



RĪGAS TEHNISKĀ  
UNIVERSITĀTE

Ruslans Muhitovs

# DZELZCEĻA PĀRMIJAS TERMĀLĀ STĀVOKĻĀ MULTI SENSORU VADĪBAS SISTĒMU IZVEIDES PRINCIPI UN TO IZPĒTE

Promocijas darba kopsavilkums



**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte  
Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūts

**Ruslans Muhitovs**

Doktora studiju programmas “Elektrotehnoloģiju datorvadība” doktorants

**DZELZCEĻA PĀRMIJAS TERMĀLĀ  
STĀVOKĻA MULTI SENSORU VADĪBAS  
SISTĒMU IZVEIDES PRINCIPI UN TO IZPĒTE**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskie vadītāji:  
profesors *Dr. sc. ing.*  
MAREKS MEŽĪTIS

profesors *Dr. habil. sc. ing.*  
IVARS RAŅĶIS

Muhitovs, R. Dzelzceļa pārmijas termālā stāvokļa multi sensoru vadības sistēmu izveides principi un to izpēte. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2022. 36 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU promocijas padomes “P-14” 2022. gada 1. novembra lēmumu, protokols Nr. 04030-9.12.1/14.

Šis darbs ir veltīts manai sievai Jevgēnijai Patenko, kā arī maniem darba vadītājiem.

Šis promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas “Izaugsme un nodarbinātība” 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa “Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās” projekta Nr. 8.2.2.0/20/1/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās” ietvaros.

Šis pētījums ir tapis ar Rīgas Tehniskās universitātes Doktorantūras grantu programmas atbalstu.

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais  
fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



RĪGAS TEHNISKĀ  
UNIVERSITĀTE

<https://doi.org/10.7250/9789934228513>  
ISBN 978-9934-22-851-3 (pdf)

# PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora grāda (*Ph. D.*) iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2022. gada 15. decembrī plkst. 13.00 Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 212. auditorijā.

## OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Pēteris Apse-Apsītis,  
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors *Dr. sc. ing.* Mihails Savrasovs,  
Transporta un sakaru institūts, Latvija

Profesors *Dr. habil. sc. ing.* Tomasz Perzyński,  
*Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Polija*

## APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora grāda (*Ph. D.*) iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Ruslans Muhitovs ..... (paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, piecas nodaļas, secinājumi, literatūras avotu saraksts, 56 attēli, 15 tabulas, divi pielikumi, kopā 103 lappuses, ieskaitot pielikumus. Literatūras avotu sarakstā ir 77 nosaukumi.

# SATURS

Ievads .....	5
1. Dzelzceļa pārmiju termālā stāvokļa stabilizācijas uzdevumi .....	10
2. Prognozētās jaudas noteikšana un regulēšanas sistēmas izvēle .....	13
3. Dzelzceļa pārmiju termālā stāvokļa regulēšana ar faziloģiku .....	18
4. Dzelzceļa pārmiju elektriskās apsildes vadības sistēmas realizācija pārmiju attīrīšanai no sniega un ledus .....	23
5. Dzelzceļa pārmiju elektriskās apsildes vadības sistēmas testēšana reālos apstākļos .....	27
Secinājumi un darba galvenie rezultāti .....	33
Avotu un izmantotās literatūras saraksts .....	35

# IEVADS

Pasaules dzelzceļa pārmiju neefektīva apsilde ir viena no nozares aktuālākajām problēmām, kas tieši ietekmē elektroenerģijas, neatjaunojamo resursu patēriņu, CO<sub>2</sub> izmešus un ekoloģiju kopumā [1]. Ņemot vērā pasaules transporta attīstības tendences, īpaši dzelzceļā, un pieaugot kravu pārvadājumiem, jaunu dzelzceļa iecirkņu un staciju būvniecībai [2], [3], efektīva pārmiju apsilde ir viena no prioritātēm un drošas vilcienu kustības nodrošināšanas noteikumiem dzelzceļa sfērā ne tikai Latvijā, bet arī citās Baltijas valstīs [4], [5].

Patlaban koncernā “Latvijas Dzelzceļš” (“LDz”) ekspluatējamās pārmiju apsildes sistēmas ir viena no nopietnākajām problēmām [6]. Ņemot vērā uzņēmumā notiekošo optimizāciju, tehnoloģisko procesu pārskatīšanu un izmaksu samazināšanu, rodas situācija, kad esošās pārmiju apsildes sistēmas netiek ieslēgtas ziemas apstākļos, jo tās patērē lielu daudzumu elektroenerģijas [6]. Tādējādi tiek samazināts elektroenerģijas patēriņš un ietaupīti finanšu līdzekļi, savukārt pārmiju attīrīšana no sniega notiek ar cilvēkspēka palīdzību. Šāda pieeja var radīt vilcienu kustības drošību apdraudošas situācijas, kad stipras snigšanas rezultātā liels skaits pārmiju būs apsnigušas ar sniegu un pārmiju attīrīšanai var nepietikt cilvēkresursu [7].

Ņemot vērā nacionālo tautsaimniecības attīstības programmu, kas paredz ostu kravas apgrozījuma palielināšanu, dzelzceļa kravu un pārvadājumu palielināšanu un “LDz” biznesa modeli, stabila un droša vilcienu kustības nodrošināšana ir viens no prioritāriem izaicinājumiem Latvijā arī attiecībā uz pārmiju apsildi un attīrīšanu, ņemot vērā ierobežotos cilvēkresursus un finanšu līdzekļu efektīvu izmantošanu [8].

Dzelzceļa pārmiju apsildei mūsdienās izmanto elektriskās, ģeotermālās, gāzes, indukcijas un citas apsildes sistēmas. Šajā promocijas darbā tiek piedāvāta vadības sistēmas uzlabošanas iespēja ar multisensoru integrāciju.

Pārmiju elektriskās apsildes vadības sistēmas izpētei ar multisensoru integrēšanu ir liela nozīme pārmiju apsildes efektivitātes uzlabošanā. Promocijas darbā piedāvātai pārmiju elektriskās apsildes vadības sistēmai (*PEAVS*) ir virkne priekšrocību: spēja apstrādāt nestriktus un mainīgus ieejas parametrus (vējš, nokrišņi u. c.); tā var tikt integrēta pusautomātiskā vai automātiskā vadības sistēmā; savietojamība ar mūsdienu programmējamiem loģiskiem kontrollejiem.

## Promocijas darba mērķis

Dzelzceļa pārmijas termālā stāvokļa inovatīvas multisensoru vadības sistēmas izstrādes principu noteikšana, izpēte un lietošana vadības sistēmas izstrādē ar eksperimentālā algoritma integrāciju.

## Pētījuma uzdevumi

1. Aprakstīt un izanalizēt pētāmo objektu – pārmiju un faktorus, kas ietekmē tās darbību.
2. Veikt esošo pārmiju apsildes sistēmu stipro pušu, trūkumu un neefektivitātes analīzi.
3. Izpētīt regresijas vienādojumus un to izmantošanas iespēju ietekmes faktoru normalizēšanai un apsildes jaudas regulēšanas problēmas risināšanai.
4. Veikt faziloģikas teorijas lietojamības analīzi un pārnest to pārmiju apsildes vadības sistēmas efektivitātes uzlabošanai.
5. Izstrādāt pārmiju apsildes multisensoru vadības algoritmu un realizēt to programmējamā loģiskā kontrolleirī.

6. Integrēt faziloģikas teoriju iepriekš izstrādātajā algoritmā.
7. Salīdzināt eksperimentālās sistēmas elektroenerģijas patēriņu ar analogiskas sistēmas patēriņu un definēt galīgos promocijas darba rezultātus un secinājumus.

### **Pētniecības līdzekļi**

- *Matlab Fuzzy Logic Designer.*
- *Weidmueller u–create WEB interface.*
- *Siemens Totally Integrated Automation (TIA) portal.*
- *Microsot Office.*
- *Powersim (PSIM).*

### **Izmantotie standarti**

- *IEC 61508 (Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems).*
- *IEC 61511 (Safety instrumented systems for the process industry sector).*
- *EN 50128 (Railway applications – Software for railway control and protection).*
- *EN 50129 (Railway applications – Safety related electronic systems for signalling).*

### **Teorētiskās metodes**

- Matemātiskā modelēšana.
- Faziloģikas modelēšana.
- Regresijas vienādojumi.
- Statistiskā, salīdzinošā un korelācijas analīze.

### **Eksperimentālās metodes**

- Pārmiju apsildes vadība ar eksperimentālo prototipu kopā ar faziloģikas algoritmu.
- Eksperimenta gaitā iegūto datu apstrāde un analīze.

### **PĒTĪJUMA OBJEKTI**

- Dzelzceļa pārmija.
- Prototipa iekārta un algoritms, kas sastāv no diviem programmējamiem controlleriem, meteostacijas un sekundārām ierīcēm.
- Esošas pārmiju apsildes sistēmas izpildelementi – transformatori, sildelementi u. c.

### **DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE**

- Noteikta pārmiju apsildes elektroenerģijas patēriņa samazināšanas iespēja.
- Slīdes silšanas un atdzišanas līknes noteikšana, izpēte un analīze.
- Zinātniski pamatota piedāvātā pārmiju apsildes vadības sistēmas algoritma efektivitāte.
- Inovatīva pārmiju apsildes vadības sistēmas algoritma izveide ar faziloģikas integrēšanu, ņemot vērā apkartējās vides, procesa un objekta datus.
- Izstrādāta pārmiju apsildes vadības iekārta uz programmējamu controlleru bāzes ar integrētu faziloģikas algoritmu.

## AIZSTĀVAMĀS TĒZES

- Faziloģikas algoritms kā dzelzceļa pārmiju apsildes sistēmas inteligentās vadības algoritms ar multinestriktu parametru apstrādi algoritma sintēzē.
- Precīza pārmiju apsildes sistēmas vadība ar faziloģikas komandām ļauj samazināt elektroenerģijas patēriņu par 20–30 %.
- Piedāvātais pārmiju apsildes vadības algoritms ar multisensoru apstrādi ir efektīvi lietojams pārmijas apsildei vienlaikus ar energoefektivitātes uzlabošanu.

## DARBA PRAKTISKĀ NOZĪME

Promocijas darba rezultātiem ir plašs praktiskais pielietojums dzelzceļa uzņēmumos, kas veic infrastruktūras ekspluatāciju un apkalpošanu. Izstrādāta inovatīvā dzelzceļa pārmiju elektriskās apsildes vadības sistēma, ko ir iespējams izmantot “LDz”, būvējamā ātrgaitas dzelzceļa līnijā “*Rail Baltica*”, kā arī citos dzelzceļos.

Faziloģikas algoritma izmantošana citās vadības sistēmās dzelzceļa infrastruktūrā paver plašas iespējas procesu pilnveidošanai un digitalizācijai.

## Darba aprobācija

1. International Conference on Recent Advances in Engineering and Technology (ICRAET), 2022. gada 1.–2. augusts. (Muhitovs, R., Mezītis, M., Iriškova, V., Spunitis, A. Research and Modelling of Point Electric Heating Regulation Method Based on Regression Equation of Impact Factors).
2. LISBON 18th International Conference on “Innovations in Science, Engineering & Technology” (LCISET-22), 2022. gada 13.–15. aprīlis. (Muhitovs, R., Mezītis, M., Iriškova, V., Spunitis, A. Analysis of Different Regulation Methods with Aim to Determine Most Efficient One for Point Electric Heating).
3. 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), 2021. gada 7.–8. oktobris. (Muhitovs, R., Mezītis, M., Baranovskis, A., Spunitis, A. Modelling point electric heating algorithm using Fuzzy Logic).
4. 8th IEEE Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE'2020), 2021. gada 22.–24. aprīlis. (Muhitovs, R., Mezītis, M., Spunitis, A., Iriškova, V. Analysis of Experimental Railway Point Electric Heating System).
5. Fifth Georgian–Polish International Scientific–Technical Conference “Transport Bridge Europe–Asia”, 2019. gada 15.–17. oktobris. (Mezītis, M., Muhitovs, R. Advanced and Multidisciplinary Railway Network Operators’ Training in Management of Emergency Train Situation).
6. IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2019. gada 7.–9. oktobris, Rīga, Latvija (Muhitovs, R., Mezītis, M., Freimane, J. Intelligent Railway Point Electric Heating Control System).
7. XI International Scientific Conference “Transport Problems 2019”, 2019. gada 26.–28. jūnijs, Katowice, Polija (Muhitovs, R., Mezītis, M., Korago, I. Development of Railway Point Electric Heating Intellectual Control Algorithm).



Par promocijas darba mērķiem un laboratorijā iegūtiem rezultātiem tika ziņots VAS “Latvijas Dzelzceļš” vadības sapulcēs, kā rezultātā tika saņemts pozitīvs slēdziens un atļauja veikt praktisku eksperimentu esošajā pārmiju apsildes sistēmā.

### Publikāciju saraksts

1. **Muhitovs, R.**, Mezītis, M., Baranovskis, A., Spunitis, A. Modelling point electric heating algorithm using Fuzzy Logic, 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), DOI: 10.1109/ICECCME52200.2021.9590940. Indeksēts SCOPUS.
2. **Muhitovs, R.**, Mezītis, M., Spunitis, A., Iriskovs, V. Analysis of Experimental Railway Point Electric Heating System, 2020 IEEE 8th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), DOI: 10.1109/AIEEE51419.2021.9435805. Indeksēts SCOPUS.
3. **Muhitovs, R.**, Mezītis, M., Korago, I. Development of Railway Point Electric Heating Intellectual Control Algorithm. International Scientific Journal “Transport Problems” vol. 15, 2020. ISSN 1896–0596. Online edition: ISSN 2300–861X. DOI: 10.21307/tp–2020–007. Indeksēts SCOPUS.
4. Mezītis, M., Strautmanis, G., Baranovskis, A., **Muhitovs, R.** Environment Safety Improving Due to Railway Noise Management Decreasing of RMR Method Adaptation, Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 124: 505–563, ISSN: 23673370, DOI: 10.1007/978-3-030-42323-0\_9. Indeksēts SCOPUS.
5. **Muhitovs, R.**, Mezītis, M., Freimane, J. Intelligent Railway Point Electric Heating Control System, IEEE 60th Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2019, ISBN: 978-172813942-5, DOI: 10.1109/RTUCON48111.2019.8982345. Indeksēts SCOPUS.
6. **Muhitovs, R.**, Mezītis, M., Freimane, J., Korago, I. Development of the Decision–Making Algorithm for Railway Maneuverer Park Equipment with Independent Controllers. Procedia Computer Science, vol. 149, 2019, 2018 ICTE in Transportation and Logistics, ICTE 2018; Code 146441, DOI: 10.1016/j.procs.2019.01.124, ISSN: 18770509. Indeksēts SCOPUS.
7. Dolgopopov, P., Konstantinov, D., Rybalchenko, L., **Muhitovs, R.** Optimization of Train Routes Based on Neuro–Fuzzy Modeling and Genetic Algorithms. Procedia Computer Science vol. 149, 2019, 2018 ICTE in Transportation and Logistics, ICTE 2018; Code 146441, DOI: 10.1016/j.procs.2019.01.124, ISSN: 18770509. Indeksēts SCOPUS.
8. Mezītis, M., **Muhitovs, R.**, Arpabekov, M., Sansyzbajeva, Z., Togizbayeva, B., Assiltayev, A. Optimization of Transport Logistical Flows between Railway and Urban Passenger Transportation Systems. Springer Nature book “ICTE in Transportation and Logistics 2019”. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer. Online ISBN: 978–3–030–39688–6. DOI: [https://doi-org.resursi.rtu.lv/10.1007/978–3–030–39688–6\\_5](https://doi-org.resursi.rtu.lv/10.1007/978–3–030–39688–6_5).
9. Kargin, A., Panchenko, A., Ivaniuk, O., **Muhitovs, R.** Motion Control of Smart Autonomous Mobile System Based on the Perception Model. Springer Nature book “ICTE in Transportation and Logistics 2019”. Lecture Notes in Intelligent

Transportation and Infrastructure. Springer. Online ISBN: 978-3-030-39688-6. DOI: [https://doi-org.resursi.rtu.lv/10.1007/978-3-030-39688-6\\_20](https://doi-org.resursi.rtu.lv/10.1007/978-3-030-39688-6_20).

10. Mežītis, M., **Muhitovs, R.** Advanced and Multidisciplinary Railway Network Operators' Training in Management of Emergency Train Situations. Fifth Georgian-Polish International Scientific-Technical Conference "Transport Bridge Europe-Asia": Proceedings, Gruzija, Kutaisi, 15.-18. oktobris, 2019. Kutaisi: Akaki Tsereteli State University, 2019, 71.-76. lpp. ISBN 978-9941-484-82-7.

# 1. DZELZCEĻA PĀRMIJU TERMĀLĀ STĀVOKĻA STABILIZĀCIJAS UZDEVUMI

Lai risinātu dzelzceļa pārmiju (DP vai pārmija) termālā stāvokļa stabilizācijas uzdevumus, pirmkārt, tika noskaidrots par DP termālā stāvokļa parametriem, kas savukārt raksturo DP kā regulēšanas un automatizācijas sistēmas objektu [9]. Galvenie parametri ir objekta enerģētisko situāciju raksturojošie lielumi: siltumenerģijas patēriņš dažādās situācijās, turklāt, ievērojot gan paša objekta, gan apkārtējās vides ietekmes radītos parametrus.

Pēdējā laikā Eiropā un pasaulē atzīmē pastāvīgu pārmiju elektriskās apsildes izmantošanas pieaugumu [1]. Pārmiju elektriskās apsildes sistēmas (PEAS) ir salīdzinoši nedārgas iekārtas, kas paredzētas DP attīrīšanai no sniega un ledus [8], [10]. PEAS piedāvā pasaulē plaši atzīto ceļu uz drošu, savlaicīgu un garantēti izpildīto DP attīrīšanu ziemas klimatiskos apstākļos. PEAS tiek izmantotas, lai garantēti attīrītu pārmiju ziemas apstākļos un nodrošinātu vilcienu kustības drošību. Noteikto uzdevumu risināšanā visvairāk izmanto tieši DP elektriskās apsildes sistēmas (1.1. tab.).

1.1. tabula

DP attīrīšanas sistēmu salīdzinājums

Klase	Attīrīšanas veids	Kapitālieguldījumu lielums	Operacionālie izdevumi	Darbības efektivitāte	Efektīvas darbības temp. režīms
Pneimatiskā appūšana	Pneimatis-kais	vidējs	vidēji	vidēja	-45 °C līdz +5 °C
Apsilde / apkure	Elektriskā apsilde	mazs	vidēji	augsta	-45 °C līdz +5 °C
Apsilde / apkure	Ģeotermālā apsilde	liels	mazi	augsta	-15 °C līdz +5 °C
Apsilde / apkure	Gāzes apkure	liels	augsti	augsta	-45 °C līdz +5 °C

Pēc DP attīrīšanas sistēmu salīdzināšanas tika noskaidrots, ka Latvijas apstākļos tieši PEAS ir vispiemērotākā DP attīrīšanas uzdevumu izpildei. Tieši šī sistēma tika izvēlēta SVID analīzei un tālākai izpētei (1.2. tab.).

1.2. tabula

Pārmiju elektriskās apsildes sistēmas SVID analīze

Stiprās puses	Iespējas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Garantēta sniega un ledus izkausēšana no pārmijas</li> <li>“LDz” un citu Baltijas valstu dzelzceļu gadījumā nav nepieciešams pārbūvēt esošās pārmiju apsildes sistēmas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iespējama salāgošana ar dažādām vadības sistēmām</li> <li>Meteostacijas lietošana var dot nepieciešamos ieejas datus vadības sistēmas uzlabošanai</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salīdzinoši nelielas apkalpošanas izmaksas</li> </ul>	
<b>Vājās puses</b>	<b>Draudi</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liels CO<sub>2</sub> izmešu daudzums, salīdzinot ar ģeotermālās apsildes sistēmu</li> <li>• Bezregulēšanas PEAVS pastāv augsts elektroenerģijas patēriņš</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoringa aprīkojuma neesamība var novest līdz avārijas situācijai, piemēram, kabeļu izolācijas bojājuma neatklāšana</li> </ul>

No SVID analīzes ir redzams, ka tieši PEAS pēc stipro un vājo pušu kopuma ir optimālākā pārmiju attīrīšanas sistēma ziemas sezonā. PEAS nodrošina iespēju garantēti attīrīt pārmiju no viegla vai slapja sniega un ledus. Ņemot vērā dažādu valstu dzelzceļu noteiktās prasības pret pārmijas tīrību ziemas apstākļos [6], [11], [12], PEAS tipa sistēmai ir būtiskas priekšrocības, salīdzinot ar citām attīrīšanas sistēmām:

- garantēta pārmijas attīrīšana no sniega un ledus;
- iespēja izveidot pilnīgi automatizētas sistēmas;
- sistēmas manuāla, lokāla un attālināta vadība;
- salīdzinoši ērta elektroapgādes pieslēgšana (nepieciešami elektriskie un vadības kabeļi);
- samazinātas prasības apkalpojošā personāla apmācībai un skaitam;
- pastāvīga monitoringa nodrošināšana 24 stundas diennaktī un trauksmju nosūtīšana uz vadības pulti attālinātas vadības režīma gadījumā;
- sistēmas darbība ārējās vides temperatūru diapazonā no  $-45\text{ °C}$  līdz  $+5\text{ °C}$ .

Pēc pētījumu [13]–[15] analīzes tika secināts, ka pamata pārmijas apsildes ietekmes faktori jeb ieejas lielumi/parametri ir:

- apkārtējās vides temperatūra –  $\theta_{\text{ār}}$ ;
- sniegs un tā intensitāte –  $N$ ;
- vēja stiprums –  $V$ .

Visu trīs faktoru ietekmi uz nepieciešamo sildīšanas jaudu var novērtēt ar šādu regresijas izteiksmi:

$$P = P_0 + a_1 \theta_{\text{ār}}^* + a_2 N^* + a_3 V^*, \quad (1.1.)$$

kur:  $P_0$  ir nepieciešamā jauda pie visu trīs ietekmes faktoru vidējām vērtībām (nulle uz lineārās skalas).

Ja izmanto tikai linearizēto skalu galējās vērtības  $-1$  un  $+1$ , tad nepieciešams sākotnēji izveidot nepieciešamo jaudu tabulu ar  $2^3 = 8$  iespējamām faktoru situācijām. Šādu tabulu vislabāk ir veidot eksperimentālā veidā, taču tad jārod iespēja mainīt visus trīs faktorus plašā diapazonā. Tāpēc parasti tiek izmantota ekspertu metode ar jaudas tuvinātu aprēķinu – eksperta novērtējumu pēc ietekmes lieluma.

Iestatot minimālo vērtību ( $-1$ ), maksimālo vērtību ( $+1$ ), tika iegūta jaudu tabula (1.3. tab.).

Jauda tabula ar visām iespējamām ietekmes faktoru situācijām

Nr. p. k. / ietekmes koeficients	$\theta_{\text{ār}}^*$	$N^*$	$V^*$	Jauda $P$ , kW
1	-1	-1	-1	$P_1 = 8$
2	-1	-1	+1	$P_2 = 13$
3	-1	+1	-1	$P_3 = 12$
4	-1	+1	+1	$P_4 = 8$
5	+1	-1	-1	$P_5 = 8$
6	+1	-1	+1	$P_6 = 2$
7	+1	+1	-1	$P_7 = 1,5$
8	+1	+1	+1	$P_8 = 2$

\* Gadījumā, ja jauda pārsniedz sildelementa maksimālo jaudu, šis parametrs liecina par apsildes laika palielināšanos.

Vidējo jaudas vērtību nosaka, vienkārši summējot visus astoņus jaudas mērījumus un summu dalot ar 8 (trīs faktori):

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^8 P_i}{8} = \frac{8 + 13 + 12 + 8 + 8 + 2 + 1,5 + 2}{8} = 6,81 \text{ kW.}$$

Ārējā gaisa temperatūras ietekmes faktoru nosaka, summējot katra mērījuma rezultāta reizinājumu ar faktora relatīvo vērtību mērījumā:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 P_i \cdot a_{i1}}{8} = \frac{-8 - 13 - 12 - 8 + 8 + 2 + 1,5 + 2}{8} = -3,44.$$

Līdzīgi nosaka nokrišņu ietekmes koeficientu:

$$a_2 = \frac{-8 - 13 + 12 + 8 - 8 - 2 + 1,5 + 2}{8} = -0,94.$$

un vēja ietekmes koeficientu:

$$a_3 = \frac{-8 + 13 - 12 + 8 - 8 + 2 - 1,5 + 2}{8} = -0,56.$$

Kopumā:

$$P = 6,81 - 3,44\theta_{\text{ār}}^* - 0,94N^* - 0,56V^* \text{ (kW)}. \quad (1.2.)$$

Maksimālā jauda būs nepieciešama pie zemas ārējā gaisa temperatūras, lieliem nokrišņiem un stipra vēja:

$$P_{\text{maks}} = 11,8 \text{ kW.}$$

Minimālā nepieciešamā jauda novērtējumu zonā būs pie  $\theta_{\text{ār}} = +5 \text{ }^\circ\text{C}$ , nenosegtām sliedēm un bezvēja apstākļos:

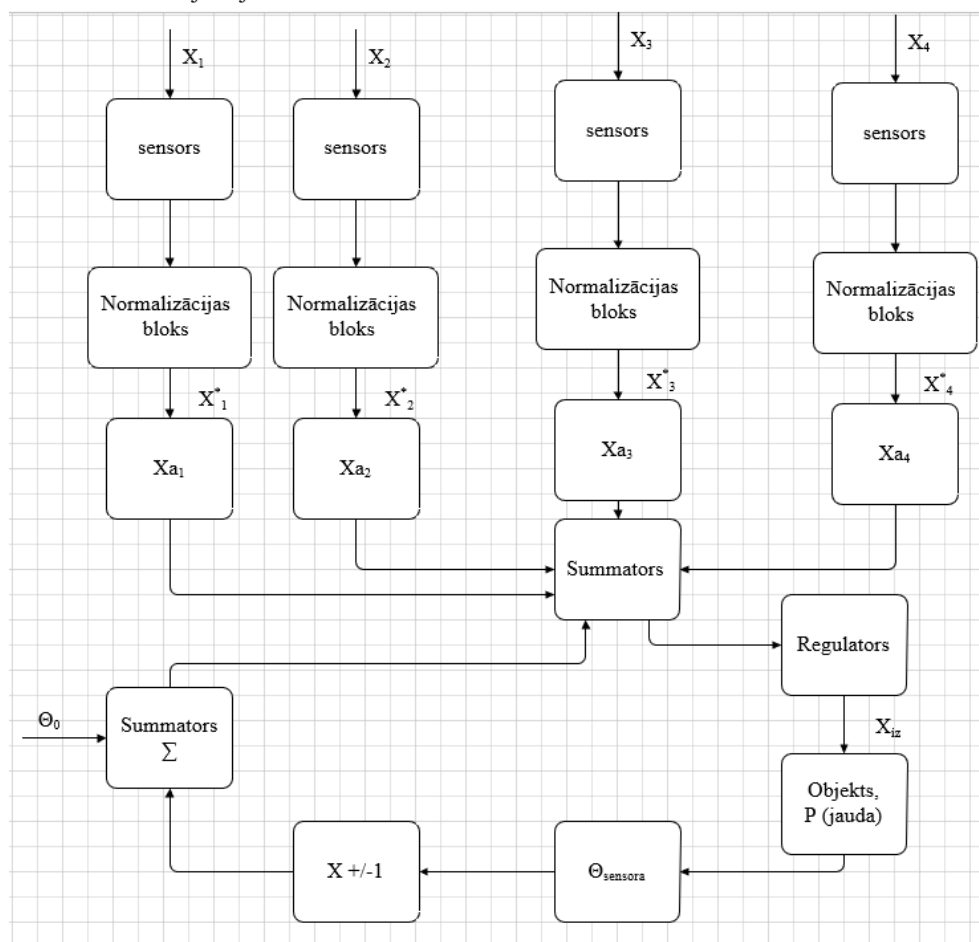
$$P_{\text{min}} \geq 0 = 1,88 \text{ kW.}$$

Tika aprēķināti ietekmējošo faktoru koeficienti, un noteikti ietekmīgākie – ārējais gaisa temperatūra un nokrišņi sniega veidā. Tika aprēķinātas arī maksimālās un minimālās nepieciešamās jaudas vērtības, kas ir pielāgotas katram ietekmes koeficientam un tā svaram.

## 2. PROGNOZĒTĀS JAUDAS NOTEIKŠANA UN REGULĒŠANAS SISTĒMAS IZVĒLE

Darbā tika analizēta jaudas regulēšana pēc regresijas vienādojuma datiem ar uzdevumu stabilizēt temperatūru (ar atgriezenisko saiti). Regresijas vienādojumu jeb normalizācijas bloks, saņemot informāciju no ietekmes faktoru sensoriem, pārveido parametrus normalizētajos, līdz ar to references jauda ir atkarīga no ietekmes faktoriem.

*PSIM* modeļa izstrādes laikā tajā tika ievietoti visu ietekmes faktoru normalizācijas shēmas, tika saskaitīts katrs reizinājums pēc 1.1. formulas, rezultātā iegūstot vienādojumu, pēc kura aprēķina kopējo jaudu. Šī jauda nosaka sildelementa patērēto jaudu, ņemot vērā dažādu ārējo faktoru ietekmi. Piemēram, ir skaidri zināms, ka pie negatīvas ārējās temperatūras un ieslēgtas pārmiju apsildes sākuma jauda būs  $P_0$ , kas apsildes darbības laikā tiks patērēta jebkurā gadījumā. Tālāk šai jaudai nāk klāt papildu jauda, kas ir domāta, lai kompensētu pārlietu zemu temperatūru, nokrišņus sniega formā un vēju. Atkarībā no ietekmes faktoru kombinācijas mainās arī rezultējošā jauda.



2.1. att. Regulēšanas shēmas pēc regresijas vienādojumu rezultātiem bloks shēma.

Shēma sastāv no posmiem, no kuriem galvenie ir summatori  $\Sigma$ , objekts "Objekts, P" un bloks "X +/-1", kas realizē atgriezenisko saiti AS. Katram posmam ir sava algebriskā pārvades funkcija, kas rada iespēju visu sistēmu aprakstīt ar kopēju algebrisku pārvades funkciju.

2.1. attēlā summatorā  $\Sigma$  summējas ieejas signāls  $\theta_0$  un atgriezeniskās saites izejas signāls  $-x_{iz}(s) \cdot W_{as}(s)$ . Regulators ir pastiprinātājs, kura ieejā ir reducēts vadības signāls. Šajā piemērā temperatūras sensora signāls nonāk summatorā, savukārt radītā starpība starp noteikto references temperatūru un izmērīto temperatūru ir par pamatu vadības sistēmas iedarbībai uz vadības objektu, kas ir sildelements (aktīvā jauda  $P$ ).

Šī regulēšanas shēma, kas izmanto regresijas vienādojumu rezultātus, ir noslēgta regulēšanas sistēma ar sliedes temperatūras sensoru  $S_{sl}$ , kura izejas signāls atbilst sliedes temperatūrai  $\theta_{sensora}$  (2.1. att.). Šis signāls caur atgriezeniskās saites bloku tiek reducēts uz lielumu  $(-\theta_{sl})$  un salīdzināts ar noteiktās temperatūras signālu  $\theta_0$  summatorā, un starpības signāls  $(\theta_0 - \theta_{sl})$  iedarbojas uz pamata summatoru, kas savukārt iedarbojas uz tā izejā esošu regulatoru, kas regulē jaudu vadības objektā.

Tālākā darba gaitā tika aprēķināta regresijas izteiksme ar dažādu parametru ietekmi uz jaudu  $PSIM$  programmatūrā. Lai to izdarītu, formulā

$$P = P_0 + a_1\theta_{\text{ar}}^* + a_2N^* + a_3V^* \quad (2.1.)$$

tika ievietoti  $PSIM$  simulācijas rezultātā iegūtie rezultāti, kas apkopoti 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Ietekmes parametru un to normalizēto vērtību jaudu tabula

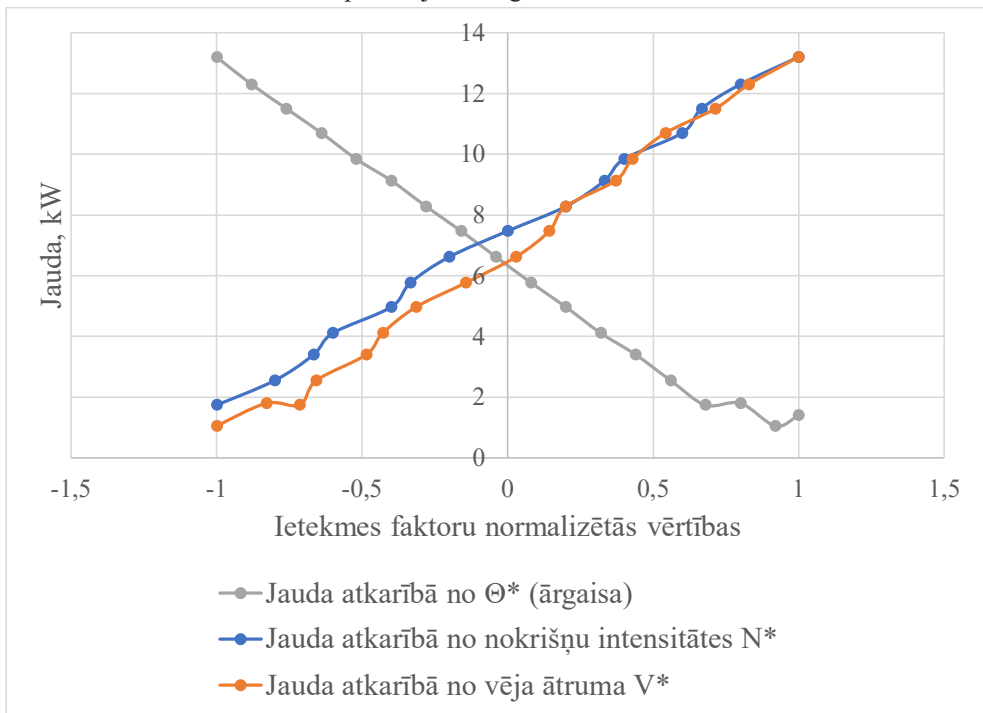
Ieejas parametri			Normalizētie ieejas parametri			Jauda, $P$ (kW)*
Ārģaisa temperatūra, $\theta_{\text{ar}}$ (°C)	Nokrišņu intensitāte, $N$ (mm/h)	Vēja ātrums, $V$ (m/s)	$\theta^*$ (ārģaisa)	$N^*$	$V^*$	
-45	0	0	-1	-1	-1	11,75
-43	1,5	1,5	-0,92	-0,9	-0,9	11,33
-40	3	3	-0,8	-0,8	-0,8	10,76
-37	4,5	4,5	-0,68	-0,7	-0,7	10,2
-34,5	6	6	-0,58	-0,6	-0,6	9,71
-31,8	7,5	7,5	-0,472	-0,5	-0,5	9,19
-29,1	9	9	-0,364	-0,4	-0,4	8,66
-26,4	10,5	10,5	-0,256	-0,3	-0,3	8,14
-23,7	12	12	-0,148	-0,2	-0,2	7,62
-21	13,5	13,5	-0,04	-0,1	-0,1	7,1
-18,3	15	15	0,068	0	0	6,58
-15,6	16,5	16,5	0,176	0,1	0,1	6,06
-12,9	18	18	0,284	0,2	0,2	5,54
-10,2	19,5	19,5	0,392	0,3	0,3	5,01
-7,5	21	21	0,5	0,4	0,4	4,49
-4,8	22,5	22,5	0,608	0,5	0,5	3,97
-2,1	24	24	0,716	0,6	0,6	3,45
0,6	25,5	25,5	0,824	0,7	0,7	2,93

3,3	27	27	0,932	0,8	0,8	2,41
6	28,5	28,5	1,04	0,9	0,9	1,88
	30	30		1	1	1,36

\* Gadījumā, ja apsildes jauda pārsniedz sildelementa maksimālo jaudu, šis parametrs liecina par apsildes laika palielināšanos.

Ņemot vērā tabulas datus, tika secināts, ka visnelabvēlīgākos apstākļos apsildes jauda būs 11,75 kW, kas pārsniedz sildelementa maksimālo jaudu un liecina par apsildes ilguma palielināšanos. No otras puses, kad ārējais temperatūra ir +6 °C, tad apsildei vajadzētu būt ieslēgtai ar jaudu 1,88 kW, bet realitātē vadības algoritmā ir jāparedz sistēmas atslēgšanas ķēde, kas atslēgs apsildi pie ārējais temperatūras > +5 °C, jo ir acīmredzami, ka pie šādas ārējais temperatūras apsildīt pārmiju nav nepieciešamības.

Darbā tika apskatīts un analizēts apsildes jaudas atkarības grafiks no ārējais temperatūras, nokrišņiem un vēja stipruma (2.2. att.). Grafikā redzams, ka līknēm ir līdzīgi raksturi – tās ir gandrīz lineāras, bet ar dažām detaļām. No nokrišņu un vēja neesamības sākuma punktiem un nokrišņu intensitātei palielinoties, var redzēt, ka nepieciešams lielāks jaudas daudzums, lai apsildītu pārmiju. No otras puses, vējš atstāj par aptuveni 30 % mazāku ietekmi uz jaudas apmēru. Šāda tendence saglabājas, līdz normalizētās ietekmes parametru vērtības nesasniedz vērtību 0,2, tālāk to ietekme uz apsildes jaudu ir gandrīz vienāda.



2.2. att. Apsildes jaudas atkarības no nokrišņiem un vēja stipruma grafiks.

Šo tendenci var izskaidrot ar to, ka pie lielas nokrišņu intensitātes apsildei ir nepieciešama liela jauda, arī stipra vēja laikā nepieciešama gandrīz tāda pati apsildes jauda, jo vējš dzesē

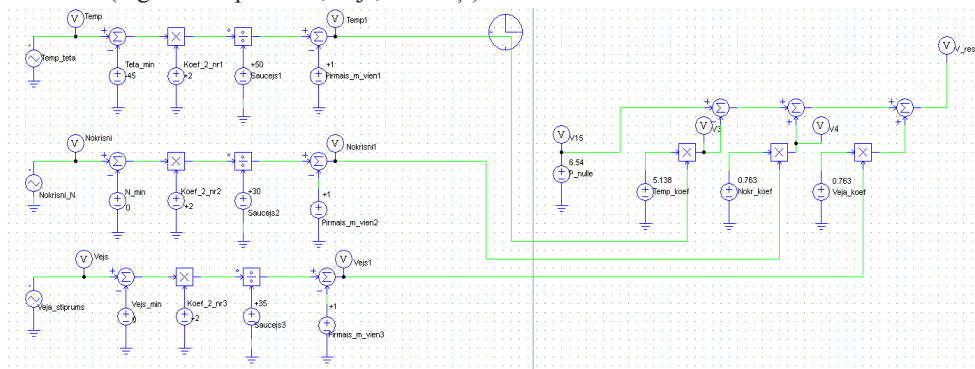


pārmiju, bet algoritma pamatā ir sliedes temperatūras uzturēšana noteiktā diapazonā. Turklāt stipra vēja un nokrišņu laikā vai arī stipra vēja laikā (pēc lieliem nokrišņiem) notiek sniega masas pārvietošana, un pārmijas daļa starp rāmjsliedi un atvērto asmeni var tikt aizputināta ar sniegu, kas savukārt nav pieļaujams no vilcienu kustības drošības viedokļa.

Tālāk programnodrošinājumā *PSIM* tika izveidots kompleksais apsildes regulēšanas modelis (2.3. att.) ar mērķi uzlabot iepriekšējos paragrāfos apskatītās shēmas. Modeļa pamatā ir 1. nodaļā aprakstītā 1.1. formula ar aprēķinātiem ietekmes koeficientiem:

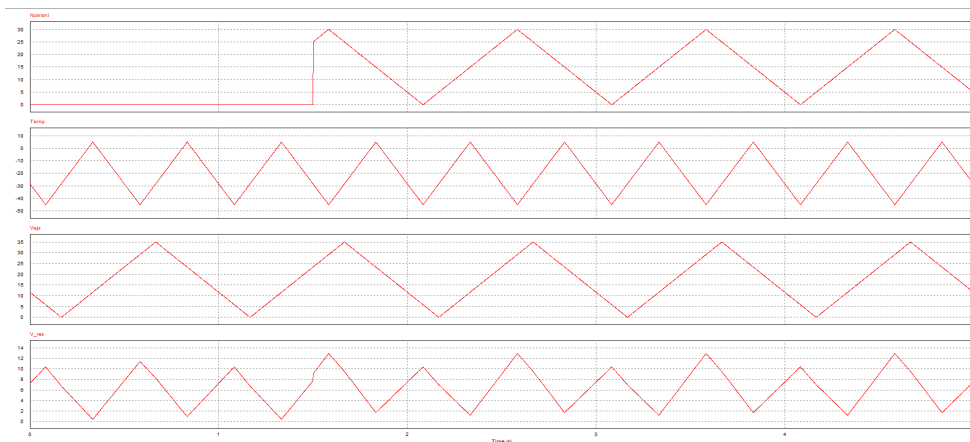
$$P = 6,81 - 3,44\theta_{ar}^* - 0,94N^* - 0,56V^* \text{ (kW)}. \quad (2.2.)$$

2.3. attēla shēmā ārējās vides temperatūras avots ir trīsstūra formas signāla avots, kas vislabāk atbilst temperatūras izmaiņas raksturam. Tālāk šis ārējais temperatūras avots tika linearizēts saskaņā ar 1.2. formulā aprakstīto izteiksmi. Nokrišņu avots arī tika modelēts kā trīsstūra formas signāla avots, kas tāpat kā temperatūras avots tika linearizēts pēc 1.2. izteiksmes. Arī vējš tiek modelēts ar trīsstūra formas signāla avotu, kas tika linearizēts saskaņā ar 1.2. izteiksmi. Tālāk saskaņā ar 2.2. izteiksmi notika katra saskaitāmā summēšana, lai iegūtu rezultējošo jaudu, kas nepieciešama apsildei pie visiem nelabvēlīgiem ārējiem faktoriem (ārējais temperatūra, vējš, nokrišņi).



2.3. att. Kompleksais ārējais temperatūras, nokrišņu un vēja ietekmes modelis.

Tālākā darba gaitā tika veikta modeļa parametru simulēšana un pētīšana programnodrošinājumā *PSIM*, kopējais signālu grafiks redzams 2.4. attēlā. Grafikā redzamas visu ietekmes faktoru (ārējais temperatūra, nokrišņi, vēja stiprums) izmaiņas laika diapazonā.



2.4. att. Kompleksais ārgaisa temperatūras, nokrišņu un vēja ietekmes modeļa signālu grafiks.

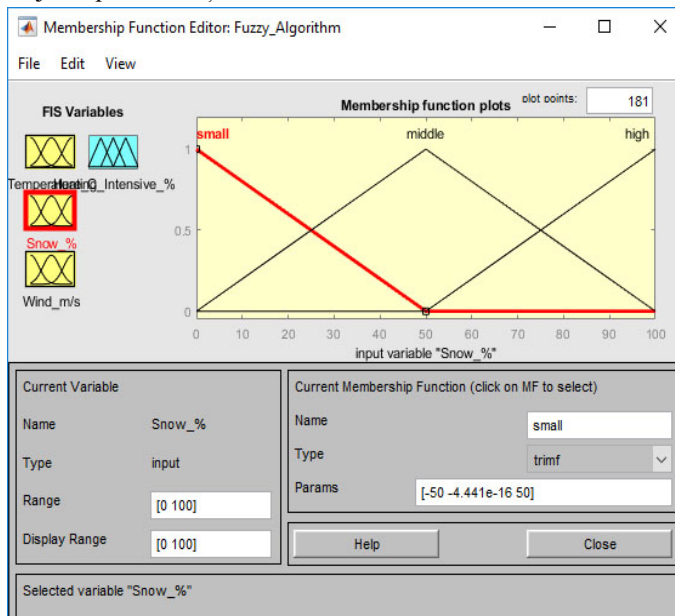
2.4. attēlā redzama apsildes jaudas atkarība no ārgaisa temperatūras kompleksā ar vēja stiprumu un nokrišņiem. Grafikā redzams, ka sliktākajos apstākļos, kad ārgaisa temperatūra ir viszemākā, nokrišņu intensitāte ir vislielākā un vēja stiprums ir vislielākais, apsildes jauda arī ir vislielākā un var sasniegt ~12 kW. Protams, reālos apstākļos ir maza varbūtība, ka vienā brīdī var sakrist visi minētie nelabvēlīgie apstākļi. Grafikā redzams, ka vējam un nokrišņiem ir liela ietekme uz apsildes jaudu un stiprs vējš var tik ļoti kļiedēt sliedei pievadīto siltumenerģiju, ka, lai sasniegtu noteikto temperatūru, jauda ir jāpalielina vairāk nekā 1,5 reizes – no 8,84 kW pie  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  un vēja 4 m/s līdz pat 12 kW pie  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  un vēja ar ātrumu 34 m/s.

### 3. DZELZCEĻA PĀRMIJU TERMĀLĀ STĀVOKĻA REGULĒŠANA AR FAZILOĢIKU

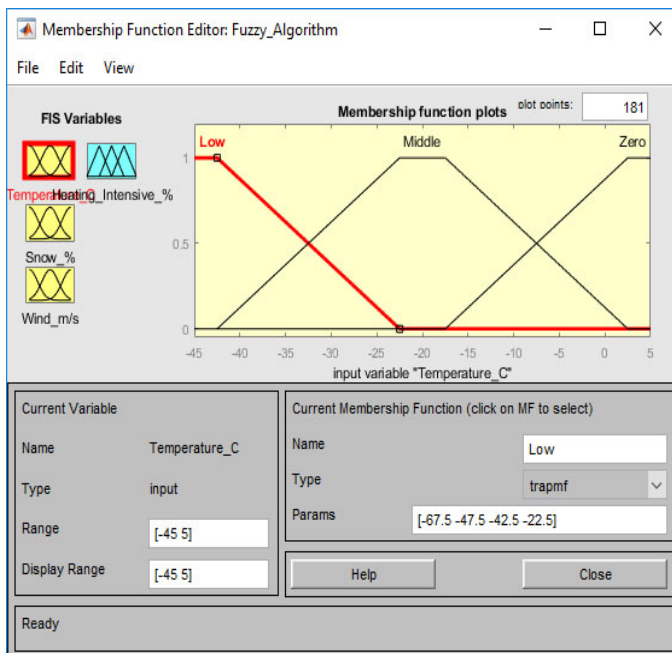
Faziloģikas sistēmas vislabāk tiek piemērotas tur, kur tradicionālie risinājumi nedod vēlamo rezultātu. Faziloģikas sistēmas var piemērot arī citos darbības laukos, kur iespējams izmantot fazikopas un loģiku, piemēram, faziloģikā balstītas sistēmas, kas izmanto “ja–tad” nosacījumus, faziloģikas programmatūras izstrādē, kur nenoteiktība ir programmas un datu sastāvā, datubāzēs, kas uzglabā un attēlo šādu informāciju [16].

Intelektuālās vadības algoritmam tika izmantota *MATLAB Fuzzy Logic Designer* programmatūra. Tika iestatīti četri ieejas mainīgie: temperatūra; sniegs; lietus; vēja ātrums.

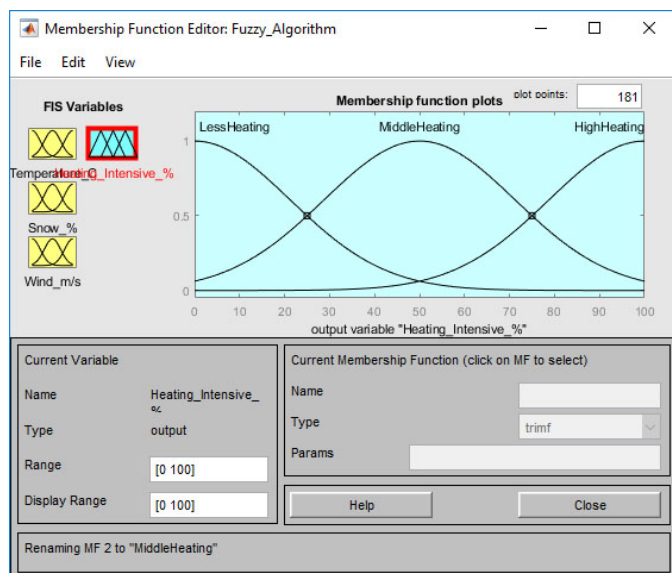
Katra ieejas faktora piederības funkcijas veidoja nestrikto vērtību trapecveida, trīsstūra vai Gausa funkcijas attēlojumu [17]–[20]: temperatūra – zema temperatūra; sniegs – viegls, vidējs un stiprs sniegs; lietus – bez lietus un stiprs lietus; vēja ātrums – neliels, vidējs un stiprs vējš. Piederības funkciju diapazons atšķiras, kā redzams 3.1. un 3.2. attēlā.



3.1. att. Faziloģikas modeļa ieejas parametru piederības funkciju definēšana.

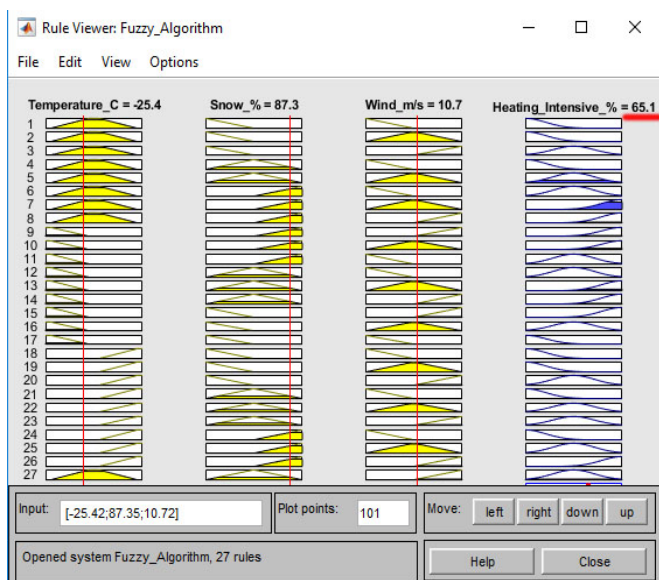


3.2. att. Fazioloģikas modeļa ieejas parametru piederības funkciju definēšana.



3.3. att. Fazioloģikas modeļa izejas parametra piederības funkciju definēšana.

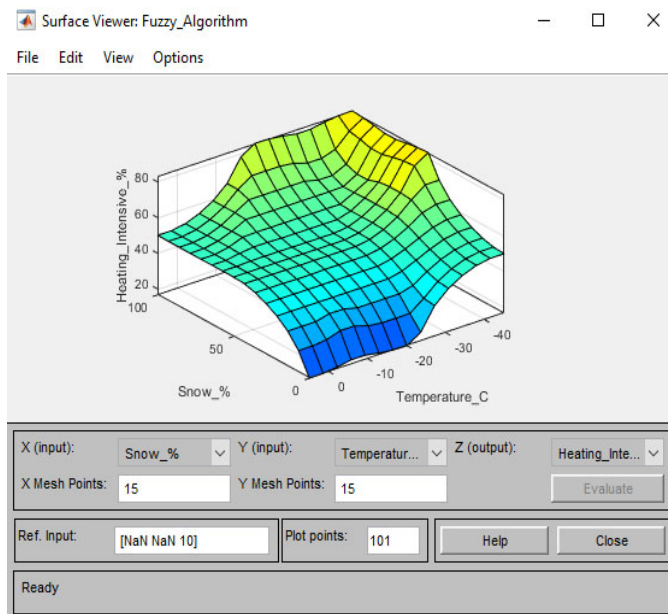
Tālāk, lai veiktu simulāciju, tika izveidota likumu bāze (3.4. att.), kas izmantota par pamatu algoritmam.



3.4. att. Faziloģikas modeļa likumu bāze.

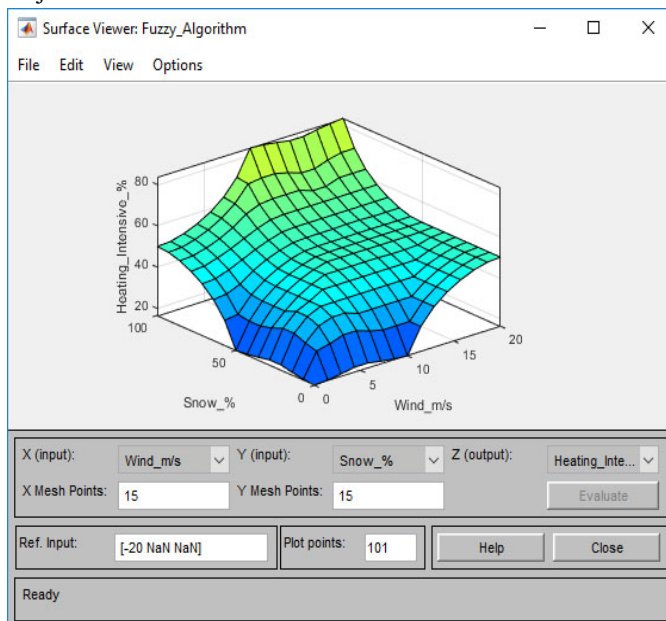
Izveidotie likumi ļāva formulēt iegūtās diagrammas uzvedības principus, tādējādi skaidri parādot, ka optimālā rezultāta sasniegšanai nepietiek ar vienu vai diviem ieejas mainīgajiem. Turklāt, lai parādītu pieņemamus rezultātus likumu bāzē, bija jāpiemēro noteikts likumu skaits.

Kā pēdējais solis pēc simulācijas programmā *Fuzzy Logic Designer* tika izveidots grafiks (3.5., 3.6. att.). Visi aprakstītie un ieviestie likumi redzami 3D virsmas diagrammās *Graph Surface Views* (3.5., 3.6. att.). Pirmais virsmas skats (3.5. att.) ir no diviem ieejas parametriem atkarīgs simulācijas rezultāts ar šādiem ieejas mainīgajiem: sniega intensitāte un apkārtējās vides temperatūra.



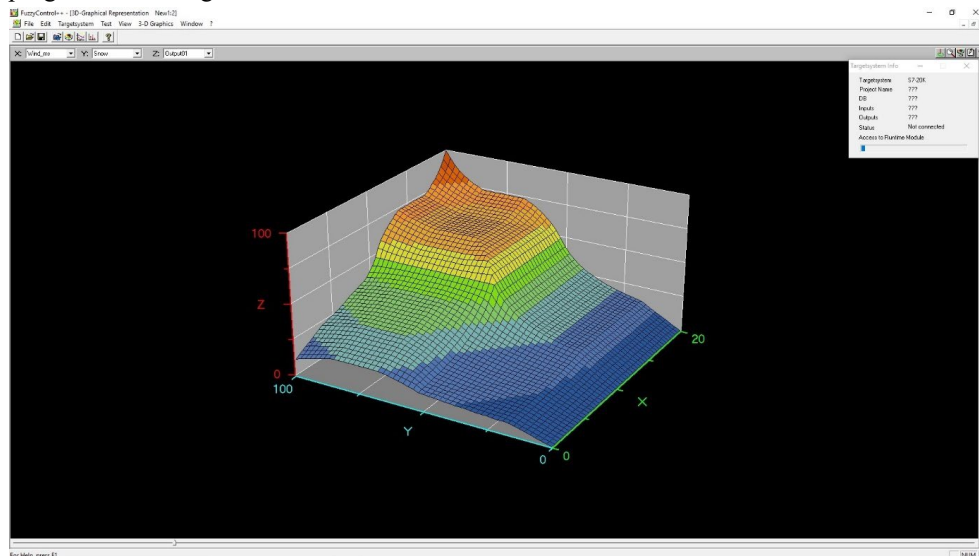
3.5. att. Faziloģikas modeļa rezultējošie virsmas skati 1(2).

Otrais virsmas skats (3.6. att.) arī ir divu ieejas parametru – sniega intensitātes un vēja ātruma – simulācijas rezultāts.

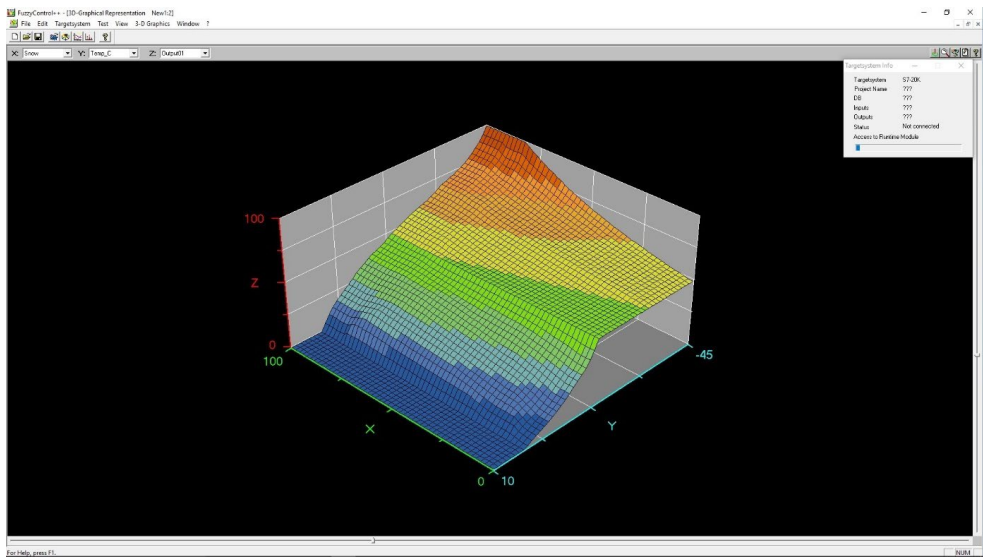


3.6. att. Faziloģikas modeļa rezultējošie virsmas skati.

Pēc tam iegūtie rezultāti tika verificēti ar SIEMENS Fuzzy Logic “FuzzyControl++” programmatūru, iegūtie rezultāti redzami 3.7. un 3.8. attēlā.



3.7. att. Faziloģikas modeļa verificētie rezultējošie virsmas skati 1(2).



3.8. att. Faziloģikas modeļa verificētie rezultējošie virsmas skati 2(2).

Iegūtās virsmas nav gludas, un nav iespējams iegūt gludas virsmas, jo izveidotie likumi ir vairāku nelineāru ieejas mainīgo vienādojumi. Aprēķinātie rezultāti liecina par būtisku atkarību no snigšanas intensitātes. Augstākais *PEAS* piederības punkts ir tas, kur ieejas parametra “Sniegs” vērtība sasniedz augstāko vērtību.

Pēc simulācijas tika secināts, ka faziloģikas modeli var tālāk izmantot neironu tīkla vai progresīvākas ekspertu sistēmas attīstībai. Ņemot vērā to, ka dzelzceļa stacijas ar DP atrodas dažādos Latvijas rajonos, izstrādāto modeli ir saprātīgi uzstādīt dažādās *PEAS* vadības sistēmās, savienojot šādas sistēmas neironu tīklā, lai apmācītu tīklu dažādās klimatiskajās zonās. Tas ļaus ievērojami uzlabot modeli, padarīt to robustāku un efektīvāku.

## 4. DZELZCEĻA PĀRMIJU ELEKTRISKĀS APSILDES VADĪBAS SISTĒMAS REALIZĀCIJA PĀRMIJU ATTĪRĪŠANAI NO SNIEGA UN LEDUS

Izvēloties *PEAVS*, ir nepieciešams pārbaudīt, vai vadības sistēma spēj izpildīt šādus uzdevumus:

- 1) apsildes sildelementu izolācijas pretestības mērīšana;
- 2) sprieguma mērīšana, kas tiek padots uz sildelementu;
- 3) strāvas mērīšana, kas plūst apsildes sildelementos;
- 4) apsildāmo sliežu temperatūras mērīšana;
- 5) apkārtējā gaisa temperatūras mērīšana;
- 6) nokrišņu esamības pārbaude un intensitātes mērīšana;
- 7) iespēja veikt konfigurācijas un programmkoda modernizāciju/papildināšanu.

Izstrādājot prasības *PEAS*, tika ņemti vērā vairāki galvenie parametri, kas nepieciešami DP attīrīšanai no sniega un ledus dzelzceļa iecirkņos.

1. *PEAS* darbības nodrošināšana, ņemot vērā plašu apkārtējās vides temperatūru diapazonu. Pārmijas attīrīšanai no sniega un ledus nodrošināšanai *PEAS* ir jāstrādā ārējās temperatūras diapazonā no  $-45\text{ °C}$  līdz  $+5\text{ °C}$ .
2. Iespēja veikt sistēmas monitoringu neatkarīgi no laika un apkārtējās vides apstākļiem. Vēja ātrums, zema apkārtējās vides temperatūra vai sniegputenis nedrīkst būtiski ietekmēt *PEAS* darbību. *PEAS* ir jāspēj veikt sniega kausēšanu ar vēja ātrumu līdz  $30\text{ m/s}$ , sniegputeņa un lietus apstākļos. *PEAS* sastāvā ir jābūt iekārtām, kas ir noturīgas pret agresīvas vides – dzelzceļa ritošā sastāva eļļas, smēres, putekļi un abrazīvās daļiņas – iedarbību.
3. Iespēja nodot monitoringa informāciju par darbības rezultātiem reālā laika (tiešsaistes) režīmā. Komunikācijas sistēmai ir jānodrošina iespēja nolasīt *PEAS* sensoru parametrus reālā laika režīmā. Turklāt datu pārraides kanālu uzticamai darbībai nepieciešams izveidot tos ar noturību pret dažādu traucējumu iedarbību.

Saskaņā ar [6], [14] efektīvai *PEAS* ir jāizpilda šādi nosacījumi:

$$P = \begin{cases} \max, f(k_0) = 1 & \text{if } t < -25\text{ °C} \\ f(k_0) = \text{variable}, & \text{if } -25\text{ °C} \leq t < +5\text{ °C} \\ 0, f(k_0) = 0 & \text{if } t \geq +5\text{ °C} \end{cases} \quad (4.1.)$$

Arguments  $k_0$  sastāv no mainīgo parametru kopas, kas ir redzama 4.2. izteiksmē. Funkcijas  $f(k_0)$  rezultāts ir dažādu parametru vērtību korelācija, kas iekļautas kopā.

$$k_0 = \begin{cases} \text{wind speed} \\ \text{outside temperature} \\ \text{atmospheric precipitation} \\ \text{atmospheric pressure} \\ \text{rail temperature} \end{cases} \quad (4.2.)$$

4.1. izteiksmi var pārveidot arī šādā nosacījumā:

$$\lim_{n \rightarrow \min} f(k_0) = 0 \text{ if } t \geq 0. \quad (4.3.)$$

Izstrādājot *PEAS* ar multisensoru vadību, tika formulētas šādas prasības:



- iespēja izmantot vairākus sensorus un ārējo meteostaciju, lai būtu maksimāla informācija par apkārtējiem faktoriem;
- nepārtraukts sistēmas, sensoru un ārējo parametru monitorings;
- iespēja laideni regulēt apsildes jaudu.

Pētījuma gaitā tika izstrādāta *PEAS* metode un prototipa iekārta. Pārmiju apsildes metode sniega, ledus un citu nokrišņu attīrīšanai no pārmijas virsmas ietver savlaicīgu apsildes ieslēgšanu, ņemot vērā meteostacijas datus, apsildes jaudas regulēšanu atkarībā no nokrišņu intensitātes un apkārtējās vides temperatūras mijiedarbības un sliedes temperatūras nepārtrauktu monitoringu. *PEAS* izmantošanas optimizēšanai dažādu nokrišņu tipa monitoringa laikā tika izmantota ārēja meteostacija, kas tika integrētā kopējā *PEAS*.

Analizējot algoritma izvēli *PEAS* vadības sistēmai ar mērķi noteikt piemērotāko, ģenētiskam un faziloģikas algoritmam tika veikta SVID analīze.

4.1. tabula

*PEAS* vadības sistēmas ģenētiskā algoritma SVID analīze

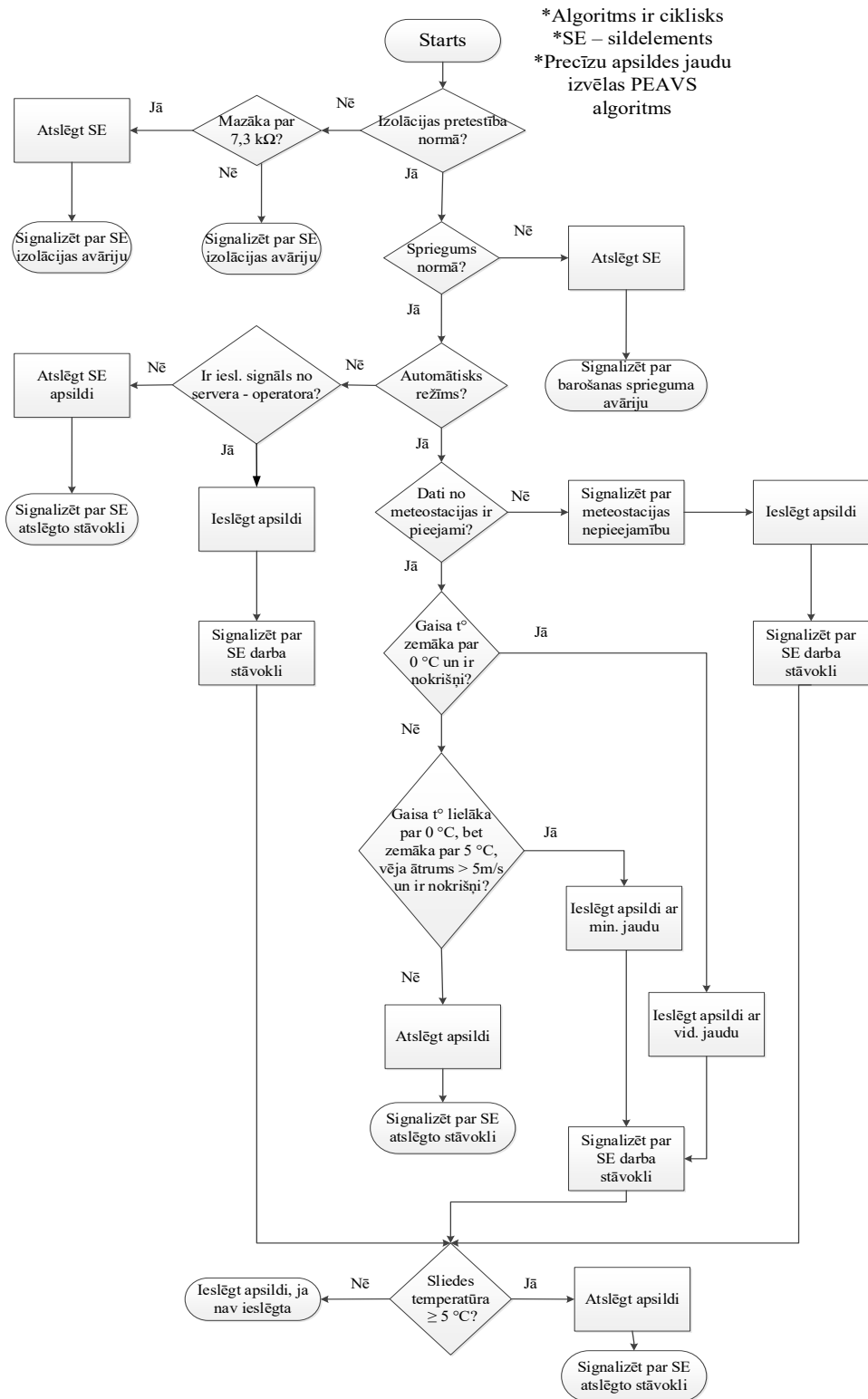
<b>Stiprās puses</b>	<b>Iespējas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inovatīvs algoritms</li> <li>• Iespējams precīzi regulēt apsildi, tās jaudu un ilgumu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jo vairāk iterāciju, jo precīzāks vadības algoritms</li> <li>• Kontrollera resursu pārbagātība – var izmantot citiem mērķiem</li> </ul>
<b>Vājās puses</b>	<b>Draudi</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lēmuma pieņemšanai nepieciešams pārmērīgi liels iterāciju skaits, kas ietekmē lēmumu pieņemšanas laiku (jebkuras izmaiņas ārējos parametros prasa 100 un 1000 iterācijas, lai atrastu jaunu vadības signāla vērtību)</li> <li>• Nepieciešams jaudīgs kontrolleris, lai izpildītu daudzās iterācijas</li> <li>• Jo jaudīgāks kontrolleris, jo tas ir dārgāks</li> <li>• Kontrollera noslodze būs nevienmērīga, līdz ar to lielāko ekspluatācijas laiku kontrolleris būs dīkstāvē</li> <li>• Nepieciešams augsti kvalificēts personāls algoritma administrēšanai un izmaiņu ieviešanai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrollera atteices gadījumā būs augstas nomaļņas izmaksas</li> <li>• Kontrollera atteices gadījumā pastāv iespējamās grūtības ar tikpat jaudīga analoga iepirkumu</li> <li>• Sensora atteices gadījumā sistēma paliek nedarbspējīga vai gala lēmums būs ārkārtīgi nepareizs</li> </ul>

PEAS vadības sistēmas faziloģikas algoritma SVID analīze

<b>Stiprās puses</b>	<b>Iespējas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iespējams precīzi regulēt apsildi, tās jaudu un ilgumu</li> <li>• Spēj apstrādāt multiietekmes faktorus – temperatūru, sniegu, vēju, u. c.</li> <li>• Algoritmu var realizēt gandrīz ar jebkuru mūsdienu kontrolleru bez stingras prasības pret pārbagātu veiktspēju</li> <li>• Tipveida kontrolleru izmantošana krietni samazina sistēmas uzbūves izmaksas</li> <li>• Faziloģikas algoritma kodu ir iespējams veidot ar saprotamu grafisku interfeisu un ērti pārveidot kontrollera programmēšanas valodā</li> <li>• Algoritma administrēšanu var veikt ar dzelzceļa inženiera kvalifikāciju</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iespēja integrēt vadības kontrolleri neironu tīklā</li> <li>• Algoritms var vadīt vairākas sistēmas vienlaikus</li> </ul>
<b>Vājās puses</b>	<b>Draudi</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mazāk precīzs algoritms, salīdzinot ar ģenētisko algoritmu, kas šajā gadījumā nav kritiski sistēmas uzdevumu izpildē</li> <li>• Neliels kontrolleru loks, kas tiešā veidā atbalsta faziloģiku</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensora atteices gadījumā sistēma strādās ar pazeminātu efektivitāti</li> </ul>

Pēc SVID analīzes tika secināts, ka DP efektīvai apsildei un attīrīšanai no sniega un ledus un monitoringa sistēmai izvirzīto prasību izpilde ir iespējama, izmantojot PEAS ar ārējo meteostaciju un faziloģikas algoritmu vadības sistēmā. Šis risinājums ir komplekss un ļauj veikt laika apstākļu mērīšanu (sniegs, ledus) un mērījumu rezultātu apstrādi ar mērķi apstiprināt rezultātus.

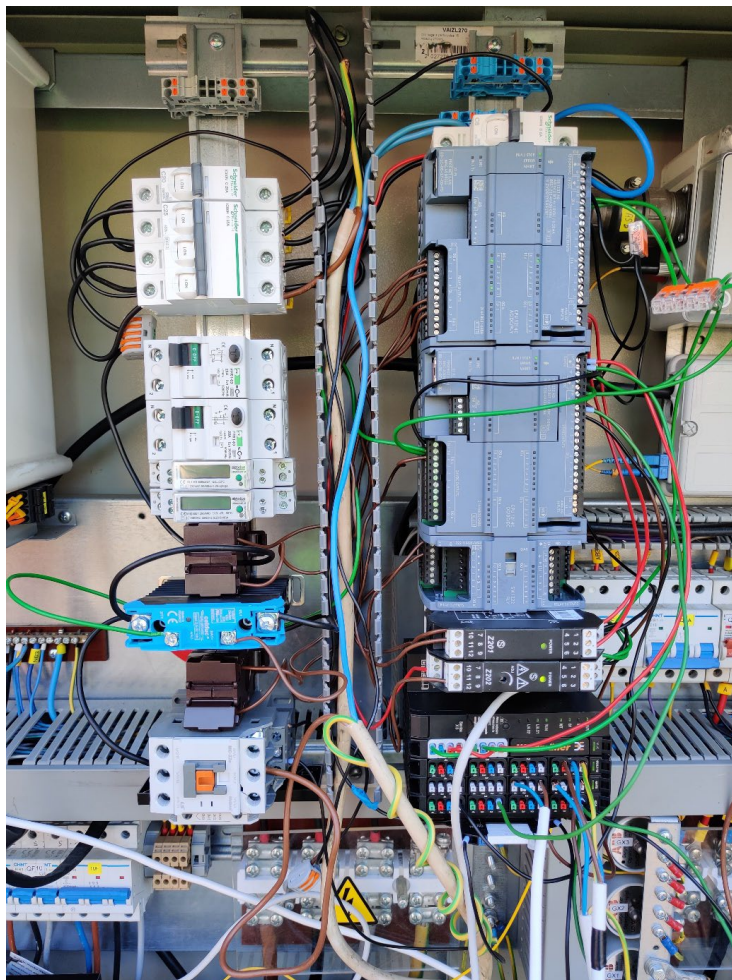
Darbā tika izveidots PEAVS darbības algoritms, kas ir redzams 4.1. attēlā. Iestājoties nelabvēlīgiem laika apstākļiem, sistēma sāk pārbaudu izpildi pirms sprieguma padošanas uz sildelementu. Tiek pārbaudīta izolācijas pretestība, spriegums, darbības režīms, datu pārraides esamība no meteostācijas. Tālāk tiek pārbaudīti laika apstākļi, un ja ārējais temperatūra ir zem 0 °C un ir nokrišņi, tad tiek ieslēgta apsilde ar vidēju jaudu. Ja ārējais temperatūra ir lielāka par 0 °C, bet zemāka par 5 °C, vēja ātrums > 5 m/s un ir nokrišņi, tad apsilde tiek ieslēgta uz minimālu jaudu. Precīzu apsildes jaudu izvēlas PEAVS vadības algoritms.



4.1. att. Piedāvātās PEAVS darbības algoritms, iestājoties nelabvēlīgiem laika apstākļiem.

## 5. DZELZCEĻA PĀRMIJU ELEKTRISKĀS APSILDES VADĪBAS SISTĒMAS TESTĒŠANA REĀLOS APSTĀKĻOS

Lai pārbaudītu teorētiskos aprēķinus, veikto modelēšanu un aprēķinus, tika veikta piedāvātās *PEAS* testēšana reālos dzelzceļa apstākļos. Eksperimenta izpildei bija nepieciešama pārmiju ar apsildes elementiem, pārmiju apsildes skapis, kurā ir brīva vieta iekārtu izvietošanai, optiskā kabeļa sakaru līnija starp pārmiju apsildes skapi un stacijas telekomunikāciju centralizētām iekārtām attālās piekļuves nodrošināšanai. Pārrunu rezultātā ar “LDz” tika panākta vienošanās par eksperimentu veikšanu. Tika izvēlēta Zsulauka stacijas pārmija Nr. 9 ar tajā esošu pārmiju elektriskās apsildes sistēmu, kurā tika uzstādīta eksperimentālā *PEAVS* apsildes iekārta lauka skapī. Ir jāmin, ka eksperimentā tika izmantoti esošie sildelementi, kabeļi no *PEAS* skapja līdz sildelementiem, izolējošie transformatori 230 V / 230 V un automātslēdži. Piedāvātā *PEAVS*, kas ir uzstādīta objektā, redzama 5.1. attēlā.



5.1. att. Piedāvātā *PEAVS* objektā.

Piedāvātā *PEAVS* ir ierīču komplekss, kurā ietilpst automātslēdži, elektriskās enerģijas patēriņa uzskaites ierīces, strāvas mērtransformatori, magnētiskais kontaktors, pusvadītāju

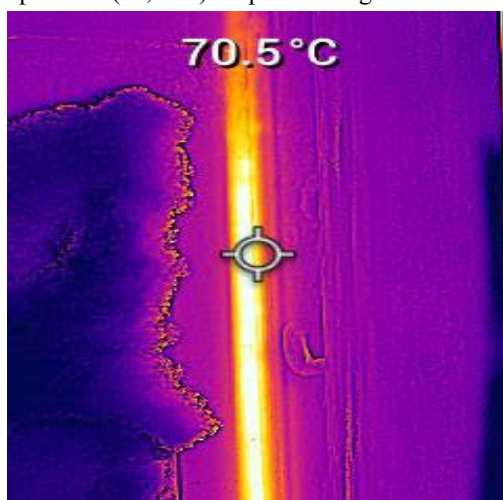
relejs, *Siemens 1214* kontrolleri (*AC/DC/Rly* un *DC/DC/DC*) un paplašinājuma bloks, ierīces sprieguma mērīšanai, *Weidmueller* kontrollieris (*UC20-SL2000-OLC-EC*) un paplašinājuma bloki informācijas saņemšanai no meteostacijas (*UR20-4DO-P*, *UR20-4AI-RTD*, *UR20-4AI-UI-12*).

Visu eksperimentu gaitā tika izmantota meteostacija *Lufft WS600-UMB* [21]. Meteostacijas galvenais uzdevums bija precīzu laika apstākļu datu nosūtīšana uz vadības kontrolleri reāla laika režīmā. Tālāk vadības kontrollieris veica apsildes jaudas regulēšanu, balstoties uz meteostacijas datiem, ņemot vērā nokrišņu intensitātes un apkārtējās vides temperatūras mijiedarbību un sliedes temperatūras nepārtrauktu monitoringu. Meteostacija tika uzstādīta uz balsta aptuveni 4 m augstumā no sliežu galviņas līmeņa pie pārmijas, kas tika izvēlēta eksperimentu izpildei.

Eksperimenta gaitā bija plānots veikt vairākas pārbaudes.

1. *PEAVS* darbības pārbaude. *PEAVS* ieslēdzās, kad stacijas operators ieslēdz apsildi centralizēti vai tad, kad laika apstākļu kombinācija ir atbilstoša pārmiju apsildes ieslēgšanai un vadības algoritms ieslēdz *PEAVS* automātiski.
2. Vai pārmija ir attūrīta no ledus un sniega.
3. Eksperimentālās *PEAVS* elektroenerģijas patēriņa kontrole.
4. Eksperimentālās *PEAVS* elektroenerģijas patēriņa salīdzinājums ar analogisku ekspluatējamu *PEAS*.
5. Eksperimentālās *PEAVS* datu logēšana.

Eksperimenta gaitā ļoti svarīgi bija novērot sistēmas darbību dabā – kā notika sniega kausēšana. Parasti, sākoties snigšanai, kad apsildes jauda bija mēreni intensīva, tika izvēlēts *IPM* atvērums 30–40 % robežās. Autoram esot objektā pie pārmijas, tika uzraudzīta *PEAVS* sistēmas darbība gan uz vietas, gan monitorējot datu failus. Ik pēc 10 minūtēm tika mērīta sildelementa un sliedes temperatūra un uzraudzīta sniega kušana no zonas starp pārmijas atbīdīto asmeni un rāmjsliedi. 5.2. attēlā redzams apsildes gaitā uzņemtais termoattēls, kurā ir redzama sildelementa temperatūra (70,5 °C) eksperimenta gaitā.

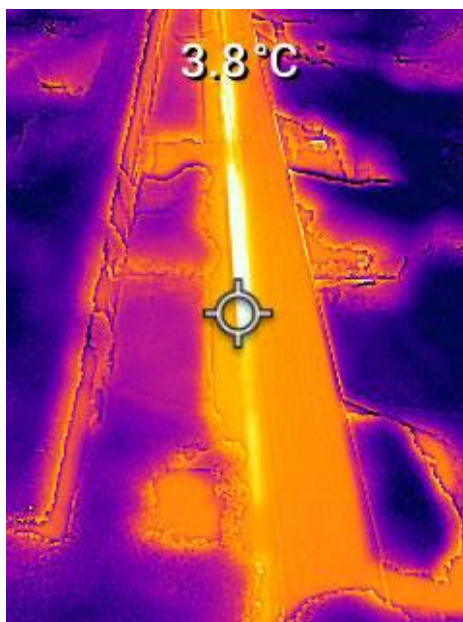


5.2. att. Sildelementa temperatūras mērījums uz pārmijas Nr. 9.

Tālāk tika veikti pārmijas rāmjsliedes, uz kuras piestiprināts sildelements, temperatūras mērījumi. Eksperimenta gaitā tika konstatēts, ka pati rāmjsliede neuzsilst līdz sildelementa

temperatūrai (5.3. att.), t. i., sildelements neatdod visu savu siltumenerģiju sliedei. Tas ir saprotams, jo sildelements nav sliede un pastāv enerģijas zudumi, siltumenerģijai pārejot no viena elementa uz otru, ņemot vērā sniega kausēšanu un arī laika apstākļus, kas veicina siltumenerģijas izkliedi. Savukārt eksperimenti un publikācijas [14], [15] ir parādījušas, ka nav nepieciešams uzturēt augstu sliedes temperatūru un pietiek vien ar dažiem grādiem, jo, kā tika noskaidrots eksperimenta gaitā, svarīgi ir izkausēt sniegu un ledu zonā starp pārmijas asmeni un rāmjsliedi. Tāpat ir svarīgi izkausēt sniegu un nepieļaut ledus veidošanos uz pārmijas “pēdām” – dzelzs platformām, pa kurām slīd asmens.

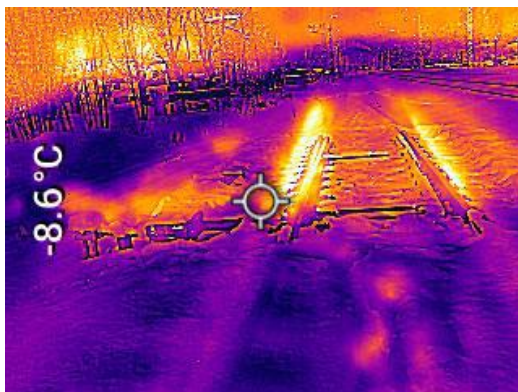
Kā var pārliecināties, apskatot 5.3. attēlu, eksperimentālās *PEAVS* darbības laikā zona starp pārmijas asmeni un rāmjsliedi tika atkausēta, tajā pat laikā sliedes kakla apakšējā daļā temperatūra ir 3,8 °C, kas ir vēlamais rezultāts – rāmjsliede netiek lieki uzkaršēta, un sniegs ir nokūsis.



5.3. att. Rāmjsliedes apakšējās daļas temperatūras mērījums uz pārmijas Nr. 9.

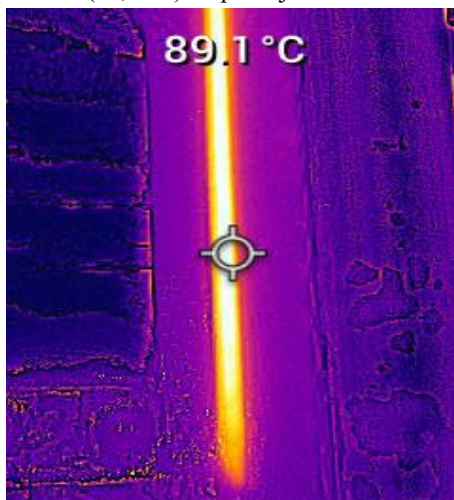
Eksperimenta pozitīva rezultāta apliecinājums ir kopējs termoattēls no pārmijas Nr. 9 zonas (5.4. att.), kur ir redzama apkārtējās vides temperatūra pie pārmiju elektropiedziņas (ārpus apsildāmās zonas). Tāpat var novērot salīdzinoši tumšu kopējo termoattēlu, kas liecina par zemu temperatūru termoattēla vietā.

Kā var redzēt 5.4. attēlā, vidējā temperatūra pārmijas Nr. 9 rajonā (ārpus apsildāmās zonas) ir –8,6 °C, kas aptuveni atbilst ārgaisa temperatūrai novērošanas brīdī (–9,4 °C).



5.4. att. Kopējs pārmijas Nr. 9 rajona termoattēls.

Eksperimenta gaitā kā atskaites punkts jeb atskaites objekts, ar kuru tika veikta eksperimentālās *PEAVS* salīdzināšana un kura mērījumi tika ņemti vērā, bija pārmija Nr. 7. Uz tās darbojas analogiska “LDz” ekspluatējamā *PEAS* ar savu vadības sistēmu. Temperatūras mērījumi tika veikti analogiski mērījumiem uz pārmijas Nr. 9 – ik pēc 10 minūtēm tika mērīta sildelementa un sliedes temperatūra un uzraudzīta sniega kušana no zonas starp pārmijas atbīdīto asmeni un rāmjsliedi. 5.5. attēlā redzams apsildes gaitā uzņemtais termoattēls, kurā ir redzama sildelementa temperatūra (89,1 °C) uz pārmijas Nr. 7.

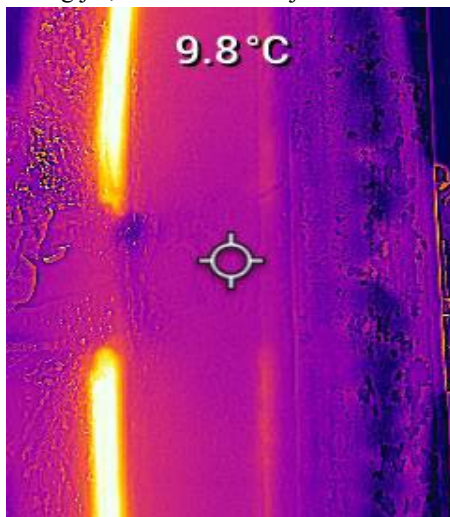


5.5. att. Sildelementa temperatūras mērījums uz pārmijas Nr. 7.

Salīdzinot iegūtos mērījumu rezultātus, tika novērots, ka, abām pārmijām saglabājot tīrību, esošā “LDz” *PEAS* uzsilda sildelementu līdz augstākai temperatūrai nekā eksperimentālā *PEAVS*. Lai arī šādā gadījumā, iespējams, tiek nodrošināta sniega ātrāka kušana, tas nozīmē, ka tiek patērēts krietni vairāk elektroenerģijas un esošā *PEAS* turpina darboties pat tad, kad sniegš jau ir nokausēts.

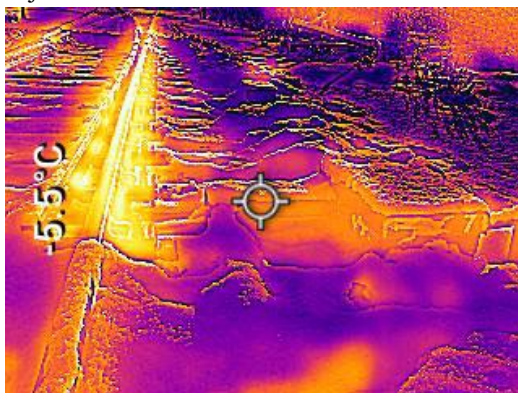
Tika veikti pārmijas Nr. 7 rāmjsliedes, uz kuras bija piestiprināts sildelements, temperatūras mērījumi. Eksperimenta gaitā tika konstatēts, ka pārmijas Nr. 7 rāmjsliede uzsilst līdz temperatūrai 9,8 °C (5.6. att.), kas ir krietni vairāk nekā pārmijas Nr. 9 rāmjsliedes temperatūra

(3,8 °C). Zinot tērauda siltumietilpību un laika apstākļus eksperimenta laikā, var secināt, ka tika patērēts daudz liekas elektroenerģijas, lai uzsildītu rāmjsliedi līdz tik augstai temperatūrai.



5.6. att. Rāmjsliedes apakšējās daļas temperatūras mērījums uz pārmijas Nr. 9.

Eksperimenta rezultāta novērtējumam tika izveidots kopējs termoattēls no pārmijas Nr. 7 zonas (5.7. att.), kur ir parādīta apkārtējās vides temperatūra pie pārmiju elektropiedziņas vilktņiem (ārpus apsildāmās zonas). 5.7. attēlā var redzēt gaišāku kopējo termoattēlu, salīdzinot ar 5.4. attēlu, kas liecina par augstu temperatūru šajā vietā. Arī temperatūru mērījumi liecina, ka pārmijas Nr. 7 zonā temperatūra ir  $-5,5\text{ °C}$ , salīdzinot ar  $-8,9\text{ °C}$  pie pārmijas Nr. 9, kas bija eksperimenta galvenais objekts.



5.7. att. Kopējs pārmijas Nr. 7 rajona termoattēls.

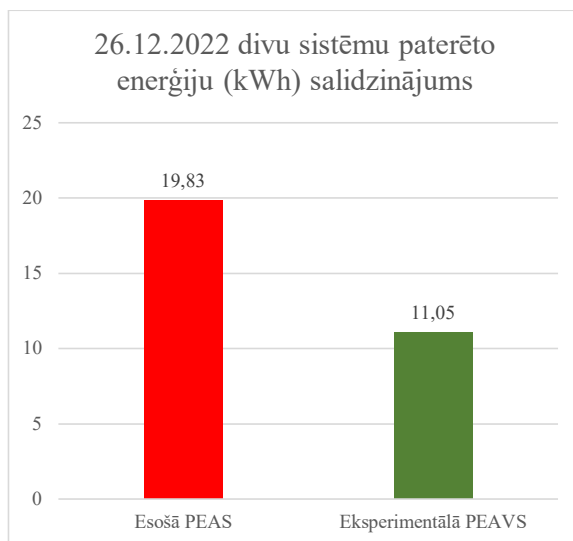
Eksperimenta norises laikā tika noskaidrots:

- eksperimentālā *PEAVS* pilda noteikto funkciju un nodrošina sniega un ledus kausēšanu uz pārmijas Nr. 9 izpildot to ar zemāku elektroenerģijas patēriņu (5.8. att.) nekā esošā *PEAS* uz pārmija Nr. 7;
- eksperimentālā *PEAVS* uztur sildelementa un sliedes temperatūru noteiktā diapazonā, kad sniegš tika nokausēts (zona bija tīra), tajā pat laikā sildelementa temperatūra bija krietni zemāka nekā esošajā *PEAS* uz pārmijas Nr. 7;



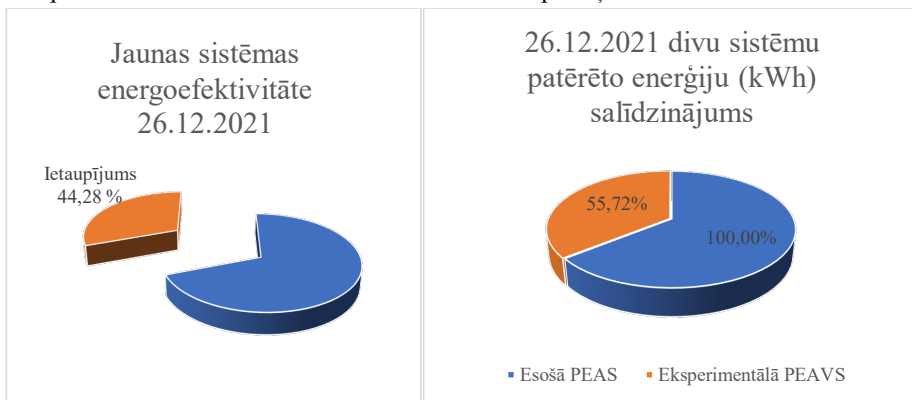
- visā eksperimenta gaitā tika novērots, ka pārmijas Nr. 7 rajonā (esošā PEAS) ārējais temperatūra ir diezgan augsta, salīdzinot ar izmērīto temperatūru pārmijas Nr. 9 rajonā.

Sildelementu temperatūru starpība, izteikta procentos, veidoja 26,4 %, kas ir ievērojama starpība vienas PEAS un – vēl jo vairāk – visas stacijas ietvaros. Uz pārmijas Nr. 9, kur tika uzstādīta eksperimentālā PEAVS, sliedes temperatūra bija 3,8 °C, savukārt uz pārmijas Nr. 7 ar esošu PEAS temperatūra bija 9,8 °C. Starpība bija 6 °C jeb 157,9 %. Kā autors savā darbā minēja, efektīvas PEAVS galvenais uzdevums ir nokausēt sniegu zonā starp pārmijas asmeni un rāmjsliedi, savukārt otrs uzdevums ir uzturēt rāmjsliedes temperatūru noteiktā pozitīvā diapazonā.



5.8. att. Divu sistēmu patērēto elektroenerģiju salīdzinājums.

Uzskatāms un pārliecinošs piedāvātās PEAVS un esošās PEAS salīdzinājums redzams 5.8. attēlā, kad 26.12.2021. eksperimenta laikā (visas dienas laikā) bija ieslēgtas abas sistēmas. Piedāvātā sistēma patērēja 11,05 kWh, savukārt esošā PEAS – 19,83 kWh (5.8. att.). Elektroenerģijas ietaupījums veidoja pārliecinošus 44,28 % (5.9. att.). Grafiki pārliecinoši parāda piedāvātās PEAVS sistēmas efektivitāti reālos apstākļos.



5.9. att. Elektroenerģijas ietaupījumu un patēriņa grafiks.

## SECINĀJUMI UN DARBA GALVENIE REZULTĀTI

1. Izpētītas Latvijā, Eiropā un pasaulē izmantotās pārmiju attīrīšanas sistēmas, aprakstītas un analizētas šo sistēmu priekšrocības un trūkumi. Konstatēts, ka visām elektriskās *PEAS* piemīt būtisks trūkums – tiek nevajadzīgi ilgi sildītas sliedes, tāpēc veidojas ļoti būtiski siltuma zudumi. Secināts, ka ir nepieciešams izstrādāt *PEAVS* ar multisensoru un faziloģikas vadības integrāciju. Praktisko eksperimentu gaitā pierādīta piedāvātā risinājuma efektivitāte, salīdzinot ar šobrīd “LDz” ekspluatējamām *PEAVS*.

2. Identificēti un verificēti galvenie pārmiju apsildi ietekmējošie ārējie faktori un tas, cik lielā mērā tie ietekmē pārmiju apsildi. Ar regresijas izteiksmju palīdzību aprēķināti ietekmes faktoru koeficienti un ietekmes faktoru normalizētās vērtības. Noskaidrotas pārmiju apsildes jaudas atkarības no katra ietekmes faktora. Neefektīvas pārmiju apsildes problēmas formulēšanas laikā noteikts, ka šobrīd “LDz” tiek ekspluatētas esošas *PEAS*, kas darbojas pēc vienkārša ieslēgts/izslēgts principa vai pēc vadības ar vienu sensoru (vadība pēc viena ietekmes faktora), līdz ar to šajās sistēmās apsildes jauda netiek regulēta vai arī regulēta nepietiekamā līmenī.

3. Veikta vadības sistēmas vispārēja definēšana, pētītas atgriezeniskās saites un to funkcijas. Veikts pārmiju apsildes vadības sistēmu salīdzinājums, galveno uzdevumu un metožu analīze. Izpildīta termālā stāvokļa regulēšanas modelēšana ar dažādiem paņēmieniem – tiešā regulēšana, regulēšana ar atgriezenisko saiti, pēc regresijas vienādojumu rezultātiem. Notika minēto paņēmieni modelēšana *PSIM* vidē, rezultātu apkopošana un analīze. Secināts, ka regresijas metode ir salīdzinoši laba, taču pilnībā neapmierina efektīvas pārmiju apsildes prasības, tāpēc turpmākajam darbam, modelēšanai un praktiskam eksperimentam modelis tika pilnveidots. Rezultātā izstrādāta eksperimentāla dzelzceļa pārmiju apsildes sistēma ar intelektuālās vadības algoritmu, kurā tika integrēts faziloģikas algoritms.

4. Aprakstīta faziloģikas izmantošana elektrotehnoloģiju datorvadībā un vadības sistēmā. Aprakstīta *PEAVS* faziloģikas modeļa konstruēšana gaita, veikta konstruēšana un modeļa modelēšana *MatLAB* vidē. Izpildīta *Fazi-PI* un *fazi-PID* regulatoru analīze un to lietojamība *PEAVS*. Secināts, ka faziloģikas komandu izmantošana algoritma sintēzē dod visprecīzāko rezultātu attiecībā uz apsildes pamata ietekmes parametra izvēli un tā izvirzīšanu par primāro parametru vadības algoritma izstrādē. Šo secinājumu apstiprina izpildītā modelēšana *MatLAB* un *SIEMENS Fuzzy Logic “FuzzyControl++”* programmatūrās.

5. Formulētas prasības pārmiju apsildes vadības sistēmai un noteiktas pārmiju elektriskās apsildes vadības sistēmas funkcionālās iespējas. Izvēlētas ierīces un tehnoloģijas efektīvai pārmiju apsildei. Veikts eksperimentālās un izstrādātās *PEAVS* un galveno konkurentu salīdzinājums un dažādu *PEAS* vadības algoritmu trūkumu analīze. Izstrādāts efektīvas pārmiju apsildes un laika apstākļu monitoringa darbības algoritms. Metodoloģija tika īstenota atbilstoši vadības algoritmam, kas ietver automātisku laika apstākļu novērošanu, automātisku pārmijas apsildes ieslēgšanos, iestājoties nelabvēlīgu laika apstākļu sliekšņa lielumam. 4. nodaļas beigās aprakstīti izstrādātās *PEAVS* galvenie uzdevumi un veikta *PEAS* ierīču un tehnoloģijas izstrāde.

6. Izstrādāta eksperimentālā *PEAVS*, kas ir aprīkota ar meteostaciju, kas spēj noteikt laikapstākļus, ārgaisa temperatūru un vēja ātrumu un darbības datu jeb parametru logēšanu reāllaikā. Izstrādātais *PEAVS* sastāv no centrālā vadības kontrollera, kas ir savienots ar

sekundāro kontrolleri, kurā ienāk informācija no meteostacijas un sliedes temperatūras devēja. Aprakstīta eksperimentālā *PEAVS*, tās darbības shēmas un sniegts galveno ierīču apraksts. Izstrādāts *PEAVS* vadības algoritms ar datu pārraidi no meteostacijas reāllaika režīmā. Algoritms, kurā ir integrēti faziloģiskas paņēmieni, realizē apsildes jaudas izvēli, sastāv no programmas koda un atrod optimālo lielumu, ko padot izejā. Aprakstīts praktiskais eksperiments, tā norise un sasniegtie rezultāti.

7. Viens no eksperimenta rezultātiem ir ārgaisa temperatūras starpība zonā pie pārmijas uz katras no salīdzinātajām pārmijām. Starpība veidoja 56,4 %. Šis salīdzinājums liecina par pārmijas zonas ārgaisa nevajadzīgu uzsildīšanu esošās apsildes sistēmas apkārtņē.

8. Veikti praktiski eksperimenti objektā uz "LDz" ekspluatējamās pārmijas vairākas ziemas sezonas, eksperimentālā *PEAVS* testēta dažādos laika apstākļos un darbības režīmos. Analizējot eksperimentu rezultātus, secināts, ka eksperimentālā *PEAVS* pilda savus uzdevumus un lieki nepārkarsē rāmjsliedi.

9. Eksperimenta laikā sildelementu temperatūru starpība veidoja 26,4 %, kas ir ievērojama. Eksperimenta laikā tika novērota arī ievērojama sliežu temperatūru starpība. Uz pārmijas Nr. 9, kur tika uzstādīta eksperimentālā *PEAVS*, sliedes temperatūra bija 3,8 °C, savukārt uz pārmijas Nr. 7 ar esošu *PEAS* temperatūra bija 9,8 °C. Starpība izteikta procentos ir 157,9 %. Kā jau darbā aprakstīts, efektīvas *PEAVS* galvenais uzdevums ir nokausēt sniegu zonā starp pārmijas asmeni un rāmjsliedi, savukārt otrs uzdevums – nevajadzīgi nepārkarsēt rāmjsliedi. Rezultātā eksperimentālā *PEAVS* algoritma darbība uzsildīja sliedi līdz pietiekamai temperatūrai, nepārkarsējot rāmjsliedi.

10. Veikta eksperimenta laikā iegūto rezultātu salīdzināšana ar analogisku "LDz" pārmiju, kas ir aprīkota ar esošu *PEAS* un darbojas vienlaikus ar eksperimentālo *PEAVS*. Rezultātu salīdzināšanas laikā tika konstatēts, ka eksperimentālai *PEAVS* ir mazāki siltumenerģijas zudumi jeb mazāk jaudas tiek tērēts nevajadzīgai apkārtējas vides apsildei, tajā pat laikā gūstot vienādus rezultātus pārmijas attīrīšanā no sniega. Aprēķināta arī eksperimentālās *PEAVS* ekonomiskā efektivitāte, kas veidoja 44,28 %, jeb patērētie 11,05 kWh pret 19,83 kWh esošai *PEAS* vienas dienas laikā. Var secināt, ka praktisko eksperimentu laikā eksperimentālā *PEAVS* pierādīja savu energoefektivitāti.

11. Eksperimenta secinājums – šobrīd ekspluatējamā *PEAS* uz pārmijas Nr. 7 ir neefektīva un lieki tērē elektroenerģiju, apsildot pārmiju līdz nevajadzīgi augstai temperatūrai, visā pārmijas rajonā izkļiedējot krietnu daudzumu siltumenerģijas. Turpretī eksperimentālā *PEAVS* uz pārmijas Nr. 9 noteikto uzdevumu veica tikpat efektīvi ar zemāku elektroenerģijas patēriņu un minimāliem siltumenerģijas zudumiem apkārtējā vidē.

# AVOTU UN IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] I. C. C. D. J. Pagand, *Fostering Rail Through Green Deal*, 2020.
- [2] P. Dolgoplov, D. Konstantinov, L. Rybalchenko, and R. Muhitovs, Optimization of train routes based on neuro-fuzzy modeling and genetic algorithms, in *Procedia Computer Science*, 2019, vol. 149. doi: 10.1016/j.procs.2019.01.101.
- [3] M. Meztitis, R. Muhitovs, M. Arpabekov, Z. Sansyzbajeva, B. Togizbayeva, and A. Assiltayev, Optimization of Transport Logistical Flows Between Railway and Urban Passenger Transportation Systems, 2020, pp. 28–34. doi: 10.1007/978-3-030-39688-6\_5.
- [4] Ягудин Р. Ш., *Надёжность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики*. Москва: Транспорт, 1989.
- [5] Сапожников Вл.В., Шаманов В.И., Сапожников В.В., *Надёжность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи*. Москва: Транспорт, 2003.
- [6] R. Muhitovs, M. Meztitis, and J. Freimane, Intelligent Railway Point Electric Heating Control System, 2019. doi: 10.1109/RTUCON48111.2019.8982345.
- [7] Gržibovskis M., *SCB Lauku iekārtu uzbūve un tehniskās apkopes principi. Mācību līdzeklis*. Rīga, 2009.
- [8] J. Smirnovs, P. Balckars, D. Sergejevs, T. Altbergs, and V. Greckis, *Dzelzceļi. Vispārīgais kurss*. 1996.
- [9] B. A. Palsson, *Optimisation of Railway Switches and Crossings*, Chalmers University of Technology, Goteborg, 2014.
- [10] O. Podsoonnaja, M. Meztitis, *Vilcienu kustības intervālu regulēšanas sistēmas (releju). Mācību līdzeklis*. Rīga: RTU, 2007.
- [11] R. Muhitovs, M. Meztitis, and I. Korago, 'Development of the railway point electric heating intellectual control algorithm', *Transport Problems*, vol. 15, no. 1, 2020, doi: 10.21307/TP-2020-007.
- [12] M. Meztitis, G. Strautmanis, A. Baranovskis, and R. Muhitovs, *Environment Safety Improving Due to Railway Noise Management Decreasing of RMR Method Adaptation*, vol. 124. 2020. doi: 10.1007/978-3-030-42323-0\_9.
- [13] P. Norrbin, J. Lin, and A. Parida, *Energy efficiency optimization for railway switches & crossings: a case study in Sweden*, 2016.
- [14] R. Muhitovs, M. Meztitis, A. Spunitis, and V. Iriskovs, Analysis of Experimental Railway Point Electric Heating System, 2021. doi: 10.1109/AIEEE51419.2021.9435805.
- [15] R. Muhitovs, M. Meztitis, A. Baranovskis, and A. Spunitis, Modelling point electric heating algorithm using Fuzzy Logic, 2021. doi: 10.1109/ICECCME52200.2021.9590940.
- [16] Munakata Toshinori, *Fundamentals of the New Artificial Intelligence*. London: Springer London, 2007. doi: 10.1007/978-1-84628-839-5.

- [17] E. Ginters, M. Meztis, and D. Aizstrauta, ‘Sustainability Simulation and Assessment of Bicycle Network Design and Maintenance Environment’, in *2018 International Conference on Intelligent and Innovative Computing Applications (ICONIC)*, Dec. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICONIC.2018.8601225.
- [18] G. Strautmanis, M. Meztis, and V. Strautmane, Model of a vertical rotor with a ball-type automatic balancer, *Vibroengineering PROCEDIA*, vol. 8, pp. 57–62, Oct. 2016, Accessed: Sep. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.extrica.com/article/17598>.
- [19] M. Meztis, V. Panchenko, M. Kutsenko, and A. Maslii, Mathematical model for defining rational constructional technological parameters of marshalling equipment used during gravitational target braking of retarders, *Procedia Comput Sci*, vol. 149, pp. 288–296, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.01.137.
- [20] V. Yatsun *et al.*, Searching for the two-frequency motion modes of a threemass vibratory machine with a vibration exciter in the form of a passive autobalancer’, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 7 (106), pp. 103–111, Aug. 2020, doi: 10.15587/1729-4061.2020.209269.
- [21] ‘Compact Weather Sensors – WS600-UMB Smart Weather Sensor’. <https://www.lufft.com/products/compact-weather-sensors-293/ws600-umb-smart-weather-sensor-1832/> (accessed Sep. 10, 2022).



**Ruslans Muhitovs** dzimis 1987. gadā Rīgā. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvis profesionālā bakalaura grādu elektrotehnikā (2010) un profesionālā maģistra grādu dzelzceļa elektrosistēmās (2012). Strādājis uzņēmumā SIA "*Bombardier Transportation Baltics*", un no 2014. līdz 2016. gada ieņēmis vadošo lomu 13 dzelzceļa staciju signalizācijas sistēmu modernizācijas projektu ieviešanā un vadībā. Kopš 2019. gada strādā RTU, ieņemot pētnieka amatu. Patlaban ir ātrgaitas dzelzceļa projekta "*Rail Baltica*" kopuzņēmuma AS "*RB Rail*" vecākais plānošanas inženieris. Kopš karjeras sākuma ir bijis cieši saistīts ar dzelzceļu un dzelzceļa automātikas, signalizācijas un elektriskām vadības sistēmām. Zinātniskās intereses saistītas ar dzelzceļa automātikas un vadības sistēmām, drošības sistēmām un heirstiskām sistēmām (faziloģika un neironu tīkli).