izmantotas ne tikai rūpniecībā, bet arī sabiedrības ikdienā. Katru gadu Ziemassvētkos katrā mājoklī ir eglīte, dažkārt pat divas – viena Ziemassvētkos, otra – Jaunajā gadā. Janvāra sākumā pilsētu atkritumu punkti ir pilni ar sakaltušām eglītēm, adventes vainagiem un skujiņām. Un tā ir tikai neliela daļa šī dabas resursa, kas tiek izniekota, jo arī kokmateriālu iegūšanas procesā skujuas netiek pārstrādātas.

Izmantojot skujuas kā krūzītes pamatu, pirmkārt, būtu nepieciešams izmantot mazāk citu vielu krūzītes izveidošanai, otrkārt, dabas resursi tiktu izmantoti pilnvērtīgāk, proti, lietderīgi tiktu izmantoti blakusprodukti no jau izmantotiem dabas resursiem kokapstrādē, treškārt, ja krūze pēc tam nonāktu dabā, tā nepiesārņotu vidi, jo veidota no dabai nekaitīgām vielām.

## Mērķis

Atrast ekoloģisku, viegli kompostējamu materiālu vienreizlietojamo krūžu izveidei.

## Uzdevumi

1. Apskatīt esošos vienreizlietojamo krūžu materiālus
2. Izpētīt iespējamu ekoloģisku materiālu īpašības.
3. Veikt analīzes, lai noskaidrotu, vai no materiāla iespējams veidot krūzi.
4. Apkopot rezultātus, definēt tajos balstītus secinājumus.



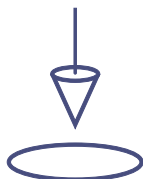
---

## DARBA METODOLOĢIJA

Pirms eksperimentālās daļas izstrādāšanas būtiski bija noteikt īpašības, ko nepieciešams apskatīt, lai secinātu, ka sasniegts vēlamais rezultāts – izveidota kvalitatīva krūzīte. Nepieciešamās īpašības ir šādas: saistvielai jābūt no pārtikai droša materiāla, ūdens izturīgai un neuzsūcošai, elastīgai, ērti lietojamai, pārstrādājamai vai kompostējamai un ekonomiski izdevīgai.

Eksperimentālajā daļā tika iegūtas desmit 3–3,5 metrus augstas egles, kas tika žāvētas gan istabas temperatūrā, gan žāvēšanas skapī. Vēlāk sausās skujuas tika sasmalcinātas un noteiktā attiecībā pievienotas bioloģiskajiem materiāliem, kas tika izpētīti teorētiskajā apskatā. No materiāliem tika izveidoti 13 paraugi – kartupeļu un kukurūzas cietes dekstrīnu paraugi, kartupeļu un kukurūzas cietes dekstrīnu paraugi ar kviešu miltiem, bioplastmasas (kartupeļu un kukurūzas cietes, etiķis, glicerīns un ūdens), želatīna, kartupeļu un kukurūzas cietes klīsteru, lignīna ar kartupeļu cieti, ievaskoti materiāli un epoksīda sveķu ar cietinātāju, kuriem tālāk veiktas gan mehāniskas, gan ķīmiskas pārbaudes. Pārbaudītas tika šādas īpašības: šķīdība ūdenī, mehāniskā

izturība un ūdens analīzes, nosakot kopējā organiskā oglekļa daudzumu ūdenī (TOC). Darba noslēgumā tika izpētītas divas iespējamās metodes krūzītes prototipa izveidošanai. Izmantotais materiāls bija epoksīda sveķi un ievaskots kartupeļu cietes klīsteris, jo tie uzrādīja vislabākos rezultātus krūzītes izveidošanai, kas būtu izmantojama gan karstam, gan aukstam ūdenim. Viena no metodēm bija krūzīšu formu izliešana lielākā formā un otra metode – izveidot plakanu materiālu, ko izgriezt un ievēidot krūzītes vēlamajā formā.



## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Apskatot iespējamus materiālus krūžu izgatavošanai, ievaskotie kartupeļu cietes klīstera un kartupeļu cietes klīstera ar lignīnu materiāli ir ekonomiski izdevīgi, dabai draudzīgi un veselībai droši. To TOC testi 24,5 °C temperatūrā pēc 60 min bija 3,64 mg/l un 3,49 mg/l, kas ir pieļaujamajās robežās. No šiem materiāliem iespējams veidot vienreizlietojamas krūzes aukstam ūdenim. Taču epoksīda sveķu materiāls ir gan vieglāk izmantojams prototipa veidošanai, gan uzrādīja labus rezultātus aukstā un karstā ūdenī, taču šim materiālam vēl jāveic pārbaudes, pirms atzīt to par nekaitīgu krūzes materiālu.

Izveidotās krūzītes var kalpot kā vienreizlietojamas krūzītes auksto dzērienu uzglabāšanai, par to nonākšanu dabā nav jāuztraucas. Šādas krūzītes ir ideāli piemērotas sporta pasākumiem dabā, kā arī festivālos, koncertos un citos pasākumos, pēc kuru norises veidojas liels plastmasas krūzīšu piesārņojums.

Skujas saturošos materiālus iespējams mēģināt uzlabot, padarot tos lietojamus arī ar augstākām ūdens temperatūrām, bišu vaska vietā lietojot karstumu izturīgāku vasku, kā arī par saistvielu izmantojot tādus materiālus kā agars, kraftlignīns un citus.

Vērtīgi pieminēt, ka darba gaitā tika apskatītas jau tirgū esošas krūzītes un to TOC analīzes. Normālā dzeramajā ūdenī TOC ir 0,5–25 mg/l [40,41]. TOC koncentrācija pieauga gan "*Caffeine*", gan "*Narvesen*" krūzītēm, turklāt "*Narvesen*" krūzītei jau pēc 60 min šī koncentrācija bija ļoti tuvu maksimāli pieļaujamajai. Ja dzēriens tiktu turēts vēl ilgāk, koncentrācija varētu pārsniegt atļauto, kas pārkāptu Ministru kabineta noteikumu prasības.

1. Amin, M. R, Chowdhury, M. A., Kowser M. A. (2009). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch," *Heliyon*, vol. 5, no. 8, p. e02009, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02009. BeMiller, J. N., (2003). DEXTRINS in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, Elsevier, 2003, pp. 1773–1775.
  2. Arato, M., Speelman, S., Van Huylenbroeck, G. (2014). The contribution of non-timber forest products towards sustainable rural development: The case of Candelilla wax from the Chihuahuan Desert in Mexico, *Nat. Resour. Forum*.
  3. Bayer, I. S, Fragouli D., Martorana, P. J, Martiradonna, L., Cingolani, R., Athanassiou, A. (2011). Solvent resistant superhydrophobic films from self-emulsifying carnauba wax-alcohol emulsions," *Soft Matter*, vol. 7, no. 18, pp. 7939–7943, Sep. 2011, doi: 10.1039/c1sm05710c.
  4. Broks, J. (2003). Meža enciklopēdija, Rīga – 360 lpp. Disposable cups and the environment – information cards. [online], [accessed 18 December 2020]. Available at: <https://web.archive.org/web/20140611154655/https://www.rsc.org/education/teachers/resources/inspirational/resources/6.2.2.pdf>.
  5. Budavari, S. (1996). *The Merck index: an encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals*, 12th ed. Whitehouse Station NJ: Merck.
  6. Capricho, J. C., Fox B., Hameed, N. (2020). Multifunctionality in Epoxy Resins. *Polymer Reviews*, vol. 60, no. 1. Taylor and Francis Inc., pp. 1–41, Jan. 02, 2020, doi: 10.1080/15583724.2019.1650063.
  7. Dejus, S. (2018). *Dzeramā ūdens kvalitātes onlines monitorings*.
  8. Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma un kvalitātes prasības, monitoringa un kontroles kārtība. [tiešsaiste], [skatīts 2020. gada 18. decembrī]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/295109-dz-erama-udens-obligatas-nekaitiguma-un-kvalitates-prasibas-monitoringa-un-kontroles-kartiba>.
  9. Cottom, W. P., (2000). *Waxes*. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
  10. Epa, U. *et al.* (2020). Distribution System Water Quality Monitoring: Sensor Technology Evaluation Methodology and Results – A Guide for Sensor Manufacturers and Water Utilities.
  11. Fisher, L. E., Agyeman, J., Hammond Creighton, S., Shimshack J. (2008). Signaling Change Studying the effect of price signals on disposable hot beverage cup consumption.
  12. Goring, D. (1963). Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose. *Undefined*.
  13. Gupta, R. K., Dudeja P. (2017). Food packaging. In *Food Safety in the 21st Century: Public Health Perspective*, Elsevier Inc., 2017, pp. 547–553.
  14. Everything You Need To Know About Polylactic Acid (PLA). [online], [accessed 18 December 2020]. Available at: <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-polylactic-acid-pla-prototypes>.
  15. Hehner, O., (1883). On the analysis of bees' wax. Part I. – Yellow wax," *Analyst*, vol. 8, no. February, pp. 16–32, Jan. 1883, doi: 10.1039/AN8830800016.
- How many cups are used at festivals each year, are re-useable better? [online], [accessed December 19, 2020]. <https://happycups.co.uk/>

- re-usable-cups-for-festivals/.
- Howes, F. N. (1936). Sources of Vegetable Wax. *Bull. Misc. Inf. (Royal Gard. Kew)*, vol. 1936, no. 10, p. 503, 1936, doi: 10.2307/4111761.
- Hodge, W. H., Sineath, H. H. (1956). The Mexican candelilla plant and its wax. *Econ. Bot.*, vol. 10, no. 2, pp. 134–154, 1956, doi: 10.1007/BF02985323.
- Irvine, G. M (1985). The significance of the glass transition of lignin in thermo-mechanical pulping. *Wood Sci. Technol.*, vol. 19, no. 2, pp. 139–149, Jun. 1985, doi: 10.1007/BF00353074.
- Kayasth, V. (2018). Biopackaging applications of pine needles: microfibrillated cellulose isolation and handmade papermaking bachelor of technology in biotechnology.
- Kas ir modificēta ciete? [tiešsaiste] Diena. [skatīts 2020. gada 18. decembrī]. Pieejams: <https://www.diena.lv/raksts/pasaule/krievija/kas-ir-modificeta-ciete-10655458>.
- Kilpeläinen, I., Xie, H., King, A., Granstrom, M., Heikkinen, S., Argyropoulos D. S., (2007). Dissolution of wood in ionic liquids. *J. Agric. Food Chem.*, vol. 55, no. 22, pp. 9142–9148, Oct. 2007, doi: 10.1021/jf071692e.
- Krendlinger, E. *et al.* (2015). Waxes. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 1–63., vol. 38, no. 2, pp. 141–153, May 2014, doi: 10.1111/1477-8947.12043.
- Koonce, S. D., Brown, J. B. (1944). A study of the alcohols of carnauba wax. *Oil Soap*, vol. 21, no. 8, pp. 231–234, Aug. 1944, doi: 10.1007/BF02544193.
- Lignin – a natural resource with huge potential – Bioeconomy [online] [accessed Dec. 18, 2020]. Available at: <https://www.bioekonomie-bw.de/en/articles/dossiers/lignin-a-natural-resource-with-huge-potential>.
16. Papstar: The history of disposable tableware. [online], [accessed 18 December 2020]. Available at: <https://www.papstar.com/en/disposable-tableware/the-history-of-disposable-tableware/>.
17. Putu polistirola trauki var izraisīt vēzi – Vides Vēstis [tiešsaiste] [skatīts 2020. gada 18. decembrī]. Pieejams: <https://www.videsvestis.lv/putu-polistirola-trauki-var-izraisit-vezi/>.
- Samsudin, H., Hani, N. M. (2017). Use of Starch in Food Packaging. In *Starch-Based Materials in Food Packaging: Processing, Characterization and Applications*, Elsevier Inc., 2017, pp. 229–256.
- Sahin, H., Yalcin, O. (2017). Chemical Composition and Utilization of Conifer Needles-A Review," *J. Appl. Life Sci. Int.*, vol. 14, no. 3, pp. 1–11, Jan. 2017, doi: 10.9734/jalsi/2017/37076.
- Segliņš, V. (2013). Miltu konditorejas izstrādājumu ražošanas. Rīga, RTU *Izdevniecība*, 22 lpp.
- Seo, H., Lee, N. H., Ryu, S. (2014). Antioxidant and antiapoptotic effects of pine needle powder ingestion and endurance training in high cholesterol-fed rats Hyobin Seo, Nam-Ho Lee and Sungpil Ryu. Antioxidant and antiapoptotic effects of pine needle powder ingestion and endurance training in high cholesterol-fed rats," *J. Exerc. Nutr. Biochem*, vol. 18, no. 3, pp. 301–309, 2014, doi: 10.5717/jenb.2014.18.3.301.
- Single Use Plastic Cups: The Alternatives | Creative Carbon Scotland. [online] [accessed 18 December 2020]. Available at: <https://www.creativecarbonscotland.com/resource/single-use-plastic-cups-alternatives/>.
- Suskevics, V., Grönman, K. (2019). Single-Use Paper Cups Circularity Improvement and Environmental

- Impact Mitigation Measures for Lap-  
peenranta University of Technology  
Campus, *Proceedings*, vol. 16, no. 1,  
p. 58, Sep. 2019, doi: 10.3390/pro-  
ceedings2019016058.
18. Te, T. (1916). A dictionary of applied  
chemistry, vol. 5. Revised and en-  
larged edition. *London Longmans,  
Green, Co.*, vol. 5, no. Waxes, Animal  
and Vegetable. Beeswax., p. 737.
  19. The Truth About Bioplastics [online],  
[accessed Dec. 18, 2020]. Availab-  
le at: [https://blogs.ei.columbia.  
edu/2017/12/13/the-truth-about-  
bioplastics/](https://blogs.ei.columbia.edu/2017/12/13/the-truth-about-bioplastics/).
  20. The Science of Gelatin – Article – Fine-  
Cooking. [online], [accessed Decem-  
ber. 18, 2020]. Available at: [https://  
www.finecooking.com/article/  
the-science-of-gelatin](https://www.finecooking.com/article/the-science-of-gelatin).
  21. Tulloch, A. P. (1970). Composition  
of beeswax and other waxes se-  
creted by insects 1,2, *Lipids*, 1970.  
[online] [accessed December 18,  
2020]. Available: [https://agris.fao.  
org/agris-search/search.do?reco-  
rID=US201301202126](https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301202126).
  22. Tinto, W. F., Elufioye, T. O., Roach J.,  
(2017). Waxes. In *Pharmacognosy:  
Fundamentals, Applications and Strat-  
egy*, Elsevier Inc., pp. 443–455.
  23. On-line water quality parameters  
as indicators of distribution system  
contamination 2. Science Inventory.  
US EPA, [online], [accessed December.  
18, 2020]. [https://cfpub.epa.gov/si/  
si\\_public\\_record\\_report.cfm?Lab=N-  
HSRC&address=nhsrc/&dirEntry-  
Id=143147](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NHSRC&address=nhsrc/&dirEntry-Id=143147).
  24. Online Water Quality Monitoring in  
Distribution Systems For Water Quali-  
ty Surveillance and Response Systems  
(2018).
  25. Pandey, V. N., Tiwari, N., Pandey, V. S.,  
Rao, A., Das, I. (2019). Targeted drug  
delivery and gene therapy through  
natural biodegradable nanostructures  
in pharmaceuticals,” in *Nanoarchi-  
tectonics in Biomedicine*, Elsevier, pp.  
437–472.
  26. Ructure and Characteristics of Lignin  
(2019). In *Lignin Chemistry and Appli-  
cations*, Elsevier, pp. 25–50.
  27. Zhu, S. *et al.*, “Dissolution of cellulose  
with ionic liquids and its application:  
A mini-review,” *Green Chem.*, vol. 8,  
no. 4, pp. 325–327, Mar. 2006, doi:  
10.1039/b601395c.

## Summary

Engineering High School of Riga  
Technical University students Patrīcija  
Rocēna and Anete Paula Tomiņa in  
their scientific research work study  
the use of spruce needles in the  
manufacture of disposable cups. The  
work was developed in collaboration  
with Virgīnija Vītola and Laura  
Fjodorova from January 20, 2020 to  
December 10, 2020.

The use of environmentally friendly  
materials is becoming more and more  
important in today's society, so the  
work examines and analyses the way  
to create fully usable needle cups.

The strength, chemical composition,  
water solubility and price of various  
possible coniferous cup binders  
are considered, and it is concluded  
which binder is the most suitable for  
making the cups. In the process, water  
samples were analysed to investigate  
what was released into the water  
from needles and cup binder. Water  
analysis and durability of cups were  
tested of the paper cups already sold  
in the markets. At the end of the  
study it was concluded wich are the  
most advantageous materials for the  
production of cups.

# Madara Elza Rudzīte, Jūlia Zilbere

## COVID-19 IZPLATĪBAS LATVIJĀ MATEMĀTISKĀ MODEĻA VEIDOŠANA

### Darba zinātniskie vadītāji

Dr. oec. Valērijs Skribans,  
Mg. sc. educ. Inguna Granta



### Kopsavilkums

*Covid-19* ir elpceļu infekcijas slimība, ko izraisa koronavīrusus SARS-CoV-2. Šis darbs piedāvā *Covid-19* izplatības matemātisko modeli un modelē potenciālos *Covid-19* izplatības scenārijus Latvijā. Šajā darbā izstrādātais modelis piedāvā iedalīt visus iedzīvotājus šādās grupās: iedzīvotāji riska grupā; inficētie; saslimušie; iedzīvotāji ar vakcīnas imunitāti; iedzīvotāji ar pārslimošanas imunitāti. Darbs apkopo statistikas datus, kas ir aktuāli Latvijai 27.12.2021. Izveidotais modelis paredz, ka astoņu mēnešu laikā *Covid-19* Delta paveida izplatība ievērojami samazināsies un sasniegs pastāvīgu līmeni, savukārt *Omicron* izplatība sasniegs savu pīķi divu trīs mēnešu laikā, ievērojami palielinot slodzi slimnīcās. Pēc modeļa rezultātiem var secināt, ka vakcinācijas temps Latvijā šobrīd nav pietiekams, lai apturētu jauno *Covid-19* saslimstības vilni.

### Atslēgvārdi

*Covid-19*, matemātiskā modelēšana, sistēmdinamika, Delta, *Omicron*.



## IEVADS

*Covid-19* ir elpceļu infekcijas slimība, ko izraisa koronavīrusus SARS-CoV-2. Slimība ir īpaši bīstama, jo tā strauji izplatās, inficētajām personām šķaudot vai klepojot, kā arī veseliem cilvēkiem pieskaroties ar vīrusu piesārņotām virsmām. *Covid-19* pirmo



reizi tika konstatēts Uhaņā, Ķīnas Hubei provincē, 2019. gada decembrī, un divu mēnešu laikā izplatījās pa visu pasauli, rezultējot globālā pandēmijā 2020. gada marta sākumā. 2020. gada 20. aprīlī vīruss bija konstatēts jau 184 pasaules valstīs, un inficēto skaits bija sasniedzis gandrīz 2,5 miljonus, no kuriem bija apstiprināti aptuveni 170 tūkstoši nāves gadījumu. Šobrīd, 2021. gada decembrī, *Covid-19* apstiprināto gadījumu skaits pasaulē ir sasniedzis 289,3 miljonus, savukārt mirušo skaits ir gandrīz 5,5 miljoni. Latvijā kopumā apstiprināti 270 tūkstoši *Covid-19* gadījumu, no kuriem vairāk par 4000 ir nāves gadījumu. *Covid-19* pandēmijas mazināšanai ir būtiski ievērot piesardzības pasākumus – masku nēsāšana, roku mazgāšana, sociālā distancēšanās. Lai mazinātu slimības izplatību, no SARS-CoV-2 antigēniem ir radītas vakcīnas pret *Covid-19*.

Viena no izplatītākajām infekcijas slimību pētīšanas metodēm ir matemātiskā modelēšana. Tā palīdz labāk izprast slimību un tās izplatību, kā arī ļauj prognozēt turpmāko slimības izplatības gaitu. Matemātisko modeļu sniegtā informācija par slimību turpmāko izplatību ir būtisks elements, lai varētu laikus reaģēt uz slimības izplatības radīto risku, kā arī izvēlēties efektīvākos izplatības mazināšanas veidus. Patlaban ir radīti vairāki matemātiskie modeļi, kas pēta *Covid-19* izplatību gan pasaulē, gan mazākos izplatības reģionos. Šajā darbā tiek veidots matemātiskais modelis, kas pielāgots *Covid-19* izplatībai Latvijā. Modelī ietvertas tādas galvenās iedzīvotāju grupas kā iedzīvotāji riska grupā, inficētie, saslimušie, kā arī iedzīvotāji ar vakcīnas imunitāti un iedzīvotāji ar pārslimošanas imunitāti.

## Pētījuma mērķis

Izveidot *Covid-19* izplatības matemātisko modeli un, izmantojot pieejamos datus par saslimstību un vakcināciju, modelēt vīrusa izplatību Latvijā.

## Darba uzdevumi

1. Iepazīties ar iepriekš veidotiem *Covid-19* izplatības matemātiskajiem modeļiem.
2. Izveidot *Covid-19* izplatības matemātisko modeli.
3. Savākt *Covid-19* izplatības statistiskos datus.
4. Modelēt *Covid-19* turpmāko izplatību Latvijā.



---

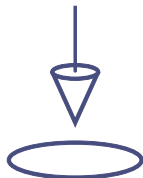
## DARBA METODOLOĢIJA

Šajā darbā izstrādātais sistēmdinamikas modelis piedāvā efektīvāku *Covid-19* modelēšanai uzsvērt tādu faktoru kā imunitāte pret vīrusu, attiecīgi iedalot visus iedzīvotājus šādās grupās: iedzīvotāji riska grupā ( $I_{RC}$ ); inficētie ( $I$ ); saslimušie ( $S$ ); iedzīvotāji ar vakcīnas imunitāti ( $I_V$ ); iedzīvotāji ar pārslimošanas imunitāti ( $I_{SP}$ ).

Iedzīvotāji riska grupā ir tie iedzīvotāji, kam nav imunitātes pret vīrusu. Inficēto grupā ir tie cilvēki, kuri ir inficējušies ar vīrusu, bet viņu saslimšana vēl nav apstiprināta. Saslimušo grupu veido apstiprinātie saslimšanas gadījumi. Iedzīvotāji ar vakcīnas imunitāti un pārslimošanas imunitāti attiecīgi ir tie, kas ir saņēmuši vakcīnu vai izslimojuši

vīrusu. Modelī tiek pieņemts, ka iedzīvotāji ar imunitāti ar vīrusu nesaslimst, kaut gan pēc pēdējiem datiem ar vīrusu var saslimt cilvēki gan ar vakcīnas, gan ar pārslimošanas imunitāti.

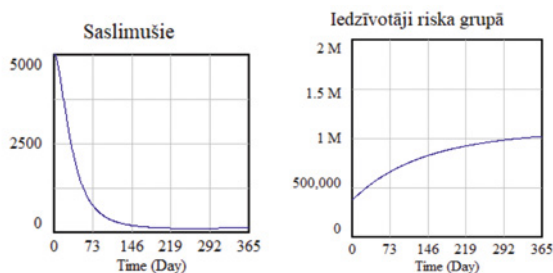
Vīrusa "lipīgums" ir atklāts mainīgajā **relatīvais uzvedības risks** ( $UR_{rel}$ ), ko var norādīt attiecīgi dažādiem *Covid-19* paveidiem. Kopā ar tādiem rādītājiem kā relatīvais kontaktu blīvums un pašizolācijas efektivitāte tika modelēta slimības izplatīšanās.



## PĒTĪJUMA REZULTĀTI

Tika veiktas modeļa simulācijas, kā atskaites brīdi izmantojot 2021. gada 27. decembri, lai modelētu *Covid-19* turpmāko izplatību un salīdzinātu dažādu *Covid-19* paveidu izplatības īpatnības.

Pirmais eksperiments tika veikts, lai atspoguļotu Delta paveida turpmāko izplatību.

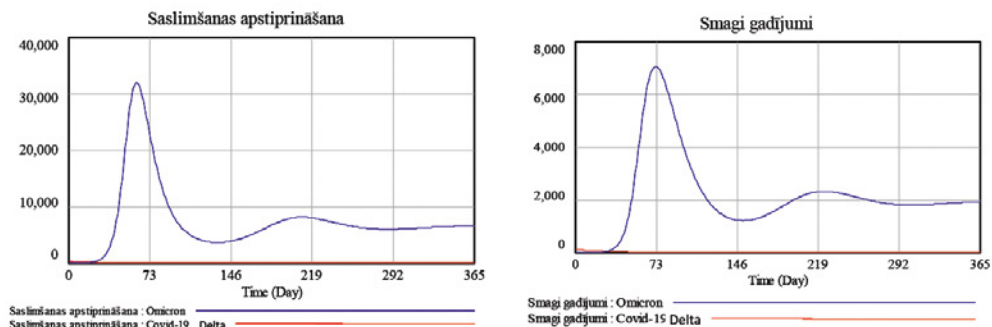


1. attēls. Saslimušo skaits un iedzīvotāju riska grupā skaits Delta izplatības modelētajā scenārijā.

Kā redzams 1. attēlā, saslimušo skaits eksponenciāli samazinās, līdz tas sasniedz ap 100 saslimušajiem, un tad atkal sāk lēnām pieaugt (ap 250. dienu), savukārt iedzīvotāju skaits riska grupā logaritmiski aug. Var secināt, ka vīrusa izplatība tiek samazināta, taču netiek pilnībā apturēta, jo iedzīvotāju skaits riska grupā kļūst ievērojami liels, cilvēkiem zaudējot imunitāti. Tas pamato nepieciešamību steidzamā kārtā veikt revakcināciju jeb t. s. *būstera* devas nepieciešamību.

Otrais eksperiments tika veikts, lai novērtētu *Omicron* paveida potenciālo izplatību Latvijā. Eksperimentā tika pieņemts, ka *Omicron* paveida izplatīšanās ātrums ir trīs reizes lielāks nekā Delta, kā arī iedzīvotāju skaits riska grupā ir trīs reizes lielāks. Par sākuma inficēto skaitu *Omicron* modelēšanas brīdī tika pieņemts 75. Šādā gadījumā *Omicron* saslimšanas pīķi sasniegtu divu mēnešu laikā no simulācijas brīža.

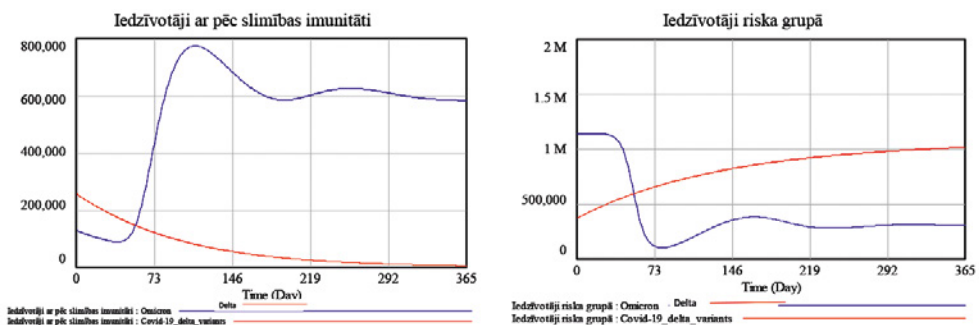
Liels inficēto skaits ievērojami palielinās arī slimnīcu noslodzi, kas savukārt vairāk



2. attēls. *Omicron* izplatīšanās modelēšana.

pasliktinās situāciju. Smago gadījumu skaits varētu sasniegt pīķi ap 70. dienu, kā redzams 2. attēlā.

*Omicron* izplatīšana prasa preventīvu reakciju. Visticamāk, *Omicron* paveida izplatīšanās būtu apturēta pārsvarā dabiskā ceļā, iedzīvotājiem iegūstot pārslimošanas imunitāti, vienlaikus stabilizējoties iedzīvotāju skaitam riska grupā (3. att.).



3. attēls. Dabiskās imunitātes veidošanās *Omicron* apstākļos.

## Atsauces

1. Basnarkov, L. (2021). SEAIR Epidemic spreading model of COVID-19. *Chaos, Solitons and Fractals* 142, 110394.
2. Bekiros, S., Kouloumpou (2020). D. SBDiEM: A new mathematical model of infectious disease dynamics. *Chaos, Solitons and Fractals* 136, 109828.
3. Blumberga A., et al. (2010). Sistēmdinamika vides inženierzinātņu studentiem. *Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts*. 318 lpp.

- Callaway, E., Ledford, H. (2021). How bad is Omicron? What scientists know so far [Online]. Pieejams: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-03614-z>.
4. Cooper, I., Mondal, A. & Antonopoulos, C. G. (2020). A SIR model assumption for the spread of COVID-19 in different communities. *Chaos, Solitons and Fractals* 139, 110057.
  5. Dietz, K., Heesterbeek, J. (2002). Daniel Bernoulli's epidemiological model revisited. *Math. Biosci.* 180, 1–21.
- Doucleff, M. (2021). A tantalizing clue to why omicron is spreading so quickly [Online]. Pieejams: <https://text.npr.org/1064597592>.
- Ekonomikas ministrija (2021). Darba tirgus vidēja un ilgtermiņa prognozēšanas instrumentārija pilnveide [tiešsaiste]. Pieejams: <https://www.em.gov.lv/lv/darba-tirgus-vidēja-un-ilgtermiņa-prognozesanas-instrumentarija-pilnveide>.
- Khan, F., Saeed, A. & Ali, S. (2020). Modelling and forecasting of new cases, deaths and recover cases of COVID-19 by using Vector Autoregressive model in Pakistan. *Chaos, Solitons and Fractals* 140, 110189.
6. Lin, Q. *et al.* (2020). A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan, China with individual reaction and governmental action. *Int. J. Infect. Dis.* 93, 211–216.
  7. Macedo, A., Gonçalves, N., Febrá, C. (2021). COVID-19 fatality rates in hospitalized patients: systematic review and meta-analysis. *Ann. Epidemiol.* 57, 14–21.
  8. Marzouk, M., Elshaboury, N., Abdel-Latif, A. & Azab, S. (2021). Deep learning model for forecasting COVID-19 outbreak in Egypt. *Process Saf. Environ. Prot.* 153, 363–375.
  9. Ndaïrou, F., Area, I., Nieto, J. J., Torres, D. F. M. (2020) Mathematical modeling of COVID-19 transmission dynamics with a case study of Wuhan. *Chaos, Solitons and Fractals*, 135.
  10. Ng, K. Y. & Gui, M. M. (2020) COVID-19: Development of a robust mathematical model and simulation package with consideration for ageing population and time delay for control action and resusceptibility. *Phys. D Nonlinear Phenom.* 411, 132599.
- Oficiālās statistikas portāls (2021). Iedzīvotāju skaits [tiešsaiste]. Pieejams: .
- Our World in Data (2021). Coronavirus Pandemic (COVID-19) – the data [tiešsaiste]. Pieejams: <https://ourworldindata.org/coronavirus-data?country=~LVA>.
- PubMed (2021). COVID-19 Information [tiešsaiste]. Pieejams: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33729203/>.
11. Rahmandad, H., Lim, T. Y., Sterman, J. (2021). Behavioral dynamics of COVID-19: estimating underreporting, multiple waves, and adherence fatigue across 92 nations. *Syst. Dyn. Rev.* 37, 5–31.
- Valsts kanceleja (2021). *Covid-19 aktualitātes, 14.05.2021.* [tiešsaiste]. Pieejams: <https://covid19.gov.lv/covid-19>.
- Valsts kanceleja (2021). Covid-19 izplatība Latvijā [tiešsaiste]. Pieejams: <https://covid19.gov.lv/index.php/covid-19/covid-19-statistika/covid-19-izplatiba-latvija>.
- Valsts kanceleja (2021). Covid-19 vakcinācijas statistika [tiešsaiste]. Pieejams: <https://covid19.gov.lv/covid-19/covid-19-statistika/covid-19-vakcinacijas-statistika>.

## Summary

Covid-19 is a respiratory infectious disease caused by the coronavirus SARS-CoV-2. This Thesis proposes a mathematical model of Covid-19 distribution and predicts potential Covid-19 spread scenarios in Latvia. The model developed in this Thesis suggests dividing the population into the following groups: susceptible, exposed, infected, population with vaccine immunity, and population with immunity after recovery. The work provides a summary of

relevant statistics about Latvia as of 27 December 2021. According to simulations of the developed model, the spread of the Covid-19 Delta variant will decrease and reach a constant level within 8 months, while the Omicron variant will reach its peak within 2–3 months, causing a significant hospital strain. As evidenced by the simulations, the current pace of vaccination in Latvia is not sufficient to stop a new wave of Covid-19 infections.



[www.izv.lv](http://www.izv.lv)