



**RIGA TECHNICAL
UNIVERSITY**

Riga Technical University Rīgas Tehniskās universitātes
63rd Student Conference 63. studentu zinātniskā un
of Applied Science of tehniskā konference

PRODUCTION RAŽOŠANAS ENGINEERING TEHNOLOĢIJA

Riga, Latvia Rīga, Latvija
13 May 2022 2022. gada 13. maijs

ABSTRACT BOOK TĒŽU KRĀJUMS

Section Chair **Sekcijas vadītāja**

Dr. sc. ing. IRĪNA BOIKO, Professor, *Dr. sc. ing. IRĪNA BOIKO, profesore,*
Riga Technical University, Latvia Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Section Vice-Chair **Sekcijas vadītājas vietnieks**

Dr. JUSTINAS GARGASAS, Associated Professor, *Dr. JUSTĪNS GARGASS, asociētais profesors,*
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania Viļņas Ģedimina tehniskā universitāte, Lietuva

RTU 63. studentu zinātniskās konferences sekcija «Ražošanas tehnoloģija».
Tēžu krājums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2022, 69 lpp.

Izdevumā apkopotas RTU 63. studentu zinātniskās un tehniskās konferences sekcijas «Ražošanas tehnoloģija» ziņojumu tēzes.
Konference notika 2022. gada 13. maijā *ZOOM* platformā.

This is the Book of Abstracts of the «Production Engineering»
Section of RTU 63rd Students Scientific Conference.
The conference was held on 13 May 2022, on ZOOM platform.

SATURS

ARTŪRS KOREŅKOVŠ

Fraktālo skrūvspīļu konstruēšana un analīze
The Design and Analysis of Fractal Vises

5

ARTŪRS GRULLIS-DRULLIS

Stikloto fasāžu konstrukcijas materiālu pētīšana
Research of Glazed Facade Construction Materials

7

MIKS GULBIS

3D drukas datorprogrammu salīdzinošā analīze
PLA plastmasas izstrādājumu drukā
Comparative Analysis of 3D Printing Softwares
for Printing PLA Plastic Products

10

EDGARS BUDRECKIS

Izraušanas spēka pētījumi vadu āderuzgāļiem
ar dažādiem presēšanas profiliem
Research of Wire Ferrule Pullout Force
Using Different Crimping Profiles

13

DAGNIJA KROĢERE

Aditīvās ražošanas tehnoloģiju lietojums
supravadoša ciklotrona elektroda remontam
Additive Manufacturing Applications for Repair
of Superconducting Cyclotron Electrode

16

ANTONS ORLOVS

Automatizēta mašīnmācīšanās un tradicionālu
mašīnmācīšanās metožu efektivitātes salīdzināšana,
izmantojot modeli, kas paredz elektromotora gultņu defektus
Evaluation the Effectiveness of Auto Machine Learning and
Traditional Machine Learning Methods Using a Model
that Predicts Electric Motor Bearing Defects

20

OSKARS MIKANOVSKIS

Nerūsējošā tērauda AISI 316L virsmas raupjuma ietekme
uz nātrija kontakta pretestību šķidro metālu iekārtās
Influence of Stainless Steel AISI 316L Surface Roughness
on Sodium Contact Resistance in Liquid Metal Equipment

25

KRISTENS RAŠČEVSKIS

PolyJet 3D drukas tehnoloģiskā procesa mazgāšanas ilguma
ietekme uz drukāto detaļu stiepes stiprību
Influence of Technological Washing Time on Tensile Strength
of PolyJet 3D Printed Parts

32

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

EMĪLS ABRICKIS

Termoelektrostaciju iekārtu defektu klasifikācijas sistēmas izstrāde
un tās lietošana defektu cēloņu novērtēšanai

Development of Power Plant Equipment Defect Classification System
and its Application in Assessment of the Defects Causes

36

ROBERTS POSTS

Siltuma ietekme uz hidraulisko sistēmu efektivitāti kravas kuģos

Heat Effects on Hydraulic System Efficiency on Cargo Ships

39

JURIS MASKAĻONOKS

Dabasgāzes un biogāzes ietekmē uz katla lietderības koeficientu
un ekonomiskajiem rādītājiem

Effect of Natural Gas and Biogas on Boiler Efficiency
and Economic Rates

43

MARKS KUBANOVŠ

Bivalenta apkures sistēma

Bivalent Heating System

50

KIRILS MIŠUROVS

Ar ūdeņradi bagātinātas dabasgāzes sadedzināšana gāzes katlos,
modelēšana un analīze, dekarbonizācijas perspektīva

Combustion of Hydrogen-enriched Natural Gas in Gas Boilers,
Modelling and Analysis, Prospects for Decarbonisation

54

FILIPS KUKŠINOVŠ

Siltumcentrāles "Ziepniekkalns" ūdeņraža ražošanas,
uzglabāšanas un izmantošanas iespējas

Possibilities of Hydrogen Production, Storage and
Use of the Heat Plant "Ziepniekkalns"

61

KRISTIS KUČINSKIS

Šķeldas fizikālo raksturlielumu noteikšana un to ietekme
uz biokurināmā udenssildāmā katla darbību

Determination of Physical Characteristics of Wood Chips and
their Influence on the Operation of a Biofuel Water Heating Boiler

65

FRAKTĀLO SKRŪVSPĪĻU KONSTRUĒŠANA UN ANĀLĪZE

THE DESIGN AND ANALYSIS OF FRACTAL VISES

ARTŪRS KOREŅKOVS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Mašīnbūves un mehatronikas katedra, maģistra programmas 2. studiju gads
Darba vadītājs asoc. profesors *Dr. sc. ing.* Artis Kromanis

Ievads

Maģistra darbs veltīts fraktālo skrūvspīļu [1] īpatnību pētīšanai. Darbā noteikti galvenie pētījumu virzieni: zinātnisko publikāciju un pētījumu [2, 3] analīze, fraktālo skrūvspīļu kustības analīze, salīdzinošā analīze ar konvencionālām skrūvspīlēm, mehāniskās izturības analīze.

Mērķis

Pētījums veikts, lai noteiktu fraktālo skrūvspīļu priekšrocības un trūkumus, konstrukciju ierobežojumus un iespējamo lietojuma loku.

Materiāli un metodes

Pētījuma gaitā definēti fraktālo skrūvspīļu elementu konstruēšanas nosacījumi, *SolidWorks* datorprogrammas vidē izstrādāti trīs fraktālo skrūvspīļu trīsdimensionālie modeļi ar atšķirīgiem konstruktīviem risinājumiem. *AutoCAD* datorprogrammas vidē izveidotas izstrādāto fraktālo skrūvspīļu modeļu galējo pozīciju skices kustību analīzes veikšanai.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

Pētītas kontaktvirsmju pārvietošanas trajektorijas un rotācijas tipa detaļas iespīlēšanas gadījums. Veicot mehāniskās izturības analīzi, mākoņskaitļošanas servisa *SimScale* vidē un simulēšanas datorprogrammu *SolidWorks Simulation* vidē izstrādāto trīsdimensionālo skrūvspīļu modeļu elementi pakļauti simulētai slodzei [4].

Izmantojot 3D printēšanu, izveidoti daži fraktālo skrūvspīļu modeļu elementu prototipi.

Rezultāti

Izvirzītā hipotēze: fraktālās skrūvspīlēs nodrošina lielāko kontakta virsmas laukumu.

Izvirzītā hipotēze ir patiesa attiecīgo kustīgo elementu kombinācijās, kurās nosaka fraktālo skrūvspīļu lietošanas loku.

Atsauces

1. Paulin Karl Kunze, Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape, patent US68528812A, 1913.
2. Shrikant M. Chougule, prof. D.B. Waghmare, Design & manufacturing of components of modified bench vise on rapid prototype machine, ISSN 2319-4847, Volume 4, 2015.
3. P. Sivasankaran, Design and analysis of modular fixture for machine vise, ISSN 2249-4219, Volume 8, 2018.
4. Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Справочник технолога-машиностроителя, т. 2, Машиностроение, 1985.

Summary

The main goal of the Master's Thesis is to study the features of fractal vises [1]. There are 4 main directions of the study – scientific publication analysis [2], [3], kinematic analysis, comparison with a conventional vise, and FEA analysis of mechanical properties.

As a part of study three 3D models of fractal vise were developed using SolidWorks software. The kinematic movements of the parts of fractal vises were represented in drawings, which were produced using AutoCAD software. The mechanical properties of constructed 3d models of fractal vises were tested during sessions of load simulation [4] FEM tests, using cloud-based service SimScale and SolidWorks Simulation software.

STIKLOTO FASĀŽU KONSTRUKCIJAS MATERIĀLU PĒTĪŠANA

RESEARCH OF GLAZED FACADE CONSTRUCTION
MATERIALS

ARTŪRS GRULLIS-DRULLIS

RTU MTAf Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Mašīnbūves un mehatronikas katedra, 2. studiju gads
Darba vadītājs docents *Dr. sc. ing.* Dmitrijs Ļitvinovs

Ievads

Būvniecībā ar katru gadu arvien populārākas kļūst stiklotās konstrukcijas, īpaši – stiklotās fasādes. Ja kādreiz tas bija vērojams tikai debesskrāpjos un milzīgās ēkās, tad mūsdienās tas ir novērojams arī dzīvojamās mājās. Stiklotajām fasādēm ir daudz priekšrocību gan no arhitektūras, gan būvniecības viedokļa. Pateicoties mūsdienu modernajai ražošanai, stikla fasādes ir ne tikai stilistisks rīks būvniecībā, bet arī praktisks. Stikloto konstrukciju risinājumiem ir daudz priekšrocību, piemēram, energo-efektivitāte, gaismas caurlaidība un skaņas izolācija. Proti, neviena stiklotā fasāžu konstrukcija nav domāta, lai uzturētu ēkas konstrukcijas slodzi, tas ir tikai fasādes dizaina elements. Pārsvarā stiklotās konstrukcijas tiek veidotas no alumīnija, tērauda, vara, plastmasas un koka. Mēdz būt arī miksētas konstrukcijas. Ņemot to vērā, ir ļoti svarīgi zināt, kāds materiāls labāk atbilst konkrētajai konstrukcijai.

Mērķis un uzdevumi

Projektējot šīs konstrukcijas, bieži rodas jautājums, kāds materiāls tiek lietots un kāds ir atbilstošākais šādām konstrukcijām. Darba mērķis ir salīdzināt metālisko materiālu izvēli statu-rīgeļu stikloto fasāžu sistēmām, salīdzināt dažādu materiālu izvēles ietekmi uz konstrukciju pēc slogošanas, kā arī vispārēju piemērotību funkcijas pildīšanai, ņemot vērā dažādus aspektus.

Darba uzdevumi

1. Statu-rīgeļu sistēmas profilu apskats.
2. *ISO* standartu analīze.
3. Sistēmas aprēķinu apskats.
4. Metāla profilu ražošanas tehnoloģijas apskats.
5. Metāla īpašību salīdzināšana.
6. Konstruktijas slodzes simulācija *SolidWorks* vidē.
7. Rezultātu analīze un secinājumi.

Darba gaita vai metodoloģija

Darba gaitā veikts pētījums, kurā apskatīta statu-rīgeļu sistēma, aprēķini, kas tiek veikti pirms profilu izvēles, sistēmas lietojums un profilu ražošanas tehnoloģija. Aprakstīti un salīdzināti alumīnija, vara un tērauda sakausējumi, to īpašības. Apskatīti *ISO* standarti, kas attiecas uz stiklotajām konstrukcijām un dažādu slodžu ietekmi uz to. Veiktas konstrukciju simulācijas *SolidWorks* vidē. Izmantojot noteikta šķērsriezuma profilus un pēc konkrētiem izmēriem uzkonstruētu konstrukciju, veikta sloģošana ar vēja un pildījuma, kas šeit ir stikls, slodzēm. Pētījumā izmantoti vieni un tie paši profili un konstrukcija, mainīts ir tikai materiāls. Tādā veidā var redzēt slodzes ietekmi uz dažādu materiālu profilu sistēmu.

Rezultāti

Ņemot vērā pētījuma rezultātus, kuros tika veiktas dažādu materiālu sloģošanas, var secināt, ka vismazāk deformācijai padodās tērauds, pēc tam – vara sakausējums, tad – alumīnijs. Par piemēru ņemot tēraudu (*316L*), alumīniju (*6063-T5*) un varu (*C22000*), lielākā izliece konkrētās konstrukcijas vājākā punktā bija šāda: tēraudam – 0,731 mm, alumīnijam 2,118 mm, varam – 1,266 mm. Pēc rezultātiem var secināt, ka tērauds ir vispiemērotākais materiāls konstrukcijai no sloģošanas skatpunkta, taču, izvēloties piemērotāko materiālu statu-rīgeļu stikloto sistēmu konstrukcijām, ir jāņem vērā arī daudzas citas nianšes.

Summary

Research of glazed facade construction materials. In modern architecture curtain wall systems are very popular from both architectural and construction point of view. Thanks to modern production, glass facades are not only stylistic tool in construction, but also practical. Glazed construction solutions have many advantages, such as energy efficiency, light transmission and sound insulation. No glazed facade structure is intended to support the load of the building; it is only a design element for the façade. Glazed structures are usually made from materials like – aluminium, steel, copper, plastic and wood. There are also mixed constructions. The aim is to compare metallic materials for static load (wind and glass weight). Metallic material alloy properties are described and compared. Structural simulations in SOLIDWORKS environment are performed using profiles of a certain cross-section and constructed structure according to certain dimensions. The same profiles and construction are used in all study, only the material is changed. In this way you can see the effect of change in material. After simulations of different materials, the conclusion is, that steel is the most suitable from load bearing point of view.

3D DRUKAS DATORPROGRAMMU SALĪDZINOŠĀ ANALĪZE PLA PLASTMASAS IZSTRĀDĀJUMU DRUKĀ

COMPARATIVE ANALYSIS OF 3D PRINTING SOFTWARES
FOR PRINTING PLA PLASTIC PRODUCTS

MIKS GULBIS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Mašīnbūves un mehatronikas katedra, maģistra studiju 2. studiju gads
Darba vadītāja profesore *Dr. sc. ing.* Irīna Boiko

Ievads

FDM (Fused Deposition Modeling) jeb uzkausējošā modelēšana ir viens no vairākiem aditīvās ražošanas veidiem. Pēdējos gados *FDM* guvusi plašu popularitāti, visbiežāk kā izejmateriālu izmantojot *PLA (Polylactic Acid)* plastmasu. *FDM* procesā ir vairāki parametri, kas ietekmē izstrādājuma kvalitāti, parametrus iespējams mainīt datorprogrammā, kas sagatavo G kodu *FDM* iekārtai [1]. Ir pieejami daudzi pētījumi par atsevišķu parametru ietekmi uz galaproduktu, tomēr datorprogrammas izvēles nozīmīgums izvērtēts reti.

Mērķis

Salīdzinot *FDM* drukas datorprogrammas, atrast piemērotāko darbam ar *PLA* plastmasām, ņemot vērā izstrādājuma virsmas raupjumu, formas un izmēru atbilstību, kā arī drukāšanas laiku un materiāla apjomu.

Mērķa sasniegšanai nepieciešams veikt literatūras analīzi, objektīvi salīdzināt datorprogrammas un testa artefaktu atbilstību digitālajam modelim. Apkopot iegūtos datus un sniegt rekomendācijas *PLA* plastmasu izstrādājumu izgatavošanai, izmantojot *FDM* procesu.

Materiāli un metodes

Apkopojot pieejamo pētījumu datus par *FDM* procesiem, secināts, ka ir veikti vairāki pētījumi par *FDM* procesa drukāšanas parametru ietekmi galvenokārt uz *PLA* plastmasas izstrādājumiem un to kvalitāti, tomēr pētījumos nav uzsvērts izmantotās datorprogrammas nozīmīgums. Balstoties uz šo informāciju, izvirzīta hipotēze: *FDM* drukas datorprogramma ietekmē *PLA* plastmasu izstrādājumu kvalitāti, drukāšanas laiku un patērētā materiāla apjomu.

Lietotājiem pieejams plašs drukas datorprogrammu klāsts, lielu popularitāti un atzinību ieguvušas šādas programmas: *Ultimaker Cura*, *PrusaSlicer* (brīvas piekļuves) un *Simplify3D* (maksas) [4]. Izmantojot šīs datorprogrammas, ar *Ender 3 FDM* iekārtu tiek drukāti testa modeļi un izvērtēta to kvalitāte un atbilstība digitālajam modelim [2, 3]. Plānots veikt virsmas raupjuma mērījumus, kā arī, izmantojot *CMM* darbagaldu, izvērtēt precizitāti un izmēru atbilstību. Izvērtējot iegūto informāciju, sniegt rekomendācijas par datorprogrammas izvēli.

Rezultāti

Līdz šim ir sekmīgi veikta informācijas analīze un izveidota teorētiskā bāze pētījuma metodikai. Iepriekš pieminētās datorprogrammas nodrošina parametru profilus izplatītākajām *FDM* iekārtām un materiāliem, vienkāršu darba plūsmu, citu lietotāju un programmas veidotāju atbalstu, kā arī plašas drukas parametru rediģēšanas iespējas. Patlaban tiek izgatavoti testa modeļi, lai pēc iespējas drīzāk veiktu mērījumus un sagatavotu rezultātus.

Atsauces

1. A review article on FDM process parameters in 3D printing for composite materials [tiešsaiste] [skatīts 11.05.2022] Pieejams: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322010252>.
2. Benchmarking of FDM Machines through Part Quality Using IT Grades [tiešsaiste] [skatīts 11.05.2022] Pieejams: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115011543>.
3. Using the Autodesk FDM 3D printer Assessment [tiešsaiste] [skatīts 11.05.2022] Pieejams: <https://github.com/kickstarter/kickstarter-autodesk-3d>.
4. The best 3D Printer Slicer software of 2021 [tiešsaiste] [skatīts 11.05.2022] Pieejams: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>.

Summary

Fused deposition modeling is one of several types of additive manufacturing. In recent years, FDM has gained widespread popularity most commonly using PLA (Polylactic Acid) as filament. There are multiple studies available on FDM process parameter influence on quality of the product, but importance of FDM software has rarely been assessed. The aim of the Thesis is to study the influence of FDM software on final product surface roughness, form and size deviation, as well as the printing time and amount of material used. Software's like Ultimaker Cura, PusaSlicer and Simplify3D provide profiles for the most common FDM equipment and filaments, a simple workflow, support and extensive printing parameter editing capabilities. The author will produce test artefacts using Ender 3 FDM printer and each of the above-mentioned software. The manufactured test artefacts will be evaluated using CMM machine. Results of this study will be summarized, and recommendations will be proposed.

IZRAUŠANAS SPĒKA PĒTĪJUMI VADU ĀDERUZGAĻIEM AR DAŽĀDIEM PRESĒŠANAS PROFILIEM

RESEARCH OF WIRE FERRULE PULLOUT FORCE
USING DIFFERENT CRIMPING PROFILES

EDGARS BUDRECKIS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Mašīnbūves un mehatronikas katedra, maģistra studiju 2. studiju gads
Darba vadītājs docents *Dr. sc. ing.* Dmitrijs Ļitvinovs

Ievads

Automatizētas līnijas tiek projektētas tā, lai tās darbotos daudzus gadus vai pat daudzus gadu desmitus. Lai šādu ilgmūžību nodrošinātu, elektroietais savienojumiem ir jābūt nevainojamiem. Lai iegūtu šādus nevainojamus kontaktus, ir svarīgi izpētīt, kurš vadu āderuzgaļu saspiešanas profils ir visuzticamākais un kurš nodrošina vislabāko mehānisko un elektrisko kontaktu. Šī maģistra darba gaitā tika veikts dažādu āderuzgaļu presēšanas profilu salīdzinājums, izmantojot jaunākās paaudzes mērinstrumentus, kas atbilst starptautisko standartu prasībām. Starptautiskie standarti nosaka, pie kāda izraušanas spēka drīkst sagrūt savienojums starp āderuzgali un elektrisko vadītāju. Lai arī visbiežāk instrumentu radītais spēks un iespiestais profils āderuzgalī ir atbilstošs prasībām, praksē ir gadījumi, kad vads āderuzgalī neturas pietiekami stingri, lai arī vizuāli savienojums izskatās atbilstoši apstrādāts. Instrumentu ražotāji vadu savienojumiem izmanto dažādus presēšanas profilus. Nav skaidrs, kurš no profiliem tiek izmantots noteiktajā situācijā un kādu presēšanas profilu būtu vislietderīgāk izmantot. Šī informācija sniegtu atbildes dažādās situācijās, kad nav iespējams izmantot ražotāju piedāvāto āderuzgaļu un vadu kombināciju.

Mērķis

Darba mērķis ir veikt pētījumu par dažādu industrijā sastopamu vadu āderuzgaļu presēšanas profilu formu ietekmi uz vada izraušanas spēku. Iegūtie rezultāti sniedz iespēju izvēlēties visefektīvāko vadu sagatavošanas metodi. Lai šo mērķi sasniegtu, noteikti vairāki darba uzdevumi.

1. Salīdzināt un apskatīt populārākos āderuzgaļu presēšanas profilus.
2. Veikt izraušanas spēka pārbaudes āderuzgaļiem ar dažādiem presēšanas profiliem.
3. Aprakstīt un apkopot veikto pārbaūžu rezultātus.

Materiāli un metodes

Lai veiktu nepieciešamo izpēti, sagatavoti vadu un āderuzgaļu paraugi. Pētījumā izvēlēti trapeces, kvadrāta un sešstūra āderuzgaļu saspiešanas profili. Izvēlēti vadi ar šķērsriezuma laukumu no $0,75 \text{ mm}^2$ līdz 6 mm^2 , jo mūsdienu industriālo elektroietaišu ražošanā vadītāji ar šādu šķērsriezuma laukumu veido lielāko procentuālo daļu no visiem vadiem. Izvēlēti vadi ar marķējumu *H07Z-K*, vadu āderuzgaļi ar garumu no 6 mm līdz 18 mm. Eksperimentālajā daļā veikti trīs maksimālā izraušanas spēka testi katram no paraugiem. Kopā veikti 186 izraušanas spēka testi. Lai nepaļautos tikai uz izraušanas spēka rādījumiem, veikta vizuāla paraugu šķērsriezuma profilu apskate un analīze, izmantojot digitālo mikroskopu. Apkopotie dati salīdzināti un analizēti, izmantojot programmatūru *Microsoft PowerBi*, iegūstot vizuālus un pārskatāmus grafikus, ar kuriem vieglāk iegūt sakarības starp āderuzgaļu profila ietekmi uz izraušanas spēku.

Rezultāti

Iegūtie dati rāda, ka visi paraugi atbilst *IEC 60999-1/2* standartā noteiktajām prasībām, kas attiecas uz izraušanas spēku. Taču, apskatot pētījuma rezultātus tuvāk, secināts, ka visuzticamākais un ilgmūžīgākais āderuzgaļu profils ir trapeces formas profils. Apskatot mikroskopā dažādos šķērsriezuma profilus, var redzēt, ka tieši šim profilam pēc tā montāžas starp vadītāja dzīslām rodas vismazākās gaisa spraugas un vislielākās vadītāju deformācijas, kas palīdz sagraut vara oksīda kārtiņu, nodrošinot ilgmūžīgu elektrisko savienojumu ar mazāko elektrisko pretestību. Novērots, ka, lai arī visi paraugi izturēja pārbaudes, kvadrāta un sešstūra formas āderuzgaļiem veidojas palielinātas gaisa spraugas vai nevēlamas deformācijas, kas skaidrojams ar pārlieku agresīvo ģeometrijas izmaiņu āderuzgalim pēc tā saspiešanas.

Atsauces

1. Āderuzgaļu priekšrocības. / Internets, skatīts 31.03.2022. - <https://dammdc.phoenixcontact.com/asset/156443151564/3518fd35347bc477bc23aaef7e7bc16e/7904.pdf>.
2. Āderuzgaļa presēšana. / Internets, skatīts 31.03.2022. -<https://cdn.shopify.com/s/files/1/0421/6258/5759/products/ferrule-crimping-toolknoweasy-terminal-crimping-tool-and-wire-ferrule-crimper-used-for-025-60mm2awg23-10-140972.jpg?v=1627458004>.
3. Pasmēness formas āderuzgaļa profils un presēšanas matrica. / Internets, skatīts 10.03.2022. <http://www.crimper.com/>.
4. Trapecveida āderuzgaļa profils. / Internets, skatīts 10.04.2022. / <https://www.yumpu.com/en/document/read/26065143/weidmuller-cable-crimping-tools>.
5. Kvadrāta formas āderuzgaļa profils. / Internets, skatīts 10.04.2022. / https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pi?1dmy&urile=wcm:path:/pien/web/main/products/subcategory_pages/Tools_P-25/ff2f2d96-ef54-4f45-93fd-cb797815a76f/ff2f2d96-ef54-4f45-93fd-cb797815a76f.
6. Vadu marķējumu nozīme / Internets, skatīts 21.04.2022. / <https://www.awcwire.com/allied-university/informatic/h07v-k-and-h05v-k-cable>.

Summary

Within the framework of the Master's Thesis, a comparison of different press profiles of wire ferrules was made using the latest generatio ferrules develop increased air gaps or undesired deformations, which can be explained by too aggressive changes in the geometry of the ferrule profile after compression.

ADITĪVĀS RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJU LIETOJUMS SUPRAVADOŠĀ CIKLOTRONA ELEKTRODA REMONTAM

ADDITIVE MANUFACTURING APPLICATIONS FOR REPAIR OF
SUPERCONDUCTING CYCLOTRON ELECTRODE

DAGNIJA KROĢERE

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Mašīnbūves un mehatronikas katedra, maģistra studiju 2. studiju gads
Darba vadītāji: profesors *Dr. sc. ing.* Toms Torims, *Dr. sc. ing.* Andris Ratkus

Ievads

Eiropas Savienības inovāciju un pētniecības programma “Apvārsnis 2020” ir finansējusi projektu “Inovāciju veicināšana paātrinātāju zinātnēs un tehnoloģijās” (*I. FAST*). Viens no projekta uzdevumiem ir noteikt aditīvās ražošanas stratēģijas, ko var izmantot daļiņu paātrinātāju detaļu remontam. Termins “aditīvā ražošana” (*AM*) bieži tiek lietots kā sinonīms terminam 3D printēšana un apzīmē tehnoloģiju kopumu, kurā materiāli tiek selektīvi uzklāti slāni pa slānim, līdz trīsdimensiju objekts atbilst tā digitālajam modelim. Pagaidām aditīvās ražošanas tehnoloģija daļiņu paātrinātāju detaļu remontam tiek izmantota minimāli atšķirībā no autobūves un aeronautikas nozarēm, kas to jau lieto, cenšoties uzlabot savu produktu ilgtspēju.

Sadarbībā Eiropas kodolpētījumu organizāciju (*CERN*), Milānas Politehnisko universitāti un Fraunhofera Materiālu un staru tehnoloģiju institūtu izstrādāts maģistra darbs, kurā veikts supravadoša ciklotrona elektroda remonts.

Mērķis

Darba mērķis ir atrast metāla aditīvās ražošanas metodes un stratēģijas, ko var izmantot paātrinātāju detaļu remontam, un veikt supravadoša ciklotrona elektroda remontu, kā arī sniegt tiešu ieguldījumu *I. FAST* projekta uzdevuma 10.3 “Paātrinātāju detaļu atjaunošana ar aditīvās ražošanas tehnoloģijām” izpildē.

Materiāli un metodes

Darba gaita

1. Tantalā elektroda ekspluatācijas īpašību un remonta nepieciešamības apraksts.
2. Elektroda bojājumu analīze pirms remonta procesa, lai paredzētu jebkādas remonta procesa sarežģījumus un izlemtu par labāko remonta metodi, lietojot 3D lāzerskenēšanas, mikrostruktūras analīzes, skenējošās elektronu mikroskopijas un spektroskopijas metodes.
3. Iespējamo remonta tehnoloģiju izpēte, lai izlemtu, kura no visām metāla aditīvās ražošanas metodēm ir vispiemērotākā šim gadījumam.
4. Remonta stratēģiju izpēte, lai izplānotu iespējamās remonta scenārijus.
5. Sākotnējie testi ar tantalā atgriezumiem, lai pārlicinātos par iepriekš aprakstīto stratēģiju izpildes iespējamību un noteiktu labākos iespējamās tehnoloģiskā procesa parametrus.
6. Tantalā elektrodu remonts, pamatojoties uz iepriekšējās nodaļās iegūtajām zināšanām.

Rezultāti

Secināts, ka dažādās industrijās detaļu remontam izmanto tikai virzītas enerģijas uzklāšanas (angļu val. – *directed energy deposition* jeb *DED*), aukstās izsmidzināšanas aditīvās ražošanas (angļu val. – *cold spray additive manufacturing*), pulvera gultas sakausēšana (angļu val. – *powder bed fusion*) un berzes metināšanas aditīvās ražošanas procesus (angļu val. – *friction stir additive manufacturing*). No tiem virzītas enerģijas uzklāšana tiek izmantota vairumā gadījumu, jo ir daudzpusīga un pieejama tehnoloģija, tāpēc izvēlēta arī ciklotrona elektrodu remontam. Precīzāk, tiks izmantota lāzeruzkausēšana ar stiepli un lāzeruzkausēšana ar pulveri.

Elektroda bojāto daļu iespējams atjaunot, lietojot vairākas stratēģijas. Dažas no tām ir, piemēram, pilnībā nozāģējot bojāto daļu (1. att.) un izgatavojot jaunu vai veicot daļēju atjaunošanu, aizpildot tikai lielākos krāterus. Pilna elektroda galvas pārbūve ar *DED* tehnoloģijām nav iespējama izvēlēto tehnoloģisko procesu specifikas un tantalā parauga īpašību dēļ. Daļēja elektroda galvas atjaunošanu var veikt divējādi – lāzeruzkausēšanas ar pulveri gadījumā, uzklājot trīs koncentriskus apļus vai viena punkta uzklāšanu, izmantojot lāzeruzkausēšanu ar stiepli.

Abās stratēģijās elektroda krāteri ir aizpildīti, veidojot kupola formas virsmu (2. att.), kas varētu paildzināt elektrodu kalpošanas ilgumu, pretējā gadījumā kupolus var nolīdzināt ar mehāniskās apstrādes metodēm.

Turpmākais virziens šajā pētniecības jomā ir izpētīt remontēto elektrodu īpašības darba apstākļos.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA



1. att. Bojāti elektrodi.



2. att. Atjaunotie elektrodi, izmantojot lāzeruzkausēšanu ar stiepli (kreisajā pusē) un ar pulveri (labajā pusē).

Atsauces

1. «Additive Manufacturing Glossary,» [Tiešsaiste]. Pieejams: <https://www.sme.org/technologies/additive-manufacturing-glossary/>. [Skatīts 11. 02. 2022].
2. Enabling Technologies for Industry 5.0. Results of a workshop with Europe's technology leaders, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.
3. «Advanced manufacturing,» [Tiešsaiste]. Pieejams: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies/advanced-manufacturing_en. [Skatīts 02. 02. 2022].
4. 2020 Update Of The European Strategy For Particle Physics, European Strategy Group, 2020.
5. «About I.FAST,» [Tiešsaiste]. Pieejams: <https://ifast-project.eu/about>. [Skatīts 20. 12. 2022].

Summary

This paper describes repair of internal cold cathode Penning ionization gauge ion source of superconducting cyclotron tantalum electrode. From the discussion on repair technologies, repair strategies and preliminary repair tests, the following conclusions about electrode repairs have been made: 1) full electrode head rebuild is not feasible with DED technologies due to specifics of chosen technological processes and properties of tantalum sample; 2) partial electrode head rebuild is to be carried out in two ways – concentric circle strategy for powder DED and single dot strategy for wire DED.

In both strategies of partial electrode head rebuild, electrode craters have been filled with additional dome shape on top, which could be removed with mechanical means if necessary. It must be noted that powder process repair for very damaged electrodes with large craters is a very challenging process, as electrode tip deformation has been observed during repair.

The way forward for this line of research is to investigate the repaired electrode behavior in working conditions. The next step in repair process could be not only restoration but also improvement. There are also ideas about adding material during repair to modify tip shape for better erosion characteristics.

AUTOMATIZĒTA MAŠĪNMĀCĪŠANĀS UN TRADICIONĀLU MAŠĪNMĀCĪŠANĀS METOŽU EFEKTIVITĀTES SALĪDZINĀŠANA, IZMANTOJOT MODELI, KAS PAREDZ ELEKTROMOTORA GULTŅU DEFEKTUS

EVALUATION THE EFFECTIVENESS OF AUTO MACHINE
LEARNING AND TRADITIONAL MACHINE LEARNING
METHODS USING A MODEL THAT PREDICTS ELECTRIC
MOTOR BEARING DEFECTS

ANTONS ORLOVS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Mašīnbūves un mehatronikas katedra, maģistra studiju 2. studiju gads

Darba vadītāji: profesors *Dr. sc. ing.* Toms Torims,
zinātniskais asistents *Mg. sc. ing.* Jānis Vilcāns

Ievads

Plānotajā apkopē izmanto mašīnmācīšanās rīkus, lai varētu paredzēt iekārtas bojājumus, pirms tie notiek. Mašīnmācīšanās (angļu val. – *Machine Learning*; *ML*) algoritmu popularitāte strauji aug mākoņdatu integrēto risinājumu dēļ. *ML* balstītās kļūdu diagnostikas metodes ir sasniegušas nozīmīgus rezultātus [1]. Tomēr lielākā daļa no šīm diagnostikas metodēm nav atrisinājušas vienu no galvenajām problēmām – gultņu diagnostiku reālajā vidē. Izstrādāt efektīvus algoritmus, kas var tikt galā ar datu trūkumu, kļūst par būtisku problēmu [2]. Industriālās nozares iekārtu sistēmas nevar strādāt ar defektiem, it īpaši tas attiecas uz kritiski nozīmīgām sistēmām. Lielākā daļa gultņu defektu attīstība notiek lēni, līdz ar to datu vākšanas process var ilgt mēnešiem vai pat gadiem. Dažādi iekārtas darba apstākļi apgrūtina datu vākšanas procesu katram defekta veidam. Automatizēta mašīnmācīšanās (angļu val. – *Automated machine learning*; *AutoML*) ir viena no perspektīvākajām pieejam vienkāršāku risinājumu iegūšanai, jo ir iespējama ātrāka modeļu izveide, kas bieži pārspēj manuāli veidotus modeļus. Salīdzinot ar tradicionāliem *ML* rīkiem, *AutoML* nav nepieciešams liels datu apjoms. Tās funkcijas un saskarne ir pielāgota un pieejama cilvēkiem bez programmēšanas iemaņām.

Mērķis un uzdevumi

Pētījuma mērķis

Izmantojot mašīnmācīšanās rīkus modelā izveidē, kas paredz gultņu defektus, kā arī salīdzināt *AutoML* un tradicionālu metožu efektivitāti.

Uzdevumi mērķa sasniegšanai

1. Veikt zinātniskās literatūras analīzi un rīku pārskatu iekārtu apkopē.
2. Veikt vibrodiagnostikas mērījumus ražošanas iekārtai dažādos ātrumos.
3. Apstrādāt datus, izmantojot *SKF Enlight* programmatūru.
4. Izveidot *ML* modeli, izmantojot *Random forest* un *K-nearest Neighbour* klasifikācijas algoritmus.
5. Izveidot *AutoML* modeli, izmantojot automatizācijas platformas resursus.
6. Salīdzināt *ML* un *AutoML* izveidotu modeļu efektivitāti, kas paredz gultņu defektus.

Materiāli un metodes

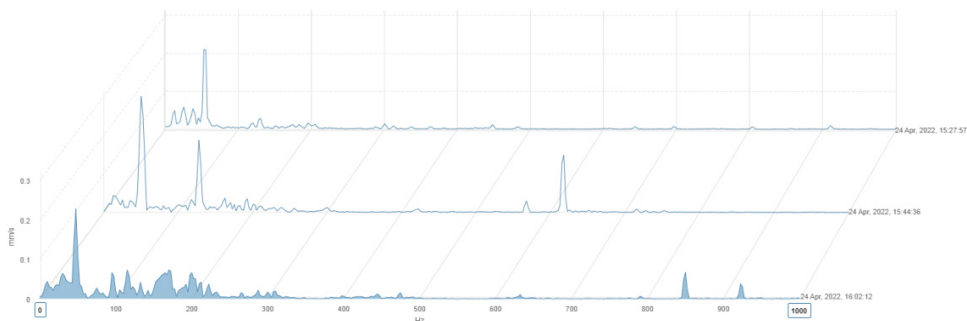
Vibrodiagnostikas mērījumi tika veikti gofrēta kartona ražošanas līnijas galvenās piedziņas elektromotoram (*Lenze*) ar jaudu 150 kW (1. att.). Kā vibrācijas mērīšanas ierīce izmantota “*SKF QuickCollect*” sensors, kas savienots ar *SKF Enlight* datu apstrādes programmu.



1. att. *Lenze* piedziņas elektromotors ar uzstādītu “*SKF Enlight*” vibrācijas sensoru.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

Pirms eksperimenta tika veikti sagatavošanas darbi, kas ietvēra siksas spriegojuma pārbaudes piedziņas un ventilatora pusē ar siksas spriegojuma mērītāju. Iegūtās vērtības tika salīdzinātas ar apkopes grāmatā aprakstītām vērtībām. Tas tika darīts, lai vibrācijas dati būtu pēc iespējas precīzāki. Vibrācijas mērīšanas punktiem tika noņemta krāsa, un virsma izlīdzināta ar smalko smilšpapīru. Izveidots mērījuma maršruts *SKF Enlight* programmā (kopā pieci mērīšanas punkti vertikālā, horizontālā, aksiālā virzienā). Līdzīgi darba apstākļi tika nodrošināti ar darbību bez gofrēta kartona (tukšgaitā). Mērījumi veikti trīs dažādos ražošanas ātrumos – 50 m/s, 100 m/s, 150 m/s. Atsevišķs mērījums 280 m/s ātrumā ar gofrētu kartonu tika veikts ražošanas laikā. Iegūtie dati vispirms tika apstrādāti un atspoguļoti *SKF Enlight* programmā (2. att.), tālākā darba gaitā, izmantojot *Visual Studio Code* redaktoru, sašķiroti un sagatavoti mašīnmācīšanas *Random forest* un *K-nearest Neighbour* metodēm.



2. att. Vibrācijas datu atspoguļojums dažādos ražošanas ātrumos – 50 m/s, 100 m/s, 150 m/s.

No visiem iegūtiem datiem 80 % izmantoti modeļu izveidošanai, atlikušie 20 % – ticamības pārbaudei. Automatizētai mašīnmācīšanas (*AutoML*) platformai tiek izvēlēta platforma *H2O.ai*. Eksperiments tika veikts 24 dienu laikā.

Pēc vibrācijas datiem, kas tika nomērīti 2020. gadā tāda paša tipa elektromotoram (*Lenze*), ar to pašu metodi, bet ar izteiktu darba temperatūras pārkāpšanu. Diagnostikas laikā tika konstatētas problēmas ar tinumiem, kas izraisa gultņu smēres degradāciju. Rezultātā separators pārplīst, kā arī rites elementi tiek sabojāti [3], [5]. Iegūtie vibrācijas dati tika izmantoti, lai varētu izvērtēt *ML* un *AutoML* spēju paredzēt gultņu defektus.

Rezultāti

Divi būtiskākie *AutoML* un *ML* metožu lietošanas vibrācijas diagnostikas ieguvumi ir ātrums un precizitāte. Tas ir svarīgi, lai varētu veikt korekcijas darbības, pirms rodas bojājumi un kļūmes. Izmantojot *Random forest* metodi, tiek noteikta gultņu defektu precizitāte, kas ir 89%. No 9200 datiem 847 atpazīti kā kļūdaini negatīvi (angļu val. – *False Negative; FN*), savukārt 165 dati – kā pareizi negatīvi (angļu val. – *True Negative; TN*). Izmantojot *K-nearest Neighbour* metodi, to precizitāte ir 92%. Savukārt 328 dati tiek atpazīti kā *FN*, 400 dati – kā *TN*. *AutoML* metodes precizitāte ir 98%. Neskatoties uz datu apstrādes un rezultātu precizitāti, *AutoML* nav elastīga – tās funkcijas šobrīd ir ierobežotas. Vibrācijas datu salīdzināšana pie ātruma 280 m/s ražošanas laikā *AutoML* metodei neizdevās izveidot modeli, kas varētu paredzēt gultņu defektus. *Random forest* un *K-nearest Neighbour* metožu precizitātes attiecīgi bija 88% un 86%. Iespējams, iegūto rezultātu skaidrojums ir iekārtas darbības apstākļu atšķirība, kā arī datu apjoma trūkums [4].

Atsauces

1. Wang J., Ma Y., Zhang L., Gao R., Wu D. (2018). Deep learning for smart manufacturing: methods and applications. *Journal of manufacturing systems*, 48: 144–156.
2. Liu R., Yang B., Zio E., Chen X. (2018). Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery: A review. *Mech. Syst. Signal Process*, 108: 33–47.
3. Zhang P., Du Y., Habetler T. G., and Lu B. (2011). A survey of condition monitoring and protection methods for medium-voltage induction motors. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 47: 34–46.
4. Khan S. and Yairi T. (2018). A review on the application of deep learning in system health management. *Mech. Syst. Signal Process*, 107: 242–265.
5. Alfonso Fernandez. Study of vibration. [Tiešsaiste]. [Skatīts 2022. gadā 6. maijā]. Pieejams: <https://power-mi.com/content/study-vibration>.

Summary

Predictive maintenance uses machine learning tools to predict equipment damage before it occurs. The rapid popularity of Machine Learning (ML) algorithms is growing due to integrated cloud data solutions. ML-based error diagnosis methods have achieved significant results. However, most of these diagnostic methods have not solved one of the main problems – bearing diagnostics in the real environment. Developing efficient algorithms that can deal with data shortages is becoming a critical challenge. Different operating conditions of the equipment complicate the data collection process for each type of defect. Automated machine learning (AutoML) is one of the promising ways to get simpler solutions, faster modeling, and often surpassing manual models. In this study AutoML and traditional ML methods were evaluated to find the best model which can predict electric motor bearing defects in different working environments.

NERŪSĒJOŠĀ TĒRAUDA AISI 316L VIRSMAS RAUPJUMA IETEKME UZ NĀTRIJA KONTAKTA PRETESTĪBU ŠĶIDRO METĀLU IEKĀRTĀS

INFLUENCE OF STAINLESS STEEL AISI 316L SURFACE
ROUGHNESS ON SODIUM CONTACT RESISTANCE IN LIQUID
METAL EQUIPMENT

OSKARS MIKANOVSKIS

RTU MTAf Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Mašīnbūves un mehatronikas katedra, 2. studiju gads

Darba vadītāja profesore *Dr. sc. ing.* Irina Boiko

Ievads

Viena no populārākajām un ķīmiski stabilākajām nerūsējošā tērauda markām ir *AISI 316L*. Šī nerūsējošā tērauda marka satur molibdēnu, tas palielina tā izturību pret koroziju, tādēļ to var izmantot agresīvās vidēs. Nerūsējošais tērauds *AISI 316L* ir ar zemu relatīvo magnētisko caurlaidību ($\mu_r = 1,01$) [1], kas dod iespēju šo metālu izmantot spēcīgā magnētiskajā laukā vai konstrukcijās, kur nav pieļaujama magnētisku materiālu lietošana. Vēl viena laba nerūsējošā tērauda *AISI 316L* īpašība ir zemais oglekļa procentuālais saturs, kas nepārsniedz 0,03 % [2], tas padara šo materiālu labi metināmu.

Šis nerūsējošā tērauda *AISI 316L* īpašības dod iespēju to izmantot konstrukcijās darbam ar sārnu metāliem mainīgās temperatūrās. Viens no šādiem sārnu metāliem ir tīrs nātrijs, ko izmanto pārtikas rūpniecībā, ķīmiskajā rūpniecībā, metalurģijā, dzesēšanas sistēmās siltuma pārvešanai.

Strādājot ar tīru nātriju dažādās nozarēs, to ir nepieciešams transportēt, sildīt, dzesēt. Šeit bieži par konstruktīvo materiālu tiek izmantots nerūsējošais tērauds *AISI 316L*. Lai varētu efektīvi veikt šīs darbības, ir svarīgi zināt, vai izkausēts šķidrums nātrijs un nerūsējošais tērauds veido virsmas slapināšanu; kāda veidā uzlabot virsmas slapināšanas īpašības un kā sagatavot virsmu ātrākai šo īpašību sasniegšanai. Viens no raksturojošākajiem virsmas parametriem ir virsmas raupjums.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

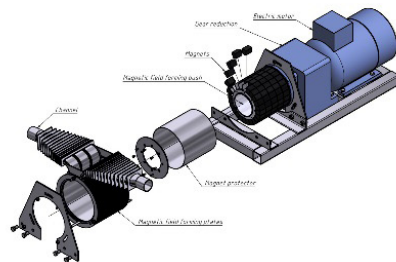
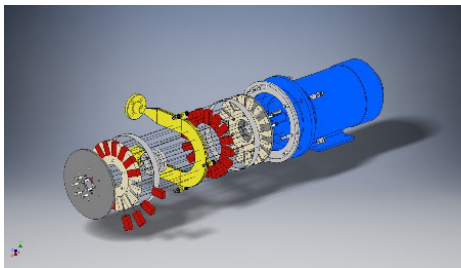
Darba izstrādes procesā izgatavoti trīs dažāda veida nerūsējošā tērauda *ASI 316L* paraugi (neapstrādāta virsma, mehāniski pulēta virsma un pneīmo abrazīvi strūklota virsma), nomērīti to virsmu vidējie raupjumi. Veikta šo paraugu iegremdēšana šķidrā nātrijā un mērīta kontaktprestības atkarība no temperatūras starp nātriju un paraugu.

Rezultāts ir pārbaudīta nerūsējošā tērauda *ASI 316L* paraugu virsmas raupjuma ietekme uz kontaktelektrisko pretestību ar šķidru nātriju mainīgā temperatūrā.

Eksperiments veikts laboratorijas apstākļos, un pēc iegūtajiem rezultātiem iespējams uzzināt virsmas vidējā raupjuma ietekmi uz kontaktprestības īpašībām, kas raksturo arī virsmas slapiņāšanas īpašības.

Mērķis

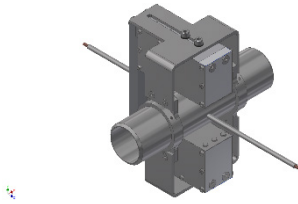
Izstrādājot konstrukciju sistēmas darbam ar nātriju, bieži ir nepieciešams labs elektriskais kontakts ar nerūsējošo tēraudu un nātriju, kas ir minēts tādos fundamentālos pētījumos, kā "Rīgas Dinamo" eksperimentā [3], [4]. Arī vienkāršākās sistēmās, tādās kā sūkņēšanas (transportēšanas), plūsmas mērīšanas un siltumaiņu sistēmās, kur tiek lietoti kondukcijas tipa sūkņi, indukcijas tipa sūkņi, pastāvīgo magnētu sūkņi (1.1. att.), kondukcijas tipa plūsmas mērītāju (1.2. att.) un indukcijas tipa plūsmas mērītāji (1.3. att.), ir nepieciešams labs kontakts ar minēto iekārtu kanāla sienām, lai nodrošinātu šo iekārtu efektīvu darbību.



1.1. att. Pastāvīgo magnētu sūkņi.

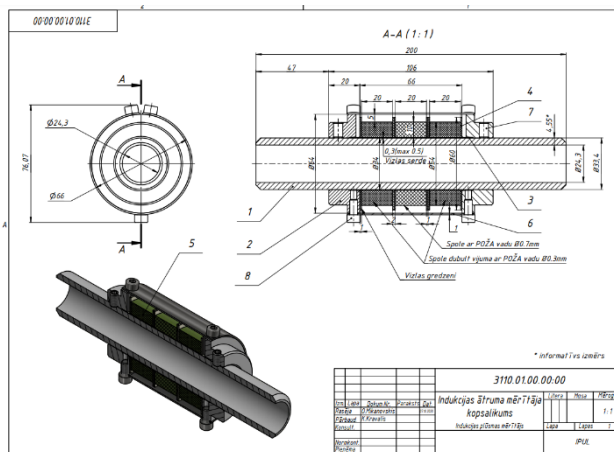
Pētot, testējot, izstrādājot un ražojot darbam ar nātrijam paredzētus pastāvīgo magnētu vai indukcijas sūkņus, kondukcijas vai indukcijas plūsmas mērītājus u. c. iekārtas, ir ļoti svarīgi izmantot nemagnētiskus kanāla konstrukcijas materiālus.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA



1.2. att. Kondukcijas tipa plūsmas mērītājs.

Šīs īpašības piemīt nerūsējošajam tēraudam *AISI 316L*, kas spēj darboties kontaktā ar šķidru nātriju mainīgās temperatūrās un ir ar labām nemagnētiskām īpašībām ($\mu_r = 1,01$) [1]. Lai šīs konstrukcijas darbotos efektīvi, ir jābūt virsmas kontaktam un slapināšanai starp šķidru nātriju un nerūsējošā tērauda sienu.

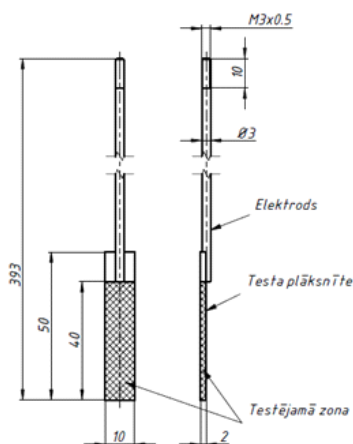


1.3. att. Indukcijas tipa plūsmas mērītājs.

Materiāli un metodes

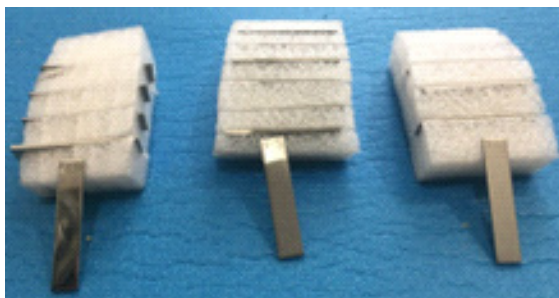
Izpētot zinātniskos avotus, secināts, ka nerūsējošo tēraudu *AISI 316L* slapina šķidrums nātrijs, bet nav datu un nav zināms par virsmu parametru ietekmi uz kontaktpretestības un slapināšanas īpašībām un šo parametru atkarība no temperatūras. Pētījuma gaitā izgatavotas trīs dažāda raupjuma paraugu testa plāksnītes ar elektrodiem (2.1. att.).

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA



2.1. att. Paraugu testa plāksnītes ar elektrodiem.

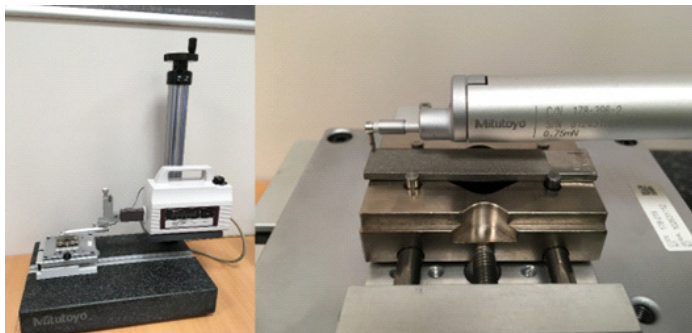
Izgatavotās testa plāksnītes (2.2. att.) apzīmētas ar ciparu vai ciparu un burtu, kur cipars (1–5) norāda plāksnītes numuru, burts – apstrādes veidu (P – mehāniski pulēta, S – strūklota ar abrazīvu, bez apzīmējuma – izcirsta no loksnes bez pēcstrādes).



2.2. Izgatavotās testa plāksnītes ar apzīmējumiem.

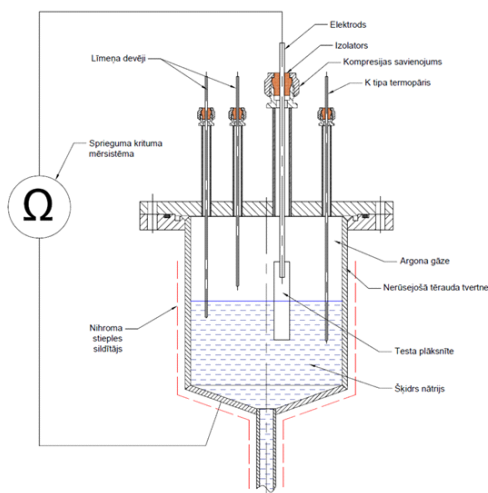
Katrai testa plāksnītes pusei tiek mērīts raupjuma profils, izmantojot profilometru *Mitutoyo SJ-500* (2.3. att.). Papildus tiek mērīts arī primārais profils un viļņojuma profils.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA



2.3. att. Profilometrs *Mitutoyo SJ-500*.

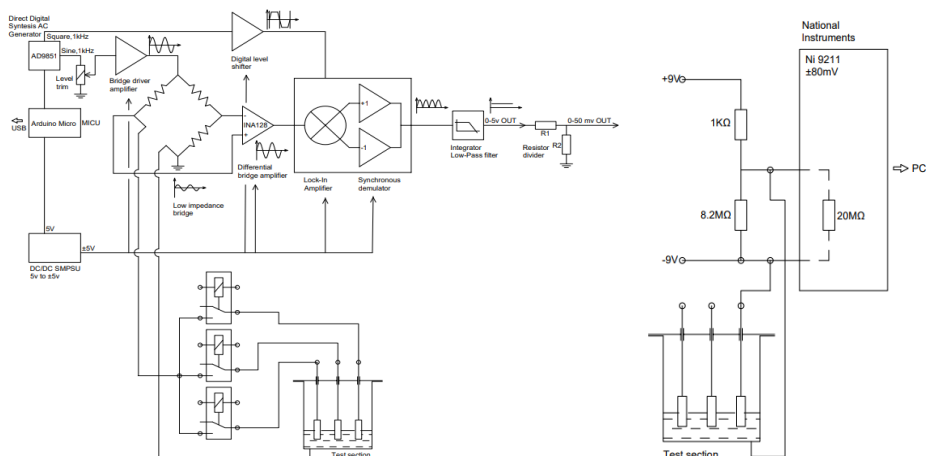
Pēc virsmas raupjuma mērījumiem paraugi tiek piemetināti pie elektrodiem (2.1. att.). Testa paraugi tiek attīrīti ar spirta palīdzību un ievietoti testa sekcijā (2.4. att.). Testa sekcija tiek atvakuumēta un paralēli sildīta, pēc tam piepildīta ar inerto gāzi.



2.4. att. Testa sekcija.

Katram parauga elektrodam tiek pievienota mērsistēma, kas spēj laikā mērīt kontaktprestības izmaiņas, paralēli tiek pierakstīta temperatūra testa sekcijā, kas dod sapratni par temperatūras ietekmi uz šo parametru. Darbā lietotas divu veidu kontaktprestības mērsistēmas (līdzstrāvas un maiņstrāvas; 2.5 att.).

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA



2.5. att. Maiņstrāvas un līdzstrāvas mērsistēma.

Rezultāti

Veicot zinātnisko avotu izpēti, secināts, ka nerūsējošo tēraudu *AISI 316L* slapina šķidrums nātrijs, bet nav zināmi virsmu raksturojošie parametri un nav mērīta kontakta pretestība starp šiem diviem metāliem. No šīs analīzes secināts, ka jāveic eksperimentālais pētījums, mērot kontaktpretestību starp šķidru nātriju un *AISI 316L* nerūsējošo tēraudu pie dažādiem paraugu virsmu raupjumiem un mainīgā temperatūrā.

Darba gaitā izgatavoti 15 nerūsējošā tērauda testa paraugi ar trīs dažādu virsmu raupjumiem. Katra testa plāksnīte ir numurēta, katrai plāksnītei ir nomērīti virsmu vidējie raupjumi.

Izstrādāta un izgatavota hermētiska testa sekcija ar inertās gāzes / vakuuma sistēmu, sildīšanas sistēmu, pieraksta un mērsistēmu un šķidrā nātrija padošanas sistēmu, kurā tiek ievietotas ar spirtu attīrītas testa plāksnītes ar elektrodiem. Caur elektrodiem testa plāksnītes savienotas ar mērsistēmu. Kontaktpretestības mērīšanai izgatavotas divu veidu mērsistēmas maiņstrāvas un līdzstrāvas. Trīs no 15 paraugiem mērīti ar maiņstrāvas mērsistēmu, atlikušie paraugi – ar līdzstrāvas mērsistēmu. Mērsistēma ļauj nepārtraukti pierakstīt kontaktpretestību atkarībā no temperatūras izmaiņām. Pēc zinātnisko avotu analīzes secināts, ka slapināšanai vajadzētu notikt visu veidu paraugiem 300–400 °C robežās un pēc tam saglabāties. Tas liek secināt, ka eksperiments jāsāk pēc iespējas zemākā temperatūrā, sākot no 100 °C, kā arī eksperimentam nevarēs novērot histerēzes cilpu, ja paraugi būs veidojušo labu kontaktu, tas tāds saglabāsies arī zemā temperatūrā.

Atsauces

1. [Online]. Available: <https://www.lesker.com/newweb/faqs/question.cfm?id=69>.
2. [Online]. Available <https://www.sandmeyersteel.com/images/316-316l-317l-spec-sheet.pdf>.
3. G. L. A. Gailitis, "2016 YEAR EXPERIMENTS AT RIGA DYNAMO FACILITY," MAGNETOHYDRODYNAMICS, sēj. 53, pp. 349–355, 2017.
4. A. G. G. T. L. O. L. G. P. E. & S. F. Gailitis, "Self-excitation in a helical liquid metal flow: The Riga dynamo experiments," Journal of Plasma Physics, sēj. 84, nr. 3, 2018.

Summary

During the research of scientific sources, it was concluded that the stainless steel AISI 316L is wetted with liquid sodium, but the surface characteristics are not known and the contact resistance between these two metals has not been measured. From this analysis, it was concluded that an experimental study should be performed to measure the contact resistance between liquid sodium and AISI 316L stainless steel at different sample surface roughnesses and varying temperatures.

Fifteen stainless steel samples with 3 different surface roughnesses were made. Each test plate was numbered and the average surface roughness was measured for each plate.

An airtight test section was constructed with inert gas/vacuum system, a heating system, a recording and measuring system, and a liquid sodium supply system in which alcohol-treated test plates with electrodes were inserted. The test plates were connected to the measuring system through the electrodes. Two-wire AC and DC measuring systems were made to measure the contact resistance, where 3 of the 15 samples will be measured with an AC metering system and the remaining samples with a DC metering system. The measuring system allowed to record continuously the contact resistance depending on the temperature change. The analysis of scientific sources concluded that wetting should occur in all types of samples in the range of 300–400 °C. This leads to the conclusion that the experiment should be started with the lowest possible temperature, starting at 100 °C. Also, it will not be possible to observe a hysteresis loop for the experiment if the samples have formed good contact, it will remain so even at low temperatures.

POLYJET 3D DRUKAS TEHNOLOĢISKĀ PROCESA MAZGĀŠANAS ILGUMA IETEKME UZ DRUKĀTO DETAĻU STIEPES STIPRĪBU

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL WASHING TIME ON
TENSILE STRENGTH OF POLYJET 3D PRINTED PARTS

KRISTENS RAŠČEVSKIS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Mašīnbūves un mehatronikas katedra, maģistra studiju 2. studiju gads
Darba vadītājs docents *Dr. sc. ing.* Gatis Muižnieks

Ievads

Jaunu produktu vai detaļu izveidē ļoti būtiska nozīme ir prototipēšanai jeb iteratīvam izstrādes procesam, un viens no tā mērķiem ir ar visdažādākajām tehnoloģijām pēc iespējas ātrāk izgatavot un validēt kādu no elementiem vai produktu kopumā. Kā viena no mūsdienās visbiežāk izmantotajām tehnoloģijām prototipējot ir 3D druka, ko var iedalīt vēl atsevišķās konkrētās tehnoloģijās un no kurām katrai ir savas priekšrocības un atbilstoši lietojumi.

PolyJet 3D drukas tehnoloģija ir viena no retajām, kas dod iespēju sasniegt gala-produktu ražošanā tik plaši izplatītajai spiedliešanai līdzīgu rezultātu jeb detalizētas un augstas precizitātes detaļas ar gludu un estētisku virsmu. Tā kopumā ir viena no ātrākajām un precīzākajām pašlaik pieejamajām 3D drukas tehnoloģijām.

Par materiālu tiek izmantoti visdažādākā tipa fotopolimēri ar vienu vai vairākām komponentēm, kas savu sākotnējo šķidro stāvokli var mainīt uz cietu vai elastīgu UV gaismas ietekmē. Iekārta uz platformas izsmidzina tūkstošiem šķidrā fotopolimēra pilienus un uzreiz sacietina ar UV gaismas palīdzību. Tehnoloģiskais process paredz arī palīgmateriāla drukāšanu, kas vēlāk ir jānoņem augstspiediena mazgāšanas iekārtā.

Bet problēma ir tā, ka, gan praksē novērojot, gan izpētot dažādus citus literatūras avotus, detaļas drukātas no šiem materiāliem mēdz absorbēt ūdeni, kas ilgtermiņā var ietekmēt to mehāniskās īpašības [1]. Papildus tam apskata ilgstoša mitruma ietekmi uz *PolyJet* tehnoloģijā izgatavotu detaļu mehāniskajām īpašībām, bet ne mehānisko īpašību izmaiņu konkrēti stiepes stiprības tieši atkarībā no tehnoloģiskajā procesā paredzētās mazgāšanas ilguma.

Mērķis

Darba mērķis ir novērtēt *PolyJet* 3D drukas tehnoloģiskā procesa mazgāšanas ilguma ietekmi uz drukāto detaļu stiepes stiprību. Lai sasniegtu darba mērķi, maģistra darbam ir noteikti vairāki uzdevumi.

- Veikt teorētiskās un zinātniskās literatūras apskatu par *PolyJet* 3D drukas tehnoloģiju, tās ietvaros izmantoto fotopolimēru materiālu grupu un darba mērķi apskatīto tematu.
- Izplānot eksperimenta veikšanu, piemeklējot atbilstošāko rezultātu ieguves jeb mērījumu veikšanas procesu un tā iestatījumus, testējamo paraugu formu atbilstoši materiālam, testēšanas grafiku un apstākļus, lai maksimāli nodrošinātu salīdzināmību.
- Atbilstoši plānam un metodēm sagatavot paraugus un veikt mērījumus.
- Novērtēt iegūtos rezultātus, nosakot tehnoloģiskā mazgāšanas procesa ietekmi uz *PolyJet* 3D drukas tehnoloģijā drukātu detaļu stiepes stiprību.

Materiāli un metodes

Eksperiments iespēju un pieejamās informācijas robežās tika veikts atbilstoši *ISO 527-2:2019* standartam “Plastmasa – Stiepes īpašību noteikšana. 2. daļa: Testēšanas noteikumi lietai un presētai plastmasai”, adaptējot to aditīvās ražošanas tehnoloģijai. Atbilstoši standartam tika izvēlēta visplašāk lietotā un rekomendējamā 1A forma. Standarts kā rezultātu definē mērījumu starp piecu paraugu grupu, bet līdz ar ierobežotā materiāla daudzumu mērījumi tika veikti tikai četrām paraugu grupām [2].

Pati paraugu izgatavošana tika veikta, izmantojot RTU Inovatīvu produktu izstrādes nodaļā pieejamo *PolyJet* tehnoloģijas *Stratasys Objet350 Connex 3* 3D printeri un praksē vienu no visbiežāk izmantotajiem materiāliem *Digital ABS Plus (RGD515 Plus* un *RGD531* komponente), kura mērķis ir pēc īpašībām simulēt *ABS* tipa materiālu. Pie šādas iekārtas un materiāla izvēles drukāšanas slāņa augstums ir 30 mikroni. Paraugu drukāšanas novietojumam tika ievēroti ražotāja tehnoloģiskie norādījumi par to, ka garākā mala ir uz Y asis, lielākais laukums novietots uz pamatnes [3].

Lai nodrošinātu pēc iespējas vienādus apstākļus, katrs paraugs tika mazgāts trīs minūtes un 30 sekundes ražotāja rekomendētajā *Balco Powerblast* augstspiediena mazgātājā, pēc tam, imitējot mazgāšanu, iemērīts ūdenī no 0 līdz 25 minūtēm. Katrs paraugs tika slaucīts 30 sekundes un līdz stiepes stiprības mērījumu veikšanai nolikts žūt. Lai spētu veikt katra parauga sagatavošanu un secīgu testēšanu, aptuvenais aprēķinātais žūšanas laiks bija 4 stundas un 10 minūtes. Atsevišķiem paraugiem tika atvēlēts žūt 24 stundas, lai novērtētu detaļu stiprību pēc ilgāka žūšanas laika, lai gan ražotāja tehnoloģiskais process paredz praktiski tūlītēju detaļu izmantošanu.

Stiepes stiprības mērījumu rezultāti tika iegūti, izmantojot raušanas iekārtas *Instron 5969* ar 50 kN spēka sensoru.

Rezultāti

Iegūtie rezultāti nav viennozīmīgi, arī, ņemot vērā izvēlētos mazgāšanas ilgumus, paraugu stiepes stiprība variē 1 % robežās. Līdz ar to hipotēze par to, ka ilgākā tehnoloģiskās mazgāšanas laikā drukātajām detaļām samazinās stiepes stiprība, neapstiprinās. Taču ir novērojama tendence stiepes stiprības pieaugšanai un kopumā stabilizācijai starp paraugiem, ļaujot tiem nožūt ilgāku laiku. Pamatojoties uz to, viens no būtiskiem papildu pētāmiem aspektiem nākotnē būtu minimālais žūšanai nepieciešamais laiks, lai sasniegtu maksimālu materiāla stiepes stiprību.

Atsauces

1. Běhálek, Luboš & Šafka, Jiří & Seidl, Martin & Boruvka, Martin. (2018). The influence of humidity and temperature on the properties of photopolymer materials made by polyjet technology. MM Science Journal. 12. 2727-2731. 10.17973/MMSJ.2018_12_2018122.
2. Lawrence E., THE DEFINITIVE GUIDE TO PERFORMING ISO 527-2 TENSILE TESTING ON PLASTICS [tiešsaiste]. Instron Illinois Tool Works Inc. [skatīts 2022. gada 4. maijā]. Pieejams: <https://www.instron.com/en/testing-solutions/iso-standards/iso-527-2>.
3. Digital ABS Plus – EN PolyJet Best Practice [tiešsaiste]. Stratasys Ltd. [skatīts 2022. gada 4. maijā]. Pieejams: <https://support.stratasys.com/en/materials/polyjet/digital-abs-plus>.

Summary

PolyJet 3D printing technology is one of the few that makes it possible to achieve a result similar to that of injection molding, which is so widespread in the production of finished products.

For printing, various types of photopolymers with one or more components are used as material, which can change their initial liquid state to hard or flexible under the influence of UV light. The technological process also involves printing support material, which must later be removed in a high-pressure cleaner.

The aim of this work is to evaluate the influence of technological washing time on tensile strength of PolyJet 3D printed parts.

The experiment was performed according to the ISO 527-2: 2019 standard as far as possible and adapted to the additive manufacturing technology.

The sample production itself was performed on a Stratasys Objet350 Connex 3 3D printer and one of the most commonly used materials Digital ABS Plus (RGD515 Plus and RGD531 component).

The obtained results are not clear enough because the tensile strength of the samples varies within 1 %. Therefore, the hypothesis that the tensile strength of the printed parts decreases with a longer technological washing time is not confirmed. However, there is a tendency for the tensile strength to increase and generally stabilize between samples if they are allowed to dry for a longer time.

TERMoeLEKTROSTACIJU IEKĀRTU DEFEKTU KLASIFIKĀCIJAS SISTĒMAS IZSTRĀDE UN TĀS LIETOŠANA DEFEKTU CĒLOŅU NOVĒRTĒŠANAI

DEVELOPMENT OF POWER PLANT EQUIPMENT DEFECT
CLASSIFICATION SYSTEM AND ITS APPLICATION IN
ASSESSMENT OF THE DEFECTS CAUSES

EMĪLS ABRICKIS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts, Siltumenerģētisko sistēmu
katedra, bakalaura profesionālo studiju līmenis, 4. studiju gads

Darba vadītājs *Dr. sc. ing. Otto Krickis*

Ievads

Saistībā ar Eiropas zaļo kursu Eiropas Savienības (ES) dalībvalstis kopīgi cenšas sasniegt klimatneitralitātes un siltumnīcefekta gāzu emisiju samazinājuma mērķus līdz 2050. gadam. Šo mērķu sasniegšanai primāri ir identificējami kā atjaunojamās enerģijas avoti, lai dekarbonizētu ES energosistēmu. Tomēr šo enerģētikas mērķu sasniegšanas laikā enerģijas izstrāde līdz kādam noteiktam laikam balstīsies uz elektrostacijām, it īpaši, termoelektrocetrālēm (TEC), kas primāri sadedzina fosilo kurināmo. Tādējādi ir jānodrošina šādu staciju darba gatavība un bezatteikuma darbība, kas panākama, pilnveidojot esošo defektu uzskaiti, izstrādājot TEC iekārtu defektu pusautomātisku klasifikāciju, pilnveidojot uzskaites kvalitāti un tādējādi arī elektrostaciju ekspluatāciju.

Mērķis

Darba mērķis ir izstrādāt AS «Latvenergo» termoelektrostaciju iekārtu defektu klasifikācijas sistēmu, kas, adaptīvi pilnveidojoties un balstoties vēsturiskajos datos un standartizētos operatīvajos apzīmējumos, uzlabotu pašreizējo atgadījumu uzskaiti, ieviestu standartizāciju, izveidotu defektu statistikas ieguves iespējas, kas kopumā sekmētu siltumenerģētisko iekārtu darbību, kā arī nodrošinātu kvalitatīvu, mērķtiecīgu un pilnveidīgu defektu cēloņu analīzi un novērtēšanu.

Darba uzdevumi

1. Pašreizējās situācijas izvērtēšana AS "Latvenergo" TEC iekārtu defektu uzskaitē un novērtēšanā (vēsturisko datu ieguve).
2. Klasifikācijas sistēmas iedalījumu iespējamību izvērtēšana.
3. Nozares standartu izmantošana klasifikāciju kategoriju izveidē.
4. Defektu klasifikācijas sistēmas apkopojums ar izveidoto novērtēšanas sistēmu.
5. Inženiertehniskā defekta piemēra cēloņa analīze, izmantojot izveidoto metodiku.

Materiāli un metodes

Darbā analizēti vēsturiskie defekti un atgadījumi AS «Latvenergo» termoelektrocentrāļu siltumenerģētiskajās iekārtās, kā arī izpētīts operatīvo apzīmējumu (KKS) lietojums un to īpatnības, salīdzinot ar lietoto operatīvo apzīmējumu standartu. Iegūtie rezultāti ļāvuši izveidot metodoloģiju kvalitatīvu operatīvo apzīmējumu koda sadalīšanā un tā tālākā izmantošanā staciju iekārtu kritiskuma kartes izveidē. Izmantojot *VGB PowerTech* un Latvijas Energostandardu materiālus, atpazītas un implementētas piemērotākās defektu klasifikācijas kategorijas, piemēram, defektu simptomu, atklāšanas kritērija, nozīmīguma u. c. kategorijas, tomēr kategorijas tiek lietotas tā, lai neietekmētu darbinieka pavadīto laiku atgadījuma reģistrācijā, kā arī uzlabotu defektu cēloņa analīzes procesu un nodrošinātu kvalitatīvu, objektīvu defektu uzskaiti.

Rezultāti

Darba gaitā atpazītas 15 primārās defekta klasifikācijas sistēmas iedalījuma grupas, septiņas primārās atgadījuma novērtēšanas grupas, kas ļauj objektīvi, kvalitatīvi un pilnvērtīgi klasificēt termoelektrocentrāļu defektus, uzlabojot esošo defektu uzskaiti, kā arī apvienojot klasificēšanas vienkāršību ar informācijas diversifikāciju. Paralēli veikta cēloņu analīze un novērtēšana reālam ar siltumenerģētiku saistītam defektam, balstoties izstrādātajā defektu klasifikācijas sistēmas metodikā, un tā rezultātā pierādīts sistēmas noderīgums, elastība un esošās defektu uzskaites pilnveidošanas iespējas.

Atsauces

1. AS "Latvenergo". *Defektu uzskaites datubāze*. 2009–2021.
2. AS "Latvenergo". TEC-1 iekārtu operatīvo apzīmējumu datubāze.
3. VGB PowerTech. *KKS identification system for Power Plants VGB-B 105e*. Essen, Germany, 26.06.2017. ISBN 978-3-86875-329-5.
4. Latvijas Elektroenerģētiķu un energobūvnieku asociācijas (LEEA) mājaslapa [tiešsaiste], [skatīts 2022. g. 1. martā] Pieejams: <https://www.bleea.lv/spec-sc/lek/lek-standarti>.
5. BSI Standards Publication. *Root cause analysis (RCA)*. BS EN 62740:2015.
6. VGB PowerTech. *Technical and Commercial Key Indicators for Power Plants*. Essen, Germany, 2017. VGB-S-002-03-2016-08-NE.

Summary

As part of the European Green Course, the Member States of the European Union are striving to meet their targets for reducing climate neutrality and greenhouse gas emissions by 2050, where these targets are being met primarily and identified as renewable energy sources, in order to decarbonise the EU's energy system. However, these energy targets will be achieved only with the help of fossil fuel powered plants. It is necessary to ensure such readiness and uninterrupted operation of the fossil fuel powered plants, which can be achieved by improving the existing defect inventory, implementing the classification of defects in CHP plants equipment, which is used in defect assessment, and by improving the inventory quality and power plant operation.

SILTUMA IETEKME UZ HIDRAULISKO SISTĒMU EFEKTIVĪTĀTI KRAVAS KUĢOS

HEAT EFFECTS ON HYDRAULIC SYSTEM EFFICIENCY
ON CARGO SHIPS

ROBERTS POSTS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts, Siltumenerģētisko sistēmu katedra, bakalaura profesionālo studiju līmenis, 4. studiju gads

Darba vadītājs asoc. profesors *Dr. sc. ing.* Dmitrijs Rusovs

Ievads

Bakalaura darbā izpētīts, kā siltums ietekmē hidraulisko sistēmu efektivitāti. Lai veiktu šo sistēmu izpēti, jāizveido hidraulisko sistēmu analīzes metodika. Par hidraulisko sistēmu piemēru tiek ņemta kravas kuģu balasta sistēma, kas ceļā no balasta ūdens iesūkšanas (no jūras) līdz balasta tankiem uzņem siltumu no dažādiem siltuma avotiem. Veicot hidraulisko sistēmu izpēti, nepieciešams uzzināt, cik lielu iespaidu uz to spēj radīt siltuma pievadīšana, izmantojot dažādus siltumvadīšanas procesus, un cik ļoti izmainās darba vielas fizikālie parametri tā rezultātā. Par efektivitātes mēru ņemta balasta sistēmas plūsmas kapacitāte, kas atkarīga no darba vielas parametriem un spiediena zudumiem cauruļvados. Pieņēmums, ka siltuma pievadīšanas rezultātā tiks ietekmēta sistēmas efektivitāte, balstīts šķidrums fizikālajās īpašībās, kur temperatūras izmaiņu rezultātā attiecīgi izmainās šķidru vielu blīvums un dinamiskā viskozitāte. Balasta sistēma nav paredzēta ūdens uzsildīšanai, tāpēc apskatīts variants, kur pie balasta sistēmas pieslēdz kuģa dzinēja dzesēšanas kontūru, kas gan palīdz dzesēt dzinējus, gan arī uzsilda balasta ūdeni, potenciāli paaugstinot sistēmas efektivitāti.

Mērķis

Darba mērķis ir uzzināt, kā izmainās šķidruma fizikālās īpašības atkarībā no tā temperatūras un cik liels siltuma daudzums tiek pievadīts sistēmai, kā arī cik lielā apjomā šis pievadītais siltums ietekmē sistēmas efektivitāti. Lai izpildītu šo mērķi, ir jāizveido hidrauliskās sistēmas koncepcija, izmantojot dažādas analīzes metodes. Lai varētu formulēt secinājumus, pakāpeniski jāveic konkrēti darba uzdevumi.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

1. Veikt hidrauliskās sistēmas analīzi, vispirms veicot vizuālu inspekciju, pēc tam pārliecinoties par sistēmas darba parametriem ar hidraulisko aprēķinu palīdzību.
2. Apskatīt attiecības un siltumapmaiņas procesus starp hidraulisko sistēmu un tās vidi.
3. Apskatīt iespēju dzesēt kuģa dzinējus ar balasta sistēmas ūdeni (uzsildīt balasta sistēmas ūdeni), noskaidrot, cik ļoti šīs "siltuma utilizācijas" sistēmas uzstādīšana izmainīs hidrauliskās sistēmas spiediena zudumus.
4. Izpētīt, cik lielā apjomā izmainīsies sistēmas efektivitāte siltuma pievadīšanas rezultātā.

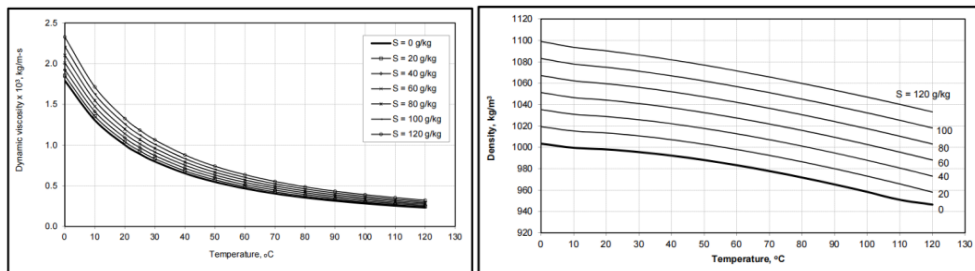
Materiāli un metodes

Lai izprastu hidraulisko sistēmu darbības principus un darba stāvokļus, jāizpēta katrs individuālais elements atsevišķi. Šāda veida izpēte, pirmkārt, prasa ļoti precīzu un detalizētu sistēmas elementu analīzi, otrkārt, precīzus aprēķinus, kas ļaus iegūt konkrētus rezultātus un darba parametrus. Ir jāsaprot, kā sistēma strādā un kāpēc tā strādā šādā veidā, jo tas palīdzēs izveidot sistēmas koncepciju gadījumos, kad sistēmā tiks ieviesti jauni elementi (piemēram, uzstādīta jauna iekārta), vai arī gadījumos, kad mainīsies darba parametri (piemēram, tiks pievadīts siltums).

Saistībā ar siltumapmaiņu un balasta sistēmu ir svarīgi saprast, kādi būs siltuma avoti un kā tie iederas kopējā siltuma bilancē. Šajā gadījumā būs trīs siltuma avoti: apkārtējā vide, UV lampas; kuģa dzinēji (kopā tie ir trīs dzinēji, taču tos var uzskatīt par viena veida siltuma avotiem). Veicot siltumapmaiņas aprēķinus, veikti vairāki pieņēmumi, lai vienkāršotu tos, piemēram, ka visi siltumapmaiņas procesi notiek viendabīgi.

Svarīgākais solis darba gaitā ir saprast, kuras vielas fizikālās īpašības izmainīsies tad, kad mainīsies vielas temperatūra, kā šīs īpašības ietekmēs sistēmu. Šajā gadījumā tā būs vielas dinamiskā viskozitāte un blīvums. Galvenā korelācija darbā izveidota starp vielas blīvumu un spiediena zudumiem, jo tiem ir tieša ietekme uz plūsmas kapacitāti un efektivitāti. Vēl viena sakarība, ko var veikt saistībā ar spiediena zudumiem, ir tas, ka dinamiskā viskozitāte ietekmē vietējo zudumu hidrauliskās pretestības koeficienta aprēķinu, kas var būt atkarīgs no vielas viskozitātes (atkarībā no izmantotās aprēķinu metodes).

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA



1. att. Blīvuma un dinamiskās viskozitāte atkarība no temperatūras jūras ūdenim.

Darbā tiks apskatīta arī “koģenerācijas” iespēja uz kravas kuģiem, kur siltums, kas iegūts dzinēju dzesēšanas rezultātā, tiek utilizēts, lai sildītu balasta sistēmas ūdeni. Šāda veida siltuma izmantošanai būs jāuzstāda siltuma utilizācijas sistēma jeb, vienkārši sakot, jāpieslēdz siltummainis, kas darbosies kā siltumapmaiņas elements starp dzinēju dzesēšanas kontūru un balasta sistēmu. Uzstādot siltuma utilizācijas sistēmu, potenciāli varētu izmantot lieko siltumu no dzinējiem, lai uzlabotu balasta sistēmu efektivitāti, jo šis siltums katrā gadījumā netiek izmantots.

Rezultāti

Darba gaitā secināts, ka siltuma pievadīšana hidrauliskajai sistēmai paaugstinās tās plūsmas efektivitāti darba vielas blīvuma un viskozitātes izmaiņu rezultātā. Toties ir jāņem vērā svarīgi faktori, kas ietekmē rezultātus.

1. Pēc rezultātu apkopošanas var secināt, ka spiediena zudumi sistēmā siltuma dēļ samazinājās un rezultātā plūsmas kapacitāte tieši šajā gadījumā pieauga par $1,03 \text{ m}^3/\text{h}$, kas ir 1 % efektivitātes pieaugums. Rezultāts ir salīdzinoši mazs, tādēļ ir ieteicams izvēlēties sistēmas ar mazāku plūsmas kapacitāti (jo būs mazāka termiskā difūzija).
2. Uzstādot siltuma utilizācijas sistēmu vai jebkādu citu elementu hidrauliskajā sistēmā, jāizvērtē, cik lielus spiediena zudumus radīs šīs sistēmas. Konkrētajā gadījumā, uzstādot siltummaini, plūsmas kapacitāte spiediena zudumu rezultātā samazinās par $21 \text{ m}^3/\text{h}$, kas ir aptuveni 15 % plūsmas ražības samazinājums.
3. Izpētīts, ka konkrētajā situācijā plūsmas daba ir turbulenta, kas papildus pastiprina termisko difūziju un traucē darba vielai vienmērīgi uzsilt – paaugstināt tās plūsmas kapacitāti. Var secināt, ka siltuma pievadīšana hidrauliskajai sistēmai būs visefektīvākā situācijās, kad plūsmas režīms ir laminārs.

Atsauces

1. Mostafa H. Sharqawy, John H. Lienhard V, and Syed M. Zubair, «Thermophysical properties of seawater: A review of existing correlations and data,» Desalination and Water Treatment, Vol. 16, pp. 354–380, April 2010.

Summary

The main goal of the Thesis is to see how heat affects a hydraulic system on cargo ships. As an example of an hydraulic system, the ships ballast system will be chosen as the main focus of the study. The flow rate of a hydraulic system will be the parameter that expresses the efficiency of it. The basis of the Thesis is the concept that liquids density and dynamic viscosity are closely dependant on the temperature of it and that is why these two parametrs will be taken as the main ones in chaning the efficiency of the hydraulic system. Liquid density and viscosity are related to the pressure drops in piping, thus influencing the flow rate.

Before coming to conclusions on system efficiency, it is important to analyse the hydraulic system by visually creating a concept of the piping elements and then proceeding to hydraulic calculations so that the working parameters of the system could be calculated. Also, it is important to understand what kind of heat sources effect the hydraulic system. In this case, there are three main heat sources – the environment, UV lamps and the engines of the cargo ship (there are three engines in total but they can be considered as the same type of a heat source).

As in standart condition the heat that affects the hydraulic system is negligible, a possibility of a heat utilization system is explored. The basic concept of it being a heat exchanger that heats up the ballast system water from the cooling system of the vessels engines. On cargo ships this heat usually is just released into the sea without any purpose, but the Thesis explores a possibility of a “co-generation” possibility of the ships power plant.

In conclusion, the practicality and efficiency change with the heat utilization system is described and a proposal on how to improve the results of the study are made. It is important to note that this kind of heat utilization would better work in systems with a lower flow rate and a system that has the lowest possible turbulent flow.

DABASGĀZES UN BIOGĀZES IETEKMĒ UZ KATLA LIETDERĪBAS KOEFICIENTU UN EKONOMISKAJIEM RADĪTĀJIEM

EFFECT OF NATURAL GAS AND BIOGAS ON BOILER
EFFICIENCY AND ECONOMIC RATES

JURIS MASKALOŅOKS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts, Siltumenerģētisko sistēmu
katedra, bakalaura profesionālo studiju līmenis, 4. studiju gads

Darba vadītājs asoc. profesors *Dr. sc. ing.* Dmitrijs Rusovs

Ievads

Viena no mūsdienu problēmām ir katru gadu pieaugušais atkritumu daudzums un fosilo kurināmo izmantošana pasaulē. Pagaidām gandrīz visas valstis ir atkarīgas no fosilā kurināmā. Tāds fosilais kurināmais kā nafta, lignīts, dabasgāze, akmeņogles u. c, kas miljoniem gadu atrodas zemes dzīlēs, radies lielas temperatūras un spiediena rezultātā. Savukārt tā izmantošanas un pārstrādes rezultātā izdalās daudz izmešu, piemēram, ogleklis, un, dedzinot to atmosfērā, izdalās oglekļa dioksīds (CO_2), metāns (CH_4) un slāpekļa dioksīds (NO_2). Visas šīs kaitīgas un bīstamas vielas ietekmē uz mūsu planētas ozona slāni, kas aizsargā planētu no ultravioletā starojuma. Oglekļa dioksīds izraisa siltumnīcas efektu, rezultātā katru gadu strauji pieaug vidējā pasaules temperatūra. Runājot par biomasu, šajā gadījumā – biogāzi, atjaunojamo energoresursu izmantošana var atrisināt šīs problēmas 3–5 gadu laikā. Biomasas izmantošanas galvenā priekšrocība ir tā, ka biogāzes ražošanai var izmantot ļoti daudz izejvielu, piemēram, kūstmēslus un vircu, labības atliekas, pienotavu, pārtikas rūpniecības un agrorūpniecības organiskos atkritumus, notekūdeņu dūņas, cieto sadzīves atkritumu organiskās frakcijas, mājsaimniecību un sabiedriskās ēdināšanas organiskos atkritumus un enerģētiskās kultūras.

Darba gaitā aplūkoti divi kurināmā veidi un to ietekmē uz katla tehniskiem raksturlielumiem.

Mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir noskaidrot, kā mainīsies katla parametri, izmantojot biokurināmo degvielu. Mērķa sasniegšanai definēti vairāki uzdevumi.

1. Izpētīt literatūru par biogāzi.
 - Biogāzes ražošana un īpašības.
 - Fermentācija un obligātie parametri.
 - Degvielas tipiskais sastāvu.
2. Veikt katla aprēķinu, izmantojot divu veidu kurināmo.
 - Katla siltuma aprēķins.
 - Katla siltuma bilance.
 - Kurtuves siltuma aprēķins.
 - Konvektīvo virsmu siltuma aprēķins.
 - Katla aerodinamikas aprēķins.
3. Salīdzināt iegūtos rezultātus.
4. Izpētīt tehniskos parametrus, priekšrocības un trūkumus.

Darba gaita vai metodoloģija

Darba gaitā izpētīta literatūra par biogāzes izcelsmi, galvenajiem procesiem un raksturlielumiem. Pilnībā aprēķināts ūdenssildāmais liesmu cauruļu katls, izmantojot dabasgāzes un biogāzes tipiskos sastāvus. Iegūtie rezultāti apkopoti un izmantoti salīdzināšanai un secinājumu formulēšanai.

Rezultāti

1.1. tabula

Katla siltuma aprēķins

Nr.	Lielums	Mērvienība	Dabaszāze	Biogāze
1.	Zemākais degvielas sadegšanas siltums	kJ/m ³	36 170	24 056
2.	Teorētiskais gaisa daudzums, sadedzinot 1 m ³ degvielas	m ³ /m ³	9,58	6
3.	Trīsatomu tilpumi	m ³ /m ³	1,017	0,5
4.	Teorētiskie ūdens tvaiku tilpumi	m ³ /m ³	2,145	1,10
5.	Faktiskais ūdens tvaiku tilpumi	m ³ /m ³	2,168	1,11
6.	Teorētiskais slāpekļa daudzums	m ³ /m ³	7,58	4,75
7.	Faktiskais dūmgāzu apjoms normālos apstākļos	m ³ /m ³	11,714	8,32
8.	Trīsatomu gāzu daļa	-	0,087	0,060
9.	Ūdens tvaika daļa	-	0,183	0,132
10.	Kopējais trīsatomu gāzu apjoms	-	0,270	01,192
11.	Siltuma zudumi ar aizejošām dūmgāzēm	%	8,296	12,119
12.	Katla bruto lietderības koeficients	%	91,204	87,119
13.	Degvielas patēriņš	m ³ /s	0,197	0,309
14.	Katla siltuma bilances kopējā aprēķina nesaiste	%	0,404	0,410

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

1.2. tabula

Kurtuves siltuma aprēķins

Nr.	Lielums	Mērvienība	Dabagāze	Biogāze
1.	Ekrānu siltuma efektivitātes koeficients	–	0,65	0,65
2.	Staru vājināšanas koeficients	$\frac{1}{\text{m} \cdot \text{MPa}}$	1,7276	1,697
3.	Spīdīgās liesmas melnuma pakāpe	$\frac{1}{\text{m} \cdot \text{MPa}}$	0,137	0,12
4.	Lietderīgā siltuma izdalīšanās kurtuvē	kJ/nm^3	36 460,9	24 238,56
5.	Kurtuves melnuma pakāpe	–	0,1737	0,06
6.	Vidējā sadegšanas produktu siltumietilpība	kJ/nm^3	30,85	35
7.	Faktiskais dūmgāzu apjoms normālos apstākļos	m^3/m^3	11,714	8,32
8.	Entalpija kurtuves izejā	kJ/nm^3	25 507	16 783
9.	Starošanas atdotais siltums	kJ/nm^3	1089,7	741,3

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

1.3. tabula

Konvektīvo virsmu siltuma aprēķins (2. gāzeja)

Nr.	Lielums	Mērvienība	Dabaszāze	Biogāze
1.	Izplūdes gāzu temperatūra otrajā gāzejā [no kurtuves aprēķina]	°C	1478	1496
2.	Gāzes entalpija otrajā gāzejā	kJ/nm ³	25 507	16 783
3.	Gāzes temperatūra izejā no otrās gāzejas	°C	430	410
4.	Dūmgāzes entalpija, izejot no otrās gāzejas	kJ/nm ³	6654,4	3900,4
5.	Karsējamās vides siltumuztveres bilance	kJ/nm ³	18 739,5	12 805,3
6.	Dūmgāzu vidējā temperatūra	°C	954	953
7.	Vidējais gāzes ātrums kūlī	m/s	30,1	28
8.	Siltuma atdeves koeficients no dūmgāzēm uz ūdeni	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	142,81	130
9.	Trīsatomu gāzu staru vājināšanas koeficients	$\frac{1}{m \cdot MPa}$	3,064	3,23
10.	Gāzu plūsmas melnuma pakāpe temperatūrā	°C	953,85	956
11.	Piesārpotās virsmas absolūtā temperatūra	°C	115	115
12.	Siltuma atdeves koeficients	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	32,858	35
13.	Siltumapmaiņas koeficients	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	149,317	134,43
14.	Sildāmās vides siltumuztvere pēc siltumapmaiņas vienādojuma	kJ/nm ³	18 780	12 599

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

1.4. tabula

Konvektīvo virsmu siltuma aprēķins (3. gāzeja)

Nr.	Lielums	Mērvienība	Dabagāze	Biogāze
1.	Izplūdes gāzu temperatūra otrajā gāzejā [no kurtuves aprēķina]	°C	430	410
2.	Gāzes entalpija otrajā gāzejā	kJ/nm ³	6654	3900
3.	Gāzes temperatūra izejā no otrās gāzejas	°C	213	211
4.	Dūmgāzes entalpija, izejot no otrās gāzejas	kJ/nm ³	3206	1908
5.	Karsējamās vides siltumuztveres bilance	kJ/nm ³	3429	187,24
6.	Dūmgāzu vidējā temperatūra	°C	321,5	311,5
7.	Vidējais gāzes ātrums kūlī	m/s	10,41	8,34
8.	Siltuma atdeves koeficients no dūmgāzēm uz ūdeni	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	88,241	90,3
9.	Trīsatomu gāzu staru vājināšanas koeficients	$\frac{1}{m \cdot MPa}$	69,94	58,94
10.	Gāzu plūsmas melnuma pakāpe temperatūrā	°C	321,5	321,5
11.	Piesārņotās virsmas absolūtā temperatūra	°C	115	115
12.	Siltuma atdeves koeficients	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	0,65	0,63
13.	Siltumapmaiņas koeficients	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	75,558	80
14.	Sildāmās vides siltumuztvere pēc siltumapmaiņas vienādojuma	kJ/nm ³	3461	3427,68

Pēc visiem aprēķiniem un salīdzinājumiem tika konstatēts, ka, sadedzinot biogāzi, katla parametri atšķiras par 30 %, salīdzinot ar dabagāzi, piemēram, lai kurināmais sāktu degt, biogāzei vajadzēs krietni mazāk gaisa daudzuma. Biogāzei ir mazāka siltuma atdeve, tāpēc, izmantojot biogāzi, būs 1,5 reizes lielāks degvielas patēriņš un palielināsies siltuma zudumi. Runājot par konvektīvo virsmu, var secināt, ka, sadedzinot abus kurināmā veidus, īpašu izmaiņu nav, jo katla tehniskie parametri ir vienādi. Atšķirība ir tādos parametros kā dūmgāzu temperatūra, entalpija un absorbējošais spēks.

Pēc iegūtajiem rezultātiem var konstatēt, ka, salīdzinot divus kurināmā veidus, biogāzei ir nedaudz zemāki efektivitātes parametri, taču jāņem vērā tas, ka biodegvielas ražošana anaerobās fermentācijas ceļā uzskatāma par optimālu risinājumu dažāda veida organisko atkritumu pārstrādei, pārvēršot šos atkritumus atjaunojamā enerģijā un organiskajā mēslojumā.

Vienlaikus šķidro organisko frakciju atdalīšana no kopējās atkritumu plūsmas paugstina atlikušo atkritumu siltumspēju un palielina atkritumu poligonu stabilitāti.

Bet pagaidām biogāzes izmantošana būs izdevīga tikai lauksaimniecības sektorā, jo šajā sektorā ir pieejama izejviela.

Atsauces

1. *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications* (2013) [tiešsaiste]. Scribd [skatīts 10.02.2022]. Pieejams: https://ru.scribd.com/book/282655108/The-Biogas-Handbook-Science-Production-and-Applications?utm_medium=cpc&utm_source=google_search&utm_campaign=3Q_Google_DSA_NB_RoW&utm_term=&utm_device=c&gclid=Cj0KCQjwmuiTBhDoARIsAPiv6L9KV1xSSYmMOGrFSTyECmYNFHpkuz2AHW784HzKdlJXK-MIeFLXbR6IaAsk6EALw_wcB.
2. Nagļa, Jānis., *Siltumtehnikas aprēķini piemēros* : [mācību līdzeklis augstskolu tehnisko specialitāšu studentiem] /J. Nagļa, P. Saveljevs, A. Cars. Rīga: Zvaigzne. 1982, 309 lpp.
3. Карякин С. (2010). Котельные установки и парогенераторы: Тепловой расчёт котлов. Томск: Томский политехнический университет. стр. 156.

Summary

According to all calculations and comparisons, burning biogas differs by 30 % less than when burning natural gas. For example, biogas needs much less air to start burning, this also applies to the lower heat of combustion of the fuel, but biogas has lower heating value, and therefore, using biogas increases fuel consumption by 1.5 times and heat loss also increases. If we look at the convective surface, it can be concluded that nothing really changes when burning both types of fuel because the technical parameters of the boiler will be the same all the time, only there will be a difference in the output data such as: flue gas temperature, enthalpy, absorption power. According to the obtained results, it can be stated that comparing the two types of fuel, biogas has slightly lower efficiency parameters, but considering that it is a biofuel and production by anaerobic fermentation is considered to be the optimal solution for different recycling of this type of organic waste, this waste can be converted into renewable energy and organic in fertilizer. Simultaneous separation of liquid organic fractions from the total waste stream increases the calorific value of residual waste and increases the stability of landfills. But for the time being, the use of biogas will only benefit the agricultural sector, as they will have access to raw materials at all times.

BIVALENTA APKURES SISTĒMA

BIVALENT HEATING SYSTEM

MARKS KUBANOVS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts, Siltumenerģētisko sistēmu katedra, bakalaura profesionālo studiju līmenis, 4. studiju gads

Darba vadītājs asoc. profesors *Dr. sc. ing.* Dmitrijs Rusovs

Ievads

Viens no vissvarīgākajiem enerģētikas jautājumiem Eiropas Savienībā (ES), īpaši – Latvijā, ir: kā ražot enerģiju un kādus enerģijas avotus izmantot. Tendence ir tāda, ka ES un daudzas citas pasaules valstis vairs nevar ignorēt problēmas, kas saistītas ar ekoloģiskajiem jautājumiem, turklāt naftas un gāzes resursi nav bezgalīgi. Tradicionālie apkures un enerģijas ražošanas veidi ne tikai kaitē mūsu planētai, bet ir arī ekonomiski neizdevīgi. Jāatzīmē, ka Latvijā nav naftas vai gāzes resursu, tos ir iespējams tikai pirkt no citām valstīm. Tas nozīmē, ka tādām valstīm kā Latvija ir jāmeklē citi enerģijas ražošanas veidi, ņemot vērā situāciju pasaulē un ES / LR likumdošanu. Saskaņā ar ES likumdošanu, līdz 2049. gadam notiks dabasgāzes izmantošanas samazinājums līdz pat pilnai aizliegšanai. Tas nozīmē, ka arī Latvijai būs jāsamazina dabasgāzes patēriņš un jāmeklē ne tikai alternatīvi, bet arī ekoloģiski draudzīgi enerģijas avoti. Latvijā ir attīstīta mežsaimniecība un nav tik dārga elektriskā enerģija, tāpēc labākie varianti būtu apkure, izmantojot granulu katlu un/vai siltumsūkni. Abi varianti ir dabai draudzīgi, jo granulas ir ražotas no meža atlikumiem un koks ir atjaunojams enerģijas avots. Siltumsūknis ne tikai nerada emisiju, bet arī 2–3 reizes (atkarība no *SCOP*) efektīvāk pārveido elektrisko enerģiju siltumā. Arī ekspluatācijā iepriekš minētie varianti ir optimāli, jo siltumsūknis ir pilnīgi automātiska iekārta, savukārt granulu katls var būt pusautomātisks.

Mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izpētīt bivalentas apkures sistēmas būtību un uzprojektēt apkures sistēmu, kas ietver divus apkures siltuma ģeneratorus. Latvija ir ES dalībvalsts, tāpēc darba gaitā jāpievērš uzmanība ES normatīviem, kā arī Latvijas Republikas likumdošanai.

Lai sasniegtu darba mērķi, jāveic vairāki galvenie uzdevumi.

1. Noteikt ēkas siltuma zudumus.
2. Aprēķināt *SCOP* un bivalentu temperatūru.
3. Izveidot katlumājas siltuma shēmu.
4. Izveidot apkures sistēmu.
5. Veikt šādus aprēķinus apkures sistēmas iekārtu izvēlei: siltumnesēja tilpums; hidrauliskais aprēķins; bufera tvertne un izplešanās tvertne.
6. Izveidot apkures tāmi, lai noteiktu apkures sezonas izmaksas.
7. Izveidot iekārtas specifikāciju.
8. Aprakstīt automātikas darbības loģiku.

Darba gaita vai metodoloģija

Darba gaita sākas ar ēkas siltuma zudumu aprēķinu, lai noteiktu ēkas siltuma slodzi un izvēlētos siltuma ģeneratorus. Pēc siltuma zudumu aprēķina tika izvēlētas apkures iekārtas, kas saskaņota ar siltuma slodzi. Ņemot vērā to, ka apkures sistēma ir bivalenta un tā strādā alternatīvā režīmā, siltumsūknis tika izvēlēts ar jaudu 80 % no maksimālās slodzes, kas samazina arī sākotnējos ieguldījumus. Kā rezerves siltuma ģenerators ir izvēlēts granulu apkures katls. Pēc iekārtu izvēles izveidota apkures shēma, izmantojot *AutoCAD MagiCAD* programmatūru, un ar tās palīdzību izvēlēti apkures sistēmas radiatori, caurules un vārsti, kā arī ir izveidota apkures shēmas aksonometrija. Izmantojot to pašu programmatūru, aprēķināti sistēmas hidrauliskie zudumi, kā arī izveidota iekārtu specifikācija. Konstruējot Rosandera-Čistoviča grafiku, saņemti dati, lai noteiktu ēkas energopatēriņu, pēc grafika izveidota apkures tāme, lai noteiktu finanšu ieguldījumus apkures sezonā.

Rezultāti

Darba uzdevumi ir veiksmīgi izpildīti. Izveidota katlumājas un apkures shēma, izvēlētas sistēmas iekārtas un palīgiekārtas. Noteikti finanšu ieguldījumi, ko ir iespējams salīdzināt ar tradicionālajām apkures sistēmām. Svarīgi ir arī tas, kā bivalenta apkures sistēmu var izmantot reālos apstākļos Latvijas klimatā, kā arī reālais *SCOP* ir diezgan liels, kas nozīmē to, ka sistēma būs efektīva un ekonomiska. Bivalentas temperatūras aprēķins liecina par to, ka siltumsūknis uzņemas lielāko daļu slodzes apkures sezonas laikā, kas nozīmē, ka tas būs ērtāks un lētāks.

Atsauces

1. *ES vēlas līdz 2049. gadam pakāpeniski atteikties no dabasgāzes, lai cīnītos pret klimata pārmaiņām*:<https://www.euronews.com/my-europe/2021/12/15/eu-wants-to-phase-out-natural-gas-by-2049-to-fight-climate-change>.
2. *ES standarts, kā aprēķināt bivalentu temperatūru un SCOP*
https://www.en-standard.eu/bs-en-14825-2018-air-conditioners-liquid-chilling-packages-and-heat-pumps-with-electrically-driven-compressors-for-space-heating-and-cooling-testing-and-rating-at-part-load-conditions-and-calculation-of-seasonal-performance/?gclid=Cj0KCQjwmuiTBhDoARIsAPiv6L8tKovCDReB0HT21A6enYuoF2IkRuuwYlQKd7Qu9QL_nNEs2R1lDdcaAoCQEALw_wcB.

Summary

The purpose of the Bachelor's Thesis is to develop a bivalent heating system which includes a heating scheme, boiler room schemes, calculation of all necessary elements of systems (circulation pump, valves, pipelines), as well as hydraulic calculation of the heating system. Due to the environmental situation in the world, as well as the laws adopted in the European Union, the use of traditional heat sources will be limited every year, so it is necessary to use alternative sources of heat. One of the options is a bivalent heating system, which has the main source and a backup source of heat. A bivalent heating system includes two heat sources: a heat pump as the main source of heat supply and a pellet boiler as a backup heat source, which is switched on after reaching the bivalence point. The point of equivalence is calculated based on the EU regulation EN 14825:2018. To achieve the goal, various EU regulations were used, as well as building codes and rules for the design of boiler houses of the Republic of Latvia. To select a heat pump, the bivalent temperature was calculated and the SCOP coefficient was calculated to determine the efficiency of the heat pump. MagiCAD was used as a program for the development of the heating system, hydraulic calculations of the system were performed with its help, the selection of heating devices, valves and pipelines was made.

AR ŪDEŅRADI BAGĀTINĀTAS DABASGĀZES SADEDZINĀŠANA GĀZES KATLOS, MODELĒŠANA UN ANALĪZE, DEKARBONIZĀCIJAS PERSPEKTĪVA

COMBUSTION OF HYDROGEN-ENRICHED NATURAL GAS
IN GAS BOILERS, MODELLING AND ANALYSIS, PROSPECTS
FOR DECARBONISATION

KIRILS MIŠUROVS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Siltumenerģētisko sistēmu katedra, maģistra studiju 2. studiju gads

Darba vadītājs pētnieks *Mg. sc. ing.* Varis Žentiņš

Ievads

Maģistra darba tēmas aktualitāte ir saistīta ar CO₂ emisiju samazināšanu un enerģētikas sistēmas dekarbonizāciju. Enerģijas sistēmas attīstās, lai samazinātu ietekmi uz vidi un risinātu problēmas, kas saistītas ar klimata pārmaiņām. Paredzams, ka nākotnē enerģētika balstīsies uz “zaļiem” un atjaunojamiem avotiem, kas spēj nodrošināt enerģiju ar zema oglekļa dioksīda (CO₂) emisiju. Dekarbonizācija ietver elektroapgādi, siltumapgādi un aukstumapgādi ēkās un rūpniecības uzņēmumos, kā arī transportā. Tātad ir vajadzība pēc jaunām tehnoloģijām, kas ļaus izmantot inovatīvu enerģiju un sabalansēt tīklu.

Darba gaitā izpētīta dabasgāzes bagātināšana ar ūdeņradi, ar ūdeņradi bagātinātas dabasgāzes sadedzināšana gāzes katlos, modelēšana un analīze, uzglabāšanas iespējas Inčukalnā, dekarbonizācijas perspektīva, Latvijas nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2021.–2030. gadam, Latvijas stratēģija klimatneitralitātes sasniegšanai līdz 2050. gadam, iekārtu tehniskie dati un dokumentācija.

Gāzes elementārais sastāvs [1]

Kurināmais	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂ un >	N ₂	CO ₂	H ₂
Dabasgāze	95,60 %	0,70 %	0,40 %	0,20 %	0,20 %	2,80 %	0,10 %	0 %
HENG 20 %	76,48 %	0,56 %	0,32 %	0,16 %	0,16 %	2,24 %	0,08 %	20 %
HENG 40 %	57,36 %	0,42 %	0,24 %	0,12 %	0,12 %	1,68 %	0,06 %	40 %
HENG 60 %	38,24 %	0,28 %	0,16 %	0,08 %	0,08 %	1,12 %	0,04 %	60 %
HENG 80 %	19,12 %	0,14 %	0,08 %	0,04 %	0,04 %	0,56 %	0,02 %	80 %

Mērķis

Maģistra darba mērķis ir noskaidrot ar ūdeņradi bagātinātas dabasgāzes izmantošanas kondensācijas katlos efektivitāti, izdevīgumu, salīdzinot ar dabasgāzes izmantošanu un kondensācijas koeficienta ietekmi uz katla lietderības koeficientu, kā arī izpētīt dabasgāzes bagātināšanu ar ūdeņradi, to uzglabāšanas un esošo sistēmu izmantošanas iespējas, izpētīt saistītos likumdošanas jautājumus un patstāvīgi veikt aprēķinu daļu.

Maģistra darba hipotēze: palielinoties ūdeņraža saturam, ar ūdeņradi bagātinātā dabasgāzē palielinās kondensācijas katla lietderības koeficients.

Maģistra darba uzdevumi

1. Veikt kurināmā degšanas aprēķinus dažāda kurināmā sastāviem.
2. Veikt dūmgāzu entalpijas aprēķinus dažāda kurināmā sastāviem.
3. Aprēķināt kondensācijas katla lietderības koeficientus ar atgriezenisko siltuma bilances metodi dažāda kurināmā sastāviem.
4. Veikt kurtuves slodzes siltumtehnikos aprēķinus dažāda kurināmā sastāviem pie dažādiem kondensācijas koeficientiem.
5. Veikt katla kurtuves siltumpārneses aprēķinus, aprēķināt izmaksas dažāda kurināmā sastāviem pie dažādām kondensācijas koeficientiem.

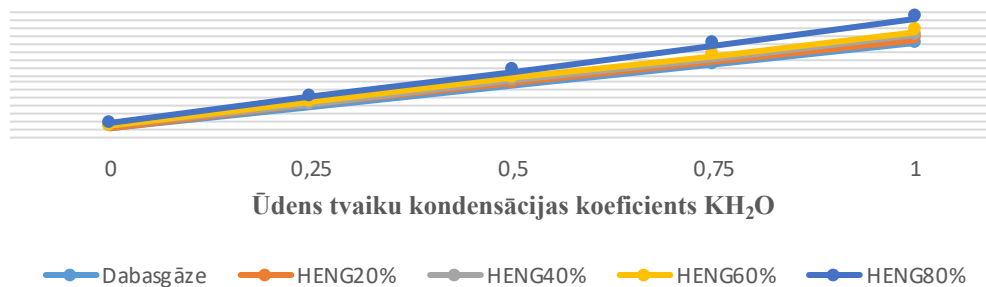
Materiāli un metodes

Maģistra darba izstrādes laikā izmantota analītiskā pētījuma un plānošanas metode, kas balstīta attiecīgajos Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumos, esošo un jaunuzstādīto iekārtu tehniskajos datos un ražotāju tehnoloģiskajās instrukcijās, kā arī patstāvīgi veikto aprēķinu rezultātos, pētījumos un salīdzinājumos. Veicot aprēķinus, izdevās noskaidrot reālu kondensācijas katla lietderības koeficientu ar izmantoto ūdens tvaika kondensātu, salīdzināt dabasgāzes un ar ūdeņradi bagātinātas dabasgāzes ar dažādu ūdeņraža saturu izmantošanas efektivitāti un izdevīgumu pie dažādiem ūdens tvaika kondensācijas koeficientiem. Katlu kurināšanai vēl netika izmantota ar ūdeņradi bagātināta dabasgāze, tāpēc aprēķinos ūdeņraža sastāvs ar ūdeņradi bagātināta dabasgāzē tika pieņemts – 0 %, 20 %, 40 %, 60 % un 80 %. Ar “*Conexus Baltic Grid*” mērīšanas datiem tika aprēķināts reālais kondensācijas katla lietderības koeficients ar izmantoto ūdens tvaika kondensātu ne tikai dabasgāzei, kas tiek izmantota šī katla kurināšanai, bet arī ar ūdeņradi bagātinātai dabasgāzei. Pēc autora aprēķiniem reālais lietderības koeficients ir 107,2 % [2]. Neskatoties uz to, ka CO₂ emisiju daudzums gadā dabasgāzei svārstās no 81,06 t līdz 89,92 t un izmaksas par CO₂ emisijām veido 2610–2353 eiro gadā, CO₂ emisiju daudzums gadā HENG 80 % svārstās no 35,56 t līdz 40,42 t, izmaksas par CO₂ emisijām veido 1032–1173 eiro, dabasgāzes izmantošana ir ekonomiski izdevīgāka.

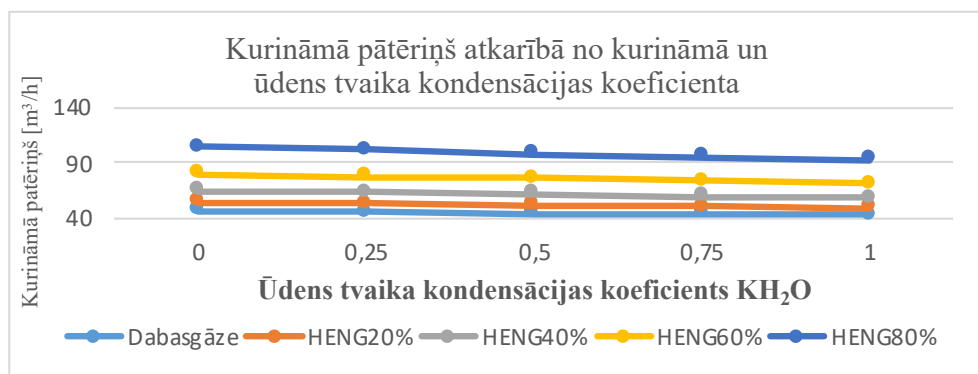
Rentabla ir tikai dabasgāzes izmantošana, kas pie visiem ūdens tvaika kondensācijas koeficientiem nes peļņu par saražoto siltuma enerģiju. Ar ūdeņradi bagātinātas dabasgāzes izmantošana nav rentabla, jo tā nes peļņu tikai vienā gadījumā – 20 % ūdeņraža maisījuma sastāvam pie maksimāla ūdens tvaika kondensācijas koeficienta. Pārējos gadījumos ar ūdeņradi bagātinātas dabasgāzes izmantošana nes tikai zaudējumus, kas var sasniegt vairāk par 500 tūkstošiem eiro gadā [3].

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

Katla bruto lietderības koeficients atkarībā no kurināmā un ūdens tvaika kondensācijas koeficienta



1. att. Kondensācijas katla "Unical XC-K900" bruto lietderības koeficients dažādiem kurināmiem atkarībā no udeņraža daudzuma kurināmā sastāvā pie dažādiem ūdens tvaika kondensācijas koeficientiem.



2. att. Kondensācijas katla "Unical XC-K900" kurināmā patēriņš dažādiem kurināmiem atkarībā no udeņraža daudzuma kurināmā sastāvā pie dažādiem ūdens tvaika kondensācijas koeficientiem.

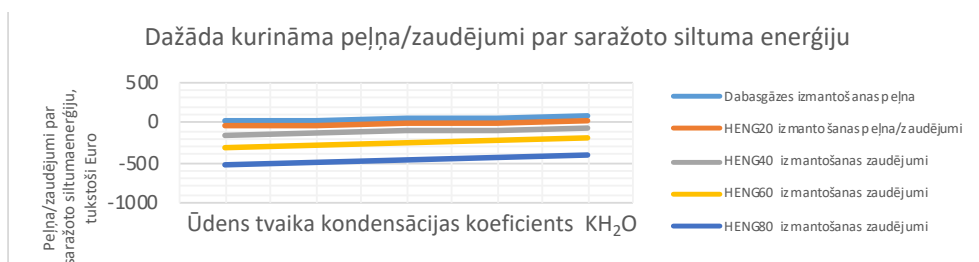
Rezultāti

Noskaidrota ar ūdeņradi bagātinātas dabasgāzes izmantošanas kondensācijas katlos efektivitāte un izdevīgums, salīdzinot ar dabasgāzes izmantošanu un kondensācijas koeficienta ietekmi uz katla lietderības koeficientu. Līdz ar ko šī darba noteiktos mērķus autors uzskata par sasniegtiem.

Autora veikto aprēķinu rezultāti

Zemākais sadegšanas siltums *HENG* 80 % ($15\,755\text{ kJ/m}^3$) ir 2,26 reizes mazāks nekā dabasgāzes ($35\,578\text{ kJ/m}^3$). Dūmgāzu entalpija pie $100\text{ }^\circ\text{C}$ *HENG* 80 % ($446,09\text{ kJ m}^3$) ir 3,7 reizes mazāka nekā dabasgāzes dūmgāzu entalpija pie $100\text{ }^\circ\text{C}$ ($1628,62\text{ kJ/m}^3$). Kondensācijas katlam pie kondensācijas koeficienta 1 ar ūdeņraža daļas palielinājumu kurināmā lietderības koeficients palielinās par 3,23 % (no 109,03 % dabasgāzei līdz 112,26 % *HENG* 80 %), tomēr vienlaikus kurināmā patēriņš palielinās 2,2 reizes (no $42,04\text{ m}^3/\text{h}$ līdz $92,21\text{ m}^3/\text{h}$). Dūmgāzu temperatūra kurtuves izejā atkarībā no ūdeņraža satura kurināmā palielinājās gandrīz 2 (1,93) reizes (no $45,78\text{ }^\circ\text{C}$ līdz $88,15\text{ }^\circ\text{C}$). Uzsildīšanas virsmas siltuma slodze *HENG* 80 % ($27\,693,83\text{ kcal/m}^3$) samazinās 2,35 reizes, salīdzinot ar dabasgāzi ($65\,120,77\text{ kcal/m}^3$) [2].

Aprēķinos pieņemts, ka katlumāja strādās diennakti visu gadu. Ekonomiskais aprēķins liecina, ka, izmantojot dabasgāzi kā kurināmo, nenemot vērā to, ka par CO_2 emisijām jāmaksā vairāk, tiek iegūta peļņa 76104 eiro gadā. Ekonomiskie aprēķini ar ūdeņradi bagātināta dabasgāzes izmantošanai jebkādā proporcijā neatmaksājās un nes zaudējumus līdz pat 403 512 eiro gadā. Zaudējumi palielinās atkarībā no ūdeņraža proporcijas maisījumā, jo lielāks ūdeņraža īpatsvars, jo lielāki zaudējumi [3].



3. att. Peļņa/zaudējumi par saražoto siltuma enerģiju gadā atkarībā no ūdeņraža daudzuma kurināmā sastāvā un ūdens tvaika kondensācijas koeficienta.

Atsauces

1. Nagla J., Saveljevs P., Cars A. *Siltumtehnikie aprēķini piemēros*. Rīga: Zvaigzne, 1982., 309 lpp.
2. Г. М. Каган. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Санкт-Петербург, 1998., 257 с.
3. Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. *CO₂ emisiju no kurināmā stacionārās sadedzināšanas aprēķina metodika*. 2021., 13 lpp.

Summary

The current focus on the subject of the Master's Thesis is related to the reduction of CO₂ emissions and the decarbonisation of the energy system. Energy systems are developing to reduce environmental impacts and address climate change challenges. In the future, energy is expected to be based on "green" and renewable sources capable of providing low-carbon energy (CO₂). Decarbonisation includes electricity, heating and cooling in buildings and industrial enterprises, as well as transport. Consequently, there is a need for new technologies that will allow the use of innovative energy and grid balance.

The Thesis explores the enrichment of hydrogen natural gas, the incineration of hydrogen-rich natural gas in gas boilers, modelling and analysis, storage facilities at *Inčukalns* storage, the prospects for decarbonisation, Latvia's national energy and climate plan for 2021–2030, Latvia's strategy for achieving climate neutrality by 2050, plant technical data and documentation. The aim of the Thesis is to clarify the effectiveness of the use of hydrogen-rich natural gas in condensation boilers, the advantage compared to the use of natural gas and the effect of the condensation factor on the efficiency of the boiler. The Thesis explores the enrichment of natural gas with hydrogen, the possibilities for storage and use of existing systems, exploring related legislative issues and independently carrying out the calculation part. The Thesis hypothesis is – increasing of the hydrogen content in hydrogen-rich natural gas increases the efficiency of the condenser boiler.

Tasks of the Thesis

The following tasks were set: to perform fuel burning calculations for different fuel compositions; to calculate of flue-gas enthalpy for different fuel compositions; to calculate the efficiency ratios of the condenser boiler with the feedback heat balance method for different fuel compositions; to perform the thermal engineering calculations of the furnace load for different fuel compositions at different condensation factors; to do heat transfer calculations for boiler furnace; to calculate costs for different fuel compositions at different condensation ratios; to assess the effectiveness of the use of hydrogen-rich natural gas in condensation boilers, the advantage compared to the use of natural gas and the effect of the condensation factor on the efficiency of the boiler were clarified. Consequently, the objectives set out in this work are considered to have been achieved. The calculations took into account how the boiler house would be working day-to-day throughout the year, and as a result, the economic calculation showed how to use natural gas to fuel and despite having to pay more for CO₂ emissions, a profit of EUR 76104 per year is generated. The economic calculations for the use of hydrogen-rich natural gas in any proportion did not pay off and carry losses of up to EUR 403 512 per annum. Losses increase depending on the proportion of hydrogen in the mixture, the higher the proportion of hydrogen, the higher the losses [3].

SILTUMCENTRĀLES "ZIEPNIEKKALNS" ŪDEŅRAŽA RAŽOŠANAS, UZGLABĀŠANAS UN IZMANTOŠANAS IESPĒJAS

POSSIBILITIES OF HYDROGEN PRODUCTION, STORAGE AND
USE OF THE HEAT PLANT "ZIEPNIEKKALNS"

FILIPS KUKŠINOVS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Siltumenerģētisko sistēmu katedra, maģistra studiju 2. studiju gads
Darba vadītājs pētnieks *Mg. sc. ing.* Varis Žentiņš

Ievads

Patlaban Eiropā plānots aktīvi aizvietot fosila kurināmā izmantošanu ar atjaunojamiem kurināmā veidiem, līdz 2050. gadam samazinot siltumnīcefekta gāzu emisijas līdz nullei, kas nozīmē padarīt Eiropu par klimatneitrālu pasaules daļu. Tāpēc Eiropā aktīvi tiek izskatītas jaunas tehnoloģijas, lai sāktu izmantot un ražot atjaunojamus kurināmā veidus un daļēji atteiktos no fosilajiem kurināmā veidiem. Viens no kurināmā veidiem, ko sāk aktīvi izmantot, pētīt un attīstīt tā ražošanas, izmantošanas un uzglabāšanas tehnoloģijas, ir ūdeņradi. Par tīru ūdeņradi jeb zaļo ūdeņradi nosauc ūdeņradi, kas tiek iegūts ūdens elektrolīzē, izmantojot elektroenerģiju no atjaunojamiem energoresursiem, elektroenerģijas ražošanas procesā nerodas siltumnīcefekta gāzes.

Maģistra darba temats ir aktuāls, jo šobrīd Latvijā sāk aktīvi izskatīt iespējas ražot un izmantot vietējos atjaunojamā kurināmā veidus, tostarp – zaļo ūdeņradi. Ar tiem plānots samazināt siltumnīcefekta gāzes emisijas un samazināt fosilā kurināmā izmantošanu. Viens no pirmajiem Latvijā, kas pēta iespēju izmantot, ražot un uzglabāt ūdeņradi savos rūpniecības objektos, ir AS "RĪGAS SILTUMS". Maģistra darba temats saistīts ar ūdeņraža ražošanas, izmantošanas un uzglabāšanas iespējam AS "RĪGAS SILTUMS" objektā

SC "Ziepniekkalns", kur tiek ražota elektroenerģija koģenerācijas energoblokā, izmantojot atjaunojamā kurināmā veidu.

Mērķis

Maģistra darba hipotēze

SC “Ziepniekkalns” biokurināmā koģenerācijas energobloka darbība bez elektroenerģijas obligātā iepirkuma ir ekonomiski izdevīga, ražojot ūdeņradi un pārdodot saražotas elektroenerģijas pārpalikumu elektroenerģijas biržā.

Maģistra darba mērķis ir izvērtēt SC “Ziepniekkalns” biokurināmā koģenerācijas energobloka iespējamo darbības režīmu bez elektroenerģijas obligātā iepirkuma un ūdeņraža ražošanas, uzglabāšanas un izmantošanas iespējas. Lai sasniegtu darba mērķi, noteikti vairāki uzdevumi.

SC “Ziepniekkalns” esošas situācijas izvērtēšana.

1. Elektroenerģijas ražošanas pašizmaksas aprēķināšana koģenerācijas energoblokam.
2. Koģenerācijas energoblokā saražotas elektroenerģijas pārpalikuma aprēķināšana.
3. Ūdeņraža ražošanas, uzglabāšanas un izmantošanas sistēmas izvēle.
4. Ūdeņraža sistēmas izvietošana.
5. Projekta realizācijas izmaksu noteikšana.
6. Projekta realizācijas variantu tehniski ekonomisko aprēķinu sagatavošana.

Materiāli un metodes

Pētījumā daļā izvērtēta iespēja izmantot koģenerācijas energobloku bez elektroenerģijas obligātā iepirkuma un izpētīta iespēja ražot, uzglabāt un izmantot ūdeņradi SC “Ziepniekkalns” teritorijā [1, 2]. Sākotnēji tika veikti elektroenerģijas ražošanas pašizmaksas aprēķini biokurināma koģenerācijas energoblokam [4, 5], lai salīdzinātu koģenerācijas energobloka ražošanas pašizmaksas ar elektroenerģijas biržas cenām un noteiktu iespējas pārdot saražotās elektroenerģijas pārpalikumu elektroenerģijas tirgū, kad tas ir izdevīgi [6].

Izvērtējot elektroenerģijas pārdošanas iespējas biržā, veikti SC “Ziepniekkalns” pašpatēriņa aprēķini un pārpalikuma noteikšana [11], jo SC “Ziepniekkalns” elektroenerģijas pašpatēriņš mainās katru stundu visa gada griezumā un tā noteikšana ir nepieciešama, lai piemeklētu elektrolīzes iekārtu.

Maksimālais stundas elektroenerģijas pašpatēriņš 2021. gadā bija 1024,31 kWh, minimālais stundas elektroenerģijas pašpatēriņš SC “Ziepniekkalns” koģenerācijas energobloka darbības laikā – 324,73 kWh, neņemot vērā stundas, kad koģenerācijas energobloks nedarbojās. Pēc elektroenerģijas pārpalikuma aprēķina tika izvēlēta ūdeņraža tehnoloģija un piemeklētas divas Norvēģijas ražotāja *Ltd. “Nel Hydrogen”*

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

cieta polimēra elektrolīta elektrolīzes iekārtas *MC250* un *MC500* ar ūdeņraža ražību $246 \text{ Nm}^3/\text{h}$ un $492 \text{ Nm}^3/\text{h}$, ar izejas spiedienu 30 bar, vidējo elektroenerģijas patēriņu $4,5 \text{ kWh/Nm}^3$, ūdeņraža tīrību 99,9995 % [7]. Pirms kompresoru stacijas piemeklēšanas veikti ūdeņraža saspiešanas aprēķini, lai noteiktu galaparametrus, saspižot saražoto ūdeņradi no 30 bar līdz 350 bar, 500 bar un 700 bar [3]. Pēc elektrolīzes iekārtas tehniskajiem parametriem piemeklētas divas Vācijas ražotāja “*Linde plc.*” ūdeņraža kompresoru stacijas *IC50/30* un *IC50/60* ar spēju saspīst saražoto ūdeņradi līdz 500 bar [8]. Tika izvēlētas Vācijas ražotāja “*GKN Hydrogen*” ūdeņraža uzglabāšanas tvertnes ar darbības spiedienu līdz 40 bar, katrā uzglabāšanas tvertnē var uzglabāt līdz 265 kg ūdeņraža [9]. Ūdeņraža transportēšanai piemeklētas speciālas ūdeņraža transportēšanas puspiekabes *HEXAGON LINCOLN TITAN V Magnum*, kas var transportēt 1500 kg H_2 ar spiedienu līdz 540 bar, ko iespējams uzpildīt siltumcentrāles teritorijā un transportēt līdz patērētājiem [10].

Pēc iekārtas piemeklēšanas izvēlēta iespējamā ūdeņraža sistēmas izvietošanas vieta, kā arī izskatītas ūdeņraža izmantošanas iespējas autotransporta un enerģētikas nozarē. Pēc iekārtu izvēles un projekta realizācijas izmaksu aprēķina veikti projekta variantu tehniski ekonomiskie aprēķini [4, 5].

Rezultāti

Veicot izpētes darbu, secināts, ka, ražojot elektroenerģiju SC “Ziepniekkalns” bez elektroenerģijas obligāta iepirkuma, saražoto elektroenerģiju var izmantot siltumcentrāles pašpatēriņam, bet elektroenerģijas pārpalikumu, kad elektroenerģijas biržas cenas ir augstākas nekā KE ražošanas pašizmaksas, var pārdot elektroenerģijas biržā. Savukārt tad, kad elektroenerģijas tirgus cenas ir zemas, saražotas elektroenerģijas pārpalikumu var izmantot ūdeņraža ražošanai, izmantojot elektrolīzes tehnoloģiju, un saražoto ūdeņradi iespējams izmantot autotransporta uzpildei. Pēc veiktajiem tehniski ekonomiskajiem aprēķiniem, var konstatēt, ka projekta realizācijas varianti atmaksāsies.

Atsauces

1. Kleperis J., Lesničenoks P., Ūdeņradis un degšūnu tehnoloģijas un perspektīvas, Rīga, RTU, 2021. – 367 lpp.
2. Jansons L. Ūdeņraža enerģētika: aktuālā situācija un attīstības perspektīvas – Rīga, Enerģija un Pasaule, 2020. – 31. lpp.
3. Nagļa J., Saveļjevs P., Cars A. Siltumtehnikie aprēķini piemēros. – Rīga: Zvaigzne, 1982. – 310 lpp.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

4. Гительман Л. Д., Ратников Б. Е. Энергетический бизнес. – Москва: Дело, 2006. – 600 с.
5. Борисова Л. М., Гершакович Е. А. Экономика энергетики. – Томск: ТПУ, 2006. – 208 с.
6. Nord Pool Market data [skatīts 03.01.2022.].
7. Pieejams: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/LV/Hourly/?view=table>.
8. Nel Hydrogen elektrolīzes iekārtas tehniska specifikācija [skatīts 15.01.2022.].
9. Pieejams: <https://nelhydrogen.com/product/m-series-containerized/>.
10. Linde plc. ūdeņraža kompresoru stacijas [skatīts 20.01.2022.].
11. Pieejams: <https://www.linde-engineering.com/en/plant-components/hydrogen-refueling-technologies/index.html>.
12. GKN Hydrogen HY2MEGA ūdeņraža uzglabāšanas sistēma [skatīts 02.02.2022.].
13. Pieejams: <https://www.gknhydrogen.com/>.
14. HEXAGON LINCOLN TITAN V Magnum puspiekabe [skatīts 20.02.2022.].
15. Pieejams: https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/csd_workshop_8_baldwin.pdf.
16. AS "RĪGAS SILTUMS" tehnisko datu sistēma.

Summary

During the research work, it was concluded that when electricity is produced in heat plant "Ziepniekalns" without mandatory purchase of electricity, the produced electricity can be used for self-consumption of the thermal power plant, but the excess electricity, when the prices of the electricity exchange are higher than the cost of production of KE, can be sold on the electricity exchange.

When the price is low, the produced surplus electricity can be used to produce hydrogen using electrolysis technology and the hydrogen produced can be used to refuel vehicles. According to the performed technical-economic calculations, we can state that the project implementation options will pay off.

ŠĶELDAS FIZIKĀLO RAKSTURLIELUMU NOTEIKŠANA UN TO IETEKME UZ BIOKURINĀMĀ UDENSSILDĀMĀ KATLA DARBĪBU

DETERMINATION OF PHYSICAL CHARACTERISTICS OF
WOOD CHIPS AND THEIR INFLUENCE ON THE OPERATION
OF A BIOFUEL WATER HEATING BOILER

KRISTIS KUČINSKIS

RTU MTAF Mehānikas un mašīnbūves institūts,
Siltumenerģētisko sistēmu katedra, maģistra studiju 2. studiju gads

Darba vadītājs asoc. profesors *Dr. sc. ing.* Dmitrijs Rusovs

Ievads

Atjaunojamo energoresursu tēma mūsdienās ir viena no aktuālākajām. Eiropas Savienībai virzoties uz klimata neitralitāti, ir svarīgi apzināties to, ka biokurināmā katlumājas ir viens no siltuma ražošanas balstiem ceļā uz “Zaļā kursa” iniciatīvu sasniegšanu. Jo vairāk tiks samazināta dabasgāzes izmantošana siltumenerģētikā, jo vairāk finansiālo līdzekļu paliks Latvijas ekonomikā, jo lielākā daļa biokurināmā materiāla tiek realizēta Latvijas teritorijā. Šobrīd ir ieceres palielināt biokurināmā katlumāju skaitu, lai samazinātu Latvijas enerģētikas nozares atkarību no Krievijas dabasgāzes. Līdz ar to ir svarīgi akcentēt biokurināmā siltuma avotu darbības principus un ar tiem saistītās iekārtas. Lai nodrošinātu stabilitu, kontrolētu un pareizu degšanu kurtuvē, nepieciešama precīzāka vērtība kurināmā mitruma iestatījumam ūdenssildāmā katla kontroles programmā, no kā ir atkarīga ūdenssildāmā katla iekārtas korekta darbība. Līdz ar to, ja kurtuvē veidosies stabila un kontrolēta degšana, tiks normalizēts piesārņojošo izmešu apjoms un sasniegti nelieli uzlabojumi katliekārtas lietderības koeficienta vērtībai.

Mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izstrādāt metodiku šķeldas raksturojošo fizikālo lielumu kontrolei biokurināmā katlumājā. Izstrādātā darba hipotēze – biokurināmā šķeldas kvalitāte ietekmē katlumājas darbību un tās efektivitāti. Lai uzlabotu tehniskos un ekonomiskos rādītājus, ieteicams ieviest šķeldas kvalitātes operatīvu kontroli.

Izstrādātās metodikas apraksts: darbībā esoša biokurināmā šķeldas siltuma avota izpēte; šķeldas kvalitātes parametru noteikšanas standartu lietojums algoritmu izstrādei; šķeldas kvalitātes parametru laboratorijas mērījumi praktiskā realizācijā; biokurināmā uzskaites ekonomisko rādītāju analīze; šķeldas uzskaites pilnveidošanas iespējas izskatīšana; biokurināmā kontroles ieviešanas izmaksas un ieguvumu aprēķins katlumājā; biokurināmā katlumājas piesārņojošo vielu izmešu izvērtēšana.

Lai sasniegtu darba mērķi, noteikti vairāki uzdevumi.

1. Veikt apskatu par iekārtām, kas iekļaujas biokurināmo iekārtu apsaistes kompleksos.
2. Aplūkot biokurināmā šķeldas kvalitātes raksturīgos parametrus.
3. Izstrādāt vizuālus algoritmus esošajai un piedāvātajai norēķinu sistēmai.
4. Veikt praktisku šķeldas koksnes parauga testēšanu koksnes fizikālo īpašību testēšanas laboratorijā.
5. Aprēķināt ekonomisko guvumu norēķinu sistēmas nomaiņai uz piedāvāto sešu mēnešu griezumā.
6. Aprēķināt piesārņojošo vielu emisijas sešu mēnešu griezumā, pārliecinoties, ka nav pārkāpti noteiktie piesārņojošo vielu emisiju limiti.

Darba gaita vai metodoloģija

Darba gaitā veikta ar biokurināmo saistītu iekārtu izpēte, kas ļāva apzināties nepieciešamos biokurināmā šķeldas kvalitātes parametrus iekārtu optimālai darbībai. Tika apskatīti raksturīgie šķeldas piegādes līguma nosacījumi saistībā ar biokurināmā piegādēm, jo biokurināmā katlumājām ir svarīga šķeldas kvalitāte, lai izvairītos no neplānotiem iekārtu remontiem, kas radušies, dedzinot nekvalitatīvas izcelsmes šķeldu, sadārdzinot ražošanas izmaksas ar nevajadzīgiem defektiem. Lai praktiski testētu koksnes fizikālās īpašības, tika apmeklēta SIA "MeKA" akreditētā koksnes fizikālo īpašību testēšanas laboratorija Jelgavā, kurā autors iepazinās ar koksnes fizikālo īpašību testēšanas metodēm, iekārtām un dokumentāciju jeb tā sauktajiem testēšanas pārskatiem. Izmantojot *LVS EN ISO* esošās formulas, autors secināja, ka, mainot norēķinu metodiku, esošā siltuma ražošanas uzņēmumā iespējams panākt ekonomiju norēķinos par biokurināmā piegādēm. Sešu mēnešu laikā līdzās esošai norēķinu

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

sistēmai tika rēķināta naudas izteiksmes vērtība, ja tiktu lietota autora rekomendētā norēķinu metode. Rezultātā, vērojot to, kā rodas ekonomija, autors izstrādāja algoritmu piedāvātajai norēķinu sistēmai, tās dēļ mainās testējamā parauga noņemšana no kravas, kā arī aprēķinu formulas. Svarīgi ir pārliecināties par to, vai aplūkotajā periodā netiek pārsniegti emisiju limiti, kas noteikti normatīvajos aktos stacionāriem piesārņojuma avotiem.

Rezultāti

Darba gaitā, spriežot pēc aprēķiniem, ir nepieciešams pāriet uz piedāvāto metodiku. Tika aprēķināts, ka sešu mēnešu laikā starp esošo un piedāvāto norēķinu sistēmu bija redzama atšķirība. Ar esošo norēķinu sistēmu par aplūkoto periodu siltuma ražošanas uzņēmumam bija jāsamaksā 2 013 798,25 eiro. Tajā pašā laikā, izmantojot autora piedāvāto norēķinu sistēmu, mainot metodiku, siltuma ražošanas uzņēmumam par to pašu piegādes apjomu jāsamaksā 1 961 878,52 eiro. Starpība ir 51 919,73 eiro. Lai uzturētu piedāvāto norēķinu sistēmu, ir jānodrošina papildu koksnes parauga noņemšana no katras piegādātās biokurināmā kravas, kam ir nepieciešams kvalificēts darbinieks, tāpēc tika aprēķinātas prognozējamās izmaksas piedāvātās metodikas darbības nodrošināšanai. Atskaitot prognozētos izdevumus, tiek iegūta kopējā naudas summas starpība jeb guvums, mainot norēķinu sistēmu, par biokurināmo – 34 596,01 eiro. Priekšlikums siltuma ražošanas uzņēmumam ir iegādāties iekārtas, ar kurām pašu spēkiem iespējams testēt koksnes paraugus, lai noskaidrotu mitruma saturu, tādējādi vēl samazinot prognozētās izmaksas. Aplūkotajā periodā tika aprēķinātas arī piesārņojošo vielu emisijas stacionāriem piesārņojuma avotiem, taču pārkāpumi netika konstatēti. Lai pārliecinātos par emisiju vielu aprēķinu pareizību, sadarbībā ar laboratoriju “Vides impulss” tika veikta arī praktiska dūmgāzu analīze. Mērījumos ar skābekļa koncentrāciju dūmgāzēs 6 % joprojām netika konstatēti piesārņojošo vielu emisiju pārkāpumi.

Atsauces

1. J. Nagla, P. Saveljevs, A. Cars, 1982. “Siltumtehniekie aprēķini piemēros”, izdevniecība “Zvaigzne”, Rīga.
2. J. Nagla, P. Saveljevs, R. Ciemiņš, 1981. “Siltumtehnikas pamati” izdevniecība “Zvaigzne”, Rīga.
3. E. Bukšāns, K. Būmanis, A. Domkins, A. Dekšnis, P. Beķeris, 2019. “Koksne šodien un nākotnē”, izdevniecība “Šalkone”, Jelgava.
4. LVS EN ISO 14778-2:2005 “Cietais biokurināmais. Paraugu ņemšana. 2. daļa: kravas automobilī transportēta birstoša materiāla paraugu ņemšanas metodes”.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

5. LVS EN ISO 14780:2017 "Cietais biokurināmais. Paraugu sagatavošana".
6. LVS EN 18125:2017 standartu "Cietais biokurināmais. Siltumspējas noteikšana".
7. LVS EN ISO 18134-2:2017 "Mitruma satura noteikšana. Žāvēšanas krāsnī. 2. daļa: Kopējais mitrums. Vienkāršotā metode".
8. LVS EN ISO 18122:2016 "Cietais biokurināmais. Pelnu satura noteikšana".

Summary

The quality parameters of biofuel chips affect the operability of the boiler house and its efficiency. The lower the quality of the chips, the lower are the economic benefits. Excessively wet chips can disrupt the combustion process in the furnace. During the preparation of the Master's Thesis, 5 different LVS EN ISO standards have been considered, which include all the necessary information to perform high-quality testing of a wood sample as well as to achieve the most accurate testing results.

In order to find out the methodology for practical testing of a wood sample, it was necessary to visit a laboratory for testing the physical properties of wood in order to understand the practical methods of testing wood. When testing a selected sample from the chips delivered from the object, the following conclusions were made: the moisture content of the sample 60.3 % does not meet the conditions specified in the supply contract; the calorific value of the sample is relatively low in the operating capacity 1.654 MWh/t; the ash content in the sample is within normal limits within the terms of the contract $A_d = 1.9 \%$.

An algorithm was developed to exclude economic losses in biofuel supplies, which includes a change in the sampling methodology to additionally remove the sample from each load for testing the moisture content, as well as a change in the total energy content calculation using the lowest calorific value at dry ash base.

A proposal has been developed on how to create an optimal testing and billing system without overpaying the biofuel supplier (optimization includes balancing the added costs with the benefits of buying quality biofuels). € 17,323.72 is needed to maintain this proposed algorithm system in the given time period, so the final gain is € 34,596.01.

A proposal is submitted for the object in question. If the proposed payment method is introduced, then the delivery period of 5 calendar days is transferred to the delivery period of 7 calendar days. This would lead to a higher supply of biofuel cargoes in order to reap greater economic benefits by reducing paperwork.

RAŽOŠANAS TEHNOLOĢIJA

The author proposes to purchase equipment for self-testing of samples, thus knowing the current humidity in the biofuel, in order to take measures for a stable and efficient combustion process in the furnace: drying machine SLW1000 from the manufacturer POL-EKO, the price of which is 7,200 €; the sample divider according to the conditions of LVS EN ISO 14780: 2017, offered by SIA "MeKa" for the price of 800 €. Prices are without value added tax. It is also necessary to instruct the employee to ensure proper sample preparation, as 80 % accuracy of the results from the entire testing process depends on sample preparation.