



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Karolina Stočkūnaitė

**IŠMANIOJO PASTATO VALDYMO SISTEMOS TYRIMAS**  
**RESEARCH OF SMART BUILDING MANAGEMENT SYSTEM**

Baigiamasis magistro darbas

Elektros energetikos sistemų inžinerija, valstybinis kodas 6211EX049

Atsinaujinančiosios elektros energetikos inžinerijos specializacija

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS  
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU  
Katedros vedėjas

(Parašas)

doc. dr. Sonata Tolvaišienė

(Vardas, pavardė)

(Data)

Karolina Stočkūnaitė

IŠMANIOJO PASTATO VALDYMO SISTEMOS TYRIMAS  
RESEARCH OF SMART BUILDING MANAGEMENT SYSTEM

Baigiamasis magistro darbas

Elektros energetikos sistemų inžinerija, valstybinis kodas 6211EX049

Atsinaujinančiosios elektros energetikos inžinerijos specializacija

Elektros inžinerijos studijų kryptis

**Vadovas**

dr. Tomas Ustinavičius

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

**Lietuvių kalbos konsultantas**

dr. Anželika Gaidienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2021

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS  
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Elektros energetikos sistemų inžinerija studijų programa, valstybinis  
kodas 6211EX049

Atsinaujinančiosios elektros energetikos inžinerijos specializacija

TVIRTINU  
Katedros vedėjas

(Parašas)

doc. dr. Sonata Tolvaišienė

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO**

**UŽDUOTIS**

2019-10-12 Nr. ....  
Vilnius

Studentei ..... Karolinai Stočkūnaitei  
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: ..... Išmaniojo pastato valdymo sistemos tyrimas

patvirtinta 2021 m. kovo 10 d. dekanų potvarkiu Nr. 35 el.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2021 m. birželio 2 d.

**BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:**

1. Išnagrinėti tradicinius, PID pagrįstus PVS veikimo principus. 2. Išnagrinėti išmaniųjų PVS sistemų kūrimą lemiančias sąlygas (daiktų internetą, didžiuosius duomenis, debesų kompiuteriją) ir pritaikymo galimybes ŠVOK valdyti. 3. Išnagrinėti DI pritaikymo valdant ŠVOK sistemą pavyzdžius ir jų rezultatus. 4. Įvertinti analizuojamo objekto PVS funkcionalumus, kaupiamus / naudojamus duomenis ir nustatyti jos veikimo trūkumus ir ŠVOK sistemos valdymo klaidas. 5. Apskaičiuoti tiriamojo objekto galimas energijos sutaupymo apimtis PVS sistemai dirbant efektyviau.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

dr. Tomas Ustinavičius

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas .....  
(Paraša )

dr. Tomas Ustinavičius

(Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Karolina Stočkūnaite

(Vardas, pavardė)

2019-10-12

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas  
Elektronikos fakultetas  
Elektros inžinerijos katedra

ISBN      ISSN  
Egz. sk. ....  
Data ....-....-....

**Elektros energetikos sistemų inžinerijos** studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Išmaniojo pastato valdymo sistemos tyrimas**

Autorius **Karolina Stočkūnaitė**

Vadovas **dr. Tomas Ustinavičius**

**Kalba:** lietuvių

### **Anotacija**

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama išmaniojo pastato valdymo sistema. Apžvelgiami tradiciniai, PID pagrįsti, pastato valdymo sistemos veikimo principai. Nagrinėjama išmaniųjų PVS sistemų kūrimą sudarančios sąlygos ir pritaikymo galimybės šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo valdymui. Analizuojami dirbtinio intelekto pritaikymo ŠVOK sistemos valdyme pavyzdžiai ir aprašomi jų pasiekti rezultatai. Įvertintas analizuojamo objekto pastato valdymo sistemos funkcionalumas, kaupiami duomenys ir nustatyti veikimo trūkumai bei ŠVOK sistemos valdymo klaidos. Taip pat, apskaičiuota tiriamojo objekto galima energijos sutaupymo apimtis PVS sistemai dirbant efektyviau.

Išnagrinėjus teorinius ir praktinius pastato valdymo sistemos ypatumus, pateikiamos baigiamojo darbo išvados.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, tiriamoji dalis, išvados, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 70 pslp. teksto be priedų, 39 iliustr., 6 lent., 32 bibliografiniai šaltiniai.

**Prasminiai žodžiai:** pastato valdymo sistema, PID modelis, dirbtinis intelektas, efektyvumas, šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas, optimizavimas

Vilnius Gediminas Technical University  
Faculty of Electronics  
Department of Electrical Engineering

ISBN      ISSN  
Copies. No. ....  
Date ....-....-....

**Electrical Energetics Systems Engineering** study programme Master Thesis

Title **Research Of Smart Building Management System**

Author **Karolina Stočkūnaitė**

Academic supervisor **dr. Tomas Ustinavičius**

**Thesis language:** Lithuanian

#### **Annotation**

The final master's thesis deals with the intelligent building management system. The traditional, PID-based, building management system operation principles are reviewed. The conditions and application possibilities for the development of intelligent PVA systems for heating, ventilation and air conditioning control are examined. Examples of the application of artificial intelligence in the management of the HVAC system are analyzed and the results achieved are described. The functionality of the building management system of the analyzed object was evaluated, data were collected and operational deficiencies and HVAC system management errors were identified. Also, the potential energy savings of the research object with more efficient operation of the PVA system were calculated. After analyzing the theoretical and practical features of the building management system, the conclusions of the final work are presented.

Structure: introduction, literature review, research part, conclusions, references.

Thesis consists of: 70 p. text without appendixes, 39 pictures, 6 tables, 32 bibliographical entries.

**Keywords:** building management system, PID model, artificial intelligence, efficiency, heating, ventilation and air conditioning, optimization

Vilniaus Gedimino technikos universiteto  
egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei  
gynimo organizavimo tvarkos aprašo  
2 priedas

**(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)**

**VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS**

Karolina Stočkūnaitė, 20145263

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Elektros energetikos sistemų inžinerija, EEIfmu-19

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO  
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2021 m. birželio 2 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Išmaniojo pastato valdymo sistemos tyrimas“ patvirtintas 2021 kovo 10 d. dekanų potvarkiu Nr. 35 el, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: dr. Tomas Ustinavičius. Mano darbo vadovas dr. Tomas Ustinavičius.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjusi.

\_\_\_\_\_  
(Parašas)

\_\_\_\_\_  
Karolina Stočkūnaitė  
(Vardas ir pavardė)

## PADĖKA

Išskirtinę padėką noriu išsakyti savo sesei, Gabrielei Stočkūnaitei, už konsultavimą dirbtinio intelekto sampratos klausimais.

# TURINYS

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ĮVADAS .....                                                                                             | 14 |
| 1. LITERATŪROS APŽVALGA .....                                                                            | 16 |
| 1.1. Išmanusis pastatas ir pastato valdymo sistema .....                                                 | 16 |
| 1.2. Tradicinis PID sistemos veikimo modelis ŠVOK procesų kontrolei .....                                | 18 |
| 1.3. Modernus DI sistemos veikimo modelis ŠVOK procesų kontrolei .....                                   | 21 |
| 1.4. DI modeliu pagrįstų PVS sistemų kūrimą įgalinančios sąlygos .....                                   | 23 |
| 1.5. Dažniausiai sutinkamų PVS protokolų tipų apžvalga .....                                             | 24 |
| 1.5.1. „BACnet“ .....                                                                                    | 25 |
| 1.5.2. „LonWorks“ .....                                                                                  | 27 |
| 1.5.3. „KNX“ .....                                                                                       | 27 |
| 1.5.4. „Modbus“ .....                                                                                    | 27 |
| 1.5.5. „M-Bus“ .....                                                                                     | 28 |
| 1.6. Skirtingų DI modelių ŠVOK sistemoms apžvalga.....                                                   | 28 |
| 1.6.1. ANN modelis .....                                                                                 | 28 |
| 1.6.2. „Fuzzy“ – neaiškiosios logikos modelis .....                                                      | 30 |
| 1.6.3. MAS modelis .....                                                                                 | 31 |
| 1.6.4. SVM modelis .....                                                                                 | 32 |
| 1.7. DI grįstų programų pastatams bei DI valdomų ŠVOK sistemų pavyzdžiai.....                            | 33 |
| 1.8. DI pritaikymo išmaniuosiuose pastatuose iššūkiai.....                                               | 38 |
| 2. PRAKTINĖ DALIS.....                                                                                   | 40 |
| 2.1. Tiriamojo objekto aprašymas .....                                                                   | 40 |
| 2.2. Objekte įrengtos ŠVOK sistemos valdymo apžvalga .....                                               | 40 |
| 2.3. Pastato PVS sistemos veikimo tyrimas .....                                                          | 48 |
| 2.3.1. Atriumo zonos grindinio šildymo tyrimas .....                                                     | 51 |
| 2.3.2. Pastato valdymo sistemos stebimų duomenų palyginimas su faktinio suvartojimo duomenimis .....     | 53 |
| 2.3.3. Atriumo zonoje dirbančių konvektorių tyrimas .....                                                | 55 |
| 2.3.4. Pastato valdymo sistemos klaidos šildymo, vėdinimo ir vėsinimo (ŠVOK) sistemose – W korpusas..... | 59 |
| 2.3.5. Pastato valdymo sistemos klaidos šildymo, vėdinimo ir vėsinimo sistemose – X, Y, Z korpusas ..... | 63 |
| 2.4. Rezultatai.....                                                                                     | 65 |
| IŠVADOS.....                                                                                             | 67 |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS.....                                                                                 | 68 |

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

|                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1 pav.</b> Pastato valdomieji parametrai (Zyga, 2009) .....                                                                                                                   | 17 |
| <b>2 pav.</b> PID regulatoriaus veikimo principas (PID regulatoriaus schema, 2011).....                                                                                          | 18 |
| <b>3 pav.</b> PID valdymo principas (PID Controller – Working and Tuning Methods, 2015).....                                                                                     | 19 |
| <b>4 pav.</b> Nustatytojo parametro derinimasis (Introduction to the key terms associated with PID Temperature Control, n. d.) .....                                             | 19 |
| <b>5 pav.</b> Pastato įprastos ŠVOK sistemos veikimo schema (Cheng ir Lee, 2019).....                                                                                            | 20 |
| <b>6 pav.</b> MPC valdiklis naudoja vidinį modelį iteratyviai optimizuoti, nustatant, kokia turėtų būti kita išvestis (Dahlberg, 2020).....                                      | 21 |
| <b>7 pav.</b> Pastato ŠVOK sistemos su integruotu DI varikliu veikimo schema (Cheng ir Lee, 2019) ...                                                                            | 22 |
| <b>8 pav.</b> ANN veikimo principo schema.....                                                                                                                                   | 29 |
| <b>9 pav.</b> ANN procedūra (Ahmad et al., 2016) .....                                                                                                                           | 30 |
| <b>10 pav.</b> Neraiškosios logikos modelio ŠVOK valdiklis (Khalid et al., 2018) .....                                                                                           | 30 |
| <b>11 pav.</b> Neaiškosios (angl. <i>fuzzy</i> ) logikos modelio procedūra .....                                                                                                 | 31 |
| <b>12 pav.</b> Konceptų ryšys su ŠVOK sistemų valdymu (Windham ir Treado, 2016).....                                                                                             | 32 |
| <b>13 pav.</b> Atraminio vektoriaus mašinos (SVM) klasifikavimas .....                                                                                                           | 32 |
| <b>14 pav.</b> Elektrinė valdymo diagrama (Jiang et al., 2018).....                                                                                                              | 36 |
| <b>15 pav.</b> Eksperimentinė vidutinė energijos taupymo procentinė dalis, energijos taupymo svyravimai ir maksimalus energijos taupymas naudojant DI (Cheng ir Lee, 2019) ..... | 37 |
| <b>16 pav.</b> Prognozavimo klaidų palyginimas DI valdomose ŠVOK sistemose (Cheng ir Lee, 2019)                                                                                  | 38 |
| <b>17 pav.</b> X, Y ir Z korp. PVS vaizduojama ŠVOK sistemos funkcinė schema .....                                                                                               | 41 |
| <b>18 pav.</b> X, Y ir Z korp. PVS sistemoje atvaizduojama vėdinimo įrenginių funkcinė schema.....                                                                               | 42 |
| <b>19 pav.</b> W korp. PVS vaizduojama ŠVOK sistemos funkcinė schema .....                                                                                                       | 46 |
| <b>20 pav.</b> X, Y ir Z korp. PVS sistemoje kaupiamų duomenų sritys .....                                                                                                       | 49 |
| <b>21 pav.</b> W korp. grindinio šildymo grafiko fragmentas .....                                                                                                                | 51 |
| <b>22 pav.</b> W korp. grindinio šildymo grafikas nuo kovo 28 d. iki balandžio 28 d.....                                                                                         | 52 |
| <b>23 pav.</b> W korpuso tiriamo atriumo zona.....                                                                                                                               | 54 |
| <b>24 pav.</b> Konvektorių darbas 2 aukšte .....                                                                                                                                 | 55 |
| <b>25 pav.</b> Konvektorių darbas 3 aukšte .....                                                                                                                                 | 56 |
| <b>26 pav.</b> Konvektorių darbas 4 aukšte .....                                                                                                                                 | 57 |
| <b>27 pav.</b> Konvektorių darbas 5 aukšte .....                                                                                                                                 | 58 |
| <b>28 pav.</b> Grindinio šildymo sistemos sutrikimas .....                                                                                                                       | 59 |
| <b>29 pav.</b> Duomenų rinkimo / stebėjimo sutrikimas .....                                                                                                                      | 60 |
| <b>30 pav.</b> Šildymo ir vėsinimo vožtuvų pavarų darbas balandžio 30 d. ....                                                                                                    | 60 |

|                |                                                                                          |    |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>31 pav.</b> | 3 aukšto atriumo dalies PVS nustatyta, termostate nustatyta ir matuojama temperatūros... | 61 |
| <b>32 pav.</b> | Šildymo ir vėsinimo vožtuvų pavarų darbas gegužės 8–12 d. ....                           | 61 |
| <b>33 pav.</b> | Šilumos siurblio ir aušyklės darbo sutrikimai .....                                      | 62 |
| <b>34 pav.</b> | Šaltnešių temperatūrų palyginimas .....                                                  | 62 |
| <b>35 pav.</b> | Nevienodas vėdinimo sistemos parametrų PVS stebėjimas.....                               | 63 |
| <b>36 pav.</b> | AHU-1 vėdinimo sistemos parametrai .....                                                 | 63 |
| <b>37 pav.</b> | Neefektyvus AHU-1 vėdinimo sistemos darbas .....                                         | 64 |
| <b>38 pav.</b> | X, Y ir Z kop. PVS funkcinės schemos atvaizdavimo netikslumai .....                      | 65 |
| <b>39 pav.</b> | Galimi sutaupymai optimizavus grindinio šildymo darbą W korpuse .....                    | 65 |

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1 lentelė.</b> Pagrindinės PVS valdomos sistemos.....                             | 16 |
| <b>2 lentelė</b> DI modeliu paremtų ŠVOK sistemų efektyvaus darbo rezultatai .....   | 37 |
| <b>3 lentelė.</b> X, Y ir Z korpusų šildymo ir vėsinimo sistemų veikimo logika ..... | 40 |
| <b>4 lentelė.</b> X, Y ir Z korpusų vėdinimo sistemų veikimo logika .....            | 43 |
| <b>5 lentelė.</b> W korpuso ŠVOK sistemų veikimo logika .....                        | 43 |
| <b>6 lentelė.</b> Tiriamo pastato W korpuso plotas.....                              | 53 |

## ŽYMENYS IR SANTRUMPOS

AHU – angl. *air handling unit*; liet. vėdinimo kamera

ANN – angl. *artificial neural network*; liet. dirbtiniai neuroniniai tinklai

ANSI – angl. *American National Standards Institute*; liet. Amerikos nacionalinis standartų institutas

API – angl. *application programming interface*; liet. taikomųjų programų programavimo sąsaja

ARX – angl. *autoregressive with exogenous inputs*; liet. autoregresinis su egzogeninėmis įvestimis

ASHRAE – angl. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*; liet. Amerikos šildymo, šaldymo ir oro kondicionavimo inžinierių draugija

BAC – angl. *building automation control*; liet. pastatų automatikos valdymas

BLN – angl. *building level network*; liet. pastato lygmens tinklas

CBEC – angl. *commercial buildings energy consumption*; liet. komercinių pastatų energijos suvartojimas

CP – angl. *circulation pump*; liet. cirkuliacinis siurblys

DI – dirbtinis intelektas

DPC – angl. *data-driven model predictive control*; liet. duomenimis pagrįsto modelio nuspėjamas valdymas

DRP – angl. *demand response program*; liet. reagavimo į paklausą programa

FCS – angl. *fieldbus control system*; liet. magistralinė valdymo sistema

FDD – angl. *fault detection and diagnostics*; liet. gedimų nustatymas ir diagnostika

FLC – angl. *fuzzy logic controller*; liet. neaiškūs loginis valdiklis

FLN – angl. *floor level network*; liet. aukšto lygmens tinklas

HP – angl. *heat pump*; liet. šilumos siurblys

IoT – angl. *internet of things*; liet. daiktų internetas

IP - angl. *internet protocol*; liet. interneto protokolas

ISO-OSI – angl. *International organization of Standardization-Open Systems Interconnection*; liet. Tarptautinė atvirų sistemų sujungimo organizacija

LAN – angl. *local area network*; liet. vietinis tinklas

MAS – angl. *multiple agents system*; liet. daugybinių agentų sistema

MLN – angl. *management level network*; liet. valdymo lygmens tinklas

MPC – angl. *model predictive control*; liet. modeliu grindžiama nuspėjamoji kontrolė

PID – angl. *proportional–integral–derivative*; liet. proporcinis integruojantis diferencijuojantis

PLC – angl. *programmable logic controller*; liet. programuojamos logikos valdiklis

PVS – pastato valdymo sistema

RoI – angl. *return on investment*; liet. investicijos grąža

ŠVOK – šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas

VAV – angl. *variable air volume*; liet. kintamas oro tūris

VRF – angl. *variable refrigerant flow*; liet. kintamas šaltnešio srautas

## IVADAS

Statybų sektorius yra viena opiausių sričių kalbant apie energijos suvartojimo mastą. Skaičiuojama, kad apie 40 % viso energijos suvartojimo atitenka pastatams, o apie 75 % pastatų energiją vartoja neefektyviai (Europos Parlamento Ir Tarybos Direktyva, 2021). Atsižvelgiant į aplinkosauginius reikalavimus ir siekiant kaštų mažinimo, pastatams keliama vis aukštesni standartai. Pastatams pradėta pritaikyti naujausius technologinius, inžinerinius sprendimus, kas ilgainiui padėjo formuoti išmaniojo pastato sampratą. Nėra vieno apibrėžimo, kuris paaiškintų išmaniojo pastato sąvoką, tačiau galima teigti, kad pastatas su automatizuotais inžineriniais sprendiniais, nuotoline pastato valdymo sistema – kai sudaromos sąlygos pastato procesams monitoringuoti, mikroklimato sistemoms valdyti ir bendrai inžinerinėms sistemoms prižiūrėti – reaguojantis į vartotojų poreikius, sąveikaujantis su aplinkos veiksniais, veikiantis energiška efektyviai, taupantis kaštus bei sąlyginai mažai teršiantis aplinką, atitinka vyraujančią išmaniojo pastato supratimą.

Išmanusis pastatas pasižymi pageidaujamo patalpų mikroklimato palaikymu. Tokios mikroklimato sistemų automatikos funkcijos kaip temperatūros valdymas, oro kokybės (kiekio) valdymas, pavarų ir variklių valdymas, stebėsena, techninis signalizavimas, galios valdymas, diagnostinė informacija, centrinis valdymas ir programavimas užtikrina optimalų patalpų mikroklimatą pagal vartotojų poreikius (Čiuprinskienė, Čiuprinskas ir Motuzienė, 2019). Taip ne tik taupomi eksploataciniai kaštai, tačiau gerinama ir žmonių savijauta bei darbo našumas.

Šiame darbe iškelta problema – nepakankamai efektyvus tradicinių pastato valdymo sistemų, kontroliuojančių šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo įrangą, veikimas. Tai lemia darbo **aktualumą ir tikslą** – pristatyti egzistuojančias dirbtinio intelekto pritaikymo galimybes PVS veikimo optimizacijai ir pademonstruoti pasirinkto tiriamojo objekto padidinto ŠVOK veikimo efektyvumo rezultatus taupant energiją ir eksploatacijos išlaidas sezonų pereinamuoju laikotarpiu.

### Baigiamojo darbo uždaviniai:

1. Išnagrinėti tradicinius, PID pagrįstus PVS veikimo principus.
2. Išnagrinėti išmaniųjų PVS sistemų kūrimą lemiančias sąlygas (daiktų internetą, didžiuosius duomenis, debesų kompiuteriją) ir pritaikymo galimybes ŠVOK valdyti.
3. Išnagrinėti DI pritaikymo valdant ŠVOK sistemą pavyzdžius ir jų rezultatus.
4. Įvertinti analizuojamo objekto PVS funkcionalumus, kaupiamus / naudojamus duomenis ir nustatyti jos veikimo trūkumus ir ŠVOK sistemos valdymo klaidas.
5. Apskaičiuoti tiriamojo objekto galimas energijos sutaupymo apimtis PVS sistemai dirbant efektyviau.

Baigiamajame darbe kalbama apie ŠVOK sistemų efektyvumą pasitelkiant DI palaikančią išmaniųjų sistemų valdymą. Darbo **naujumas ir praktinė nauda** – perspektyvių, gana mažai

literatūroje nagrinėjama DI integruotų ŠVOK sistemų, leidžiančių sumažinti pastatų eksploatavimo ir priežiūros kaštus bei prailginti įrangos gyvavimo laiką, pritaikymas šių dienų pastatuose. Taip pat analizuojamos šių modernių sprendimų naudojimą lemiančios sąlygos ir iššūkiai, į kuriuos būtina atsižvelgti svarstant DI valdymo sistemos diegimo galimybes.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

Šiame skyriuje apžvelgiama PVS sistema, palyginami tradiciniai PID ir integruoti DI modelių inžinerinių sistemų veikimo principai, supažindinama su išmaniųjų PVS sistemų kūrimą lemiančiomis sąlygomis ir pritaikymo galimybėmis ŠVOK sistemų valdymo kontekste, nagrinėjami automatizuoti ir su DI varikliais pritaikymo ŠVOK sistemų valdyme pavyzdžiai ir jų rezultatai.

Nagrinėjama literatūra apima nuo mokslinių straipsnių publikacijų iki teikiamos informacijos internetiniuose tinklalapiuose.

## 1.1. Išmanusis pastatas ir pastato valdymo sistema

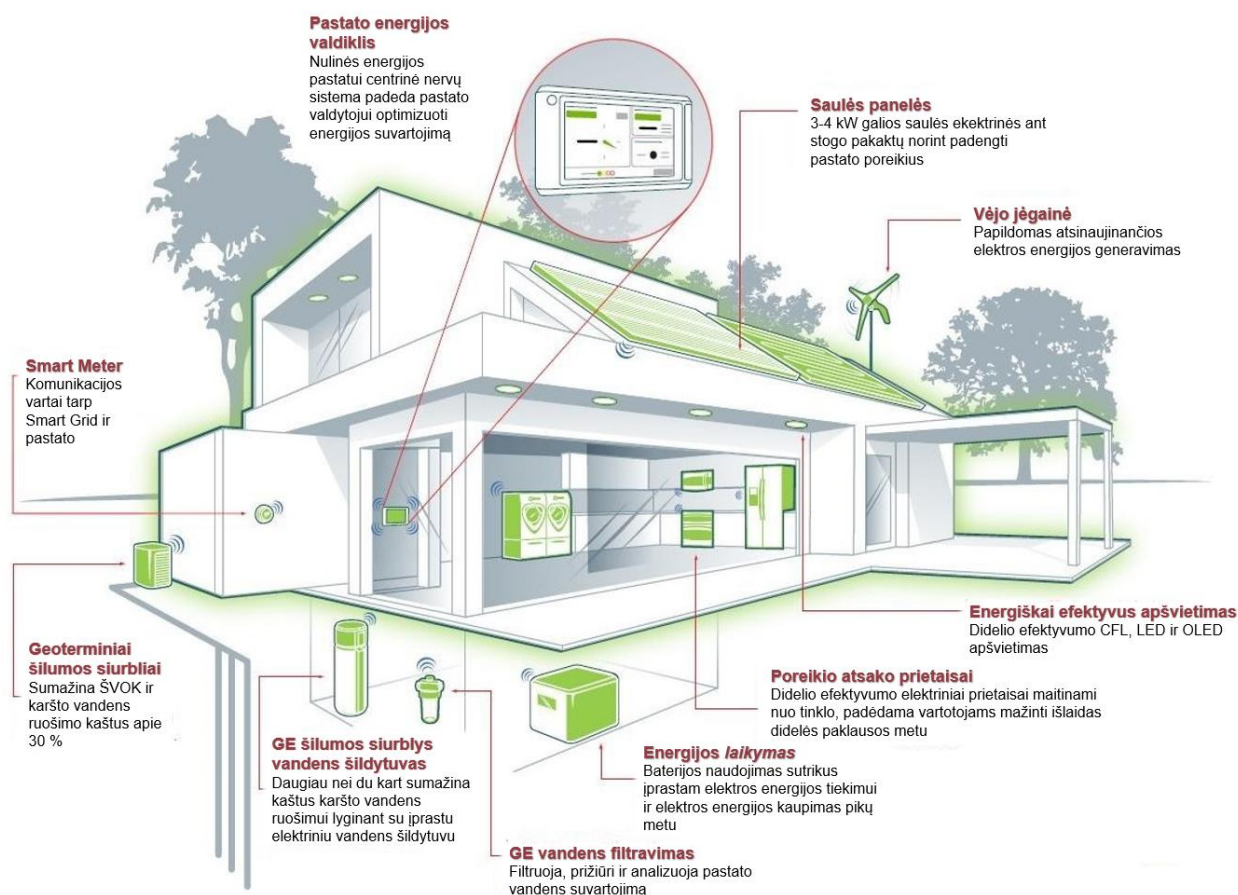
Pastato valdymo sistema (PVS) yra visa apimanti valdymo sistema, atsakinga už įrenginių automatinį reguliavimą ir valdymą. Įprasta, kad PVS turi išlaikyti iš anksto nustatytus parametrus, vadinamuosius *set point*, kontroliuojant sistemų funkcionalumą. PVS paprastai suvokiama kaip kompiuteris, valdantis specialią programinę įrangą ir per valdymo tinklą – ryšio protokolus – bendraujantis su pastato inžinerinėmis sistemomis. Kaip pagrindinį PVS tikslą galima išskirti galimybę objektą eksploatuoti per nuotolį, taip pat kaip įrankį stebėti ir optimizuoti prižiūrimų sistemų naudojimą ir efektyvumą. Sprendimas, kiek į PVS įtraukiama sistemų (žr. 1 lentelę) ir koks bus pasirinktas valdymo lygis, paprastai yra susijęs su numatytu investicijos dydžiu. Tačiau dvi pagrindinės sistemos, į kurias dažniausiai atsižvelgiama diegiant PVS – tai ŠVOK ir elektros sistemų valdymas bei stebėjimas. Būtent ŠVOK sistemų valdymas ir bus analizuojamas darbe.

**1 lentelė.** Pagrindinės PVS valdomos sistemos

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gaisrinės saugos (purškiamosios gaisro gesinimo, dūmų šalinimo) sistemos                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Signalizacinės saugos sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Prieigos sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Užimtumo fiksavimo sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Komunikacijos sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Liftų sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Apšvietimo sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Elektros energijos suvartojimo stebėjimo sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Įrangos gedimo nustatymo sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ŠVOK (vėdinimo kamerų, ventiliatorių, VAV, CV, CO <sub>2</sub> / oro kokybės stebėjimo sistemos, vėsinimo – šalčio mašinų sistemos, šalto vandens, šildymo, karšto vandens ruošos sistemos, šilumnešių / šaltnešių temperatūrų, debitų, šilumos siurblių, cirkuliacinių siurblių, slėgio, drėgmės kiekio stebėjimo) sistemos |
| Dulkių surinkimo, centrinės vakuuminės sistemos                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Kaip jau minėta, ŠVOK sistemų paskirtis yra užtikrinti norimą patalpų mikroklimatą – oro kokybę, temperatūrą, drėgmę ir t. t. Norimiems parametrams palaikyti reikalinga daug energijos –

apskaičiuota, kad jos kiekis, naudojamas ŠVOK sistemoms veikti ir patenkinamai aplinkai užtikrinti, sudaro daugiau kaip 40 % viso pastato energijos suvartojimo (Ellis, Mathews, 2002). Atsižvelgiant į šį skaičių tampa akivaizdu, kad efektyvi PVS gali padėti sutaupyti daug energijos ir kaštų.



1 pav. Pastato valdomieji parametrai (Zyga, 2009)

Pateiktoje iliustracijoje (žr. 1 pav.) išryškinamos kai kurios pastato infrastruktūros charakteristikos, kurios stebimos iš PVS. Ne tik įdiegiant įvairius jutiklius ir valdiklius šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sektoriuje, bet ir atsižvelgiant į apšvietimo, elektros gamybos ir paskirstymo pasirinkimus, galima pasiekti energijos sumažėjimų.

Prieš keliasdešimt metų buvęs įprastas sistemų mechaninis valdymas ilgainiui tapo automatizuotas. Technologijos buvo pritaikytos vis veiksmingesniam ir mažiau žmogaus pagalbos reikalaujančiam modeliui. Pavyzdžiui, ŠVOK sektoriuje buvo pakeisti rankiniai įjungimo / išjungimo vožtuvai, balansiniai 2 arba 3 krypčių vožtuvai arba įdiegta speciali įranga, kad atnaujintų visą sistemą ir ji savaime veiktų sklandžiau. Tokie papildomi prietaisai kaip dažnio keitikliai, pavaros, kambario termostatai, įvairių tipų jutikliai, kintamo greičio pavaros, išmanieji skaitikliai ir kt. buvo pagrindinis veiksnys sujungiant visą – vėdinimo, šildymo ir oro kondicionavimo – sistemą į vientisą, automatizuotą inžinerinių dalių infrastruktūrą. Kitaip tariant, pastatų (energijos) valdymo sistemą. Sistemos veikimas buvo gana tikslus, nes naudoti PID valdikliai, kur skaičiuojant, lyginant,

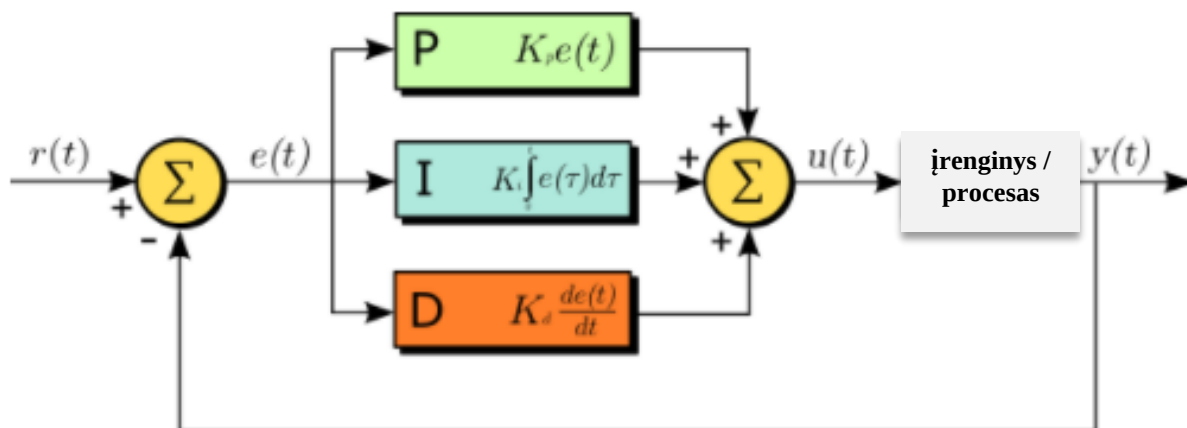
interpoliuojant vertes, pasiekiami norimi parametrai – nustatytieji taškai (angl. *set point*). PVS buvo pristatyta pastatų valdymo pramonės atstovams, dėl ko operacijų kontrolė tapo sklandesnė ir sumažėjo energijos suvartojimas pastatų naudotojų komforto sąlygoms užtikrinti.

Tačiau pastaraisiais metais už PID valdymo modelį tampa efektyvesnis dirbtiniu intelektu pagrįstas valdymo principas. Toliau darbe pristatomas tipinis PID valdymo modelis, supažindinama su DI modelių rūšimis bei jų pritaikymu ir apžvelgiamas ŠVOK sistemų darbas su integruotu DI valdymu.

## 1.2. Tradicinis PID sistemos veikimo modelis ŠVOK procesų kontrolei

Labiausiai paplitęs ŠVOK procesų valdymo modelis yra pagrįstas PID kontrolės logika. PID kontrolės mechanizmai yra paremti grįžtamojo ryšio logika, todėl gali būti priskiriami reaktyviųjų valdiklių grupei.

PID regulatoriaus veikimo schema pavaizduota 2-ame paveiksle. Čia nenutrūkstamai skaičiuojamas gauto proceso stebimo (kintamo) rodiklio –  $SR = y(t)$  – nuokrypis nuo nustatytos vertės –  $NV = r(t)$  – ir pritaikoma reikalinga korekcija pagal tris kontrolės dėmenis – PID:



2 pav. PID regulatoriaus veikimo principas (PID regulatoriaus schema, 2011)

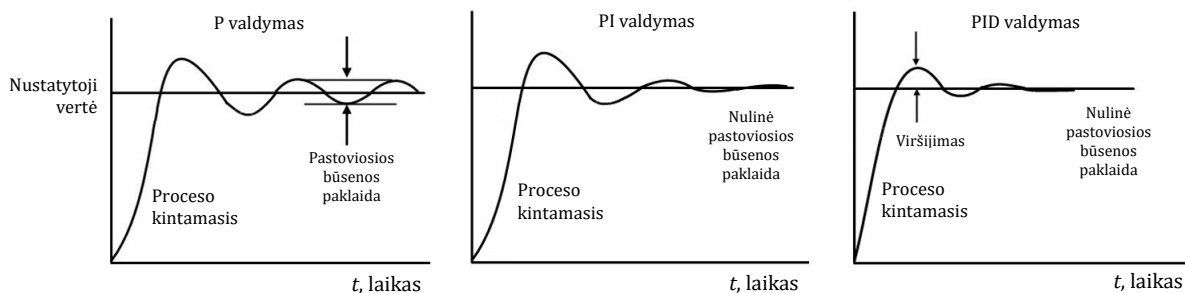
Bėgant laikui, papildomai, valdiklis mažina bendrą klaidų skaičių tiksliau nustatydamas kontrolės kintamąjį  $u(t)$ . Šiame modelyje:

P dėmuo yra proporcingas stebimo rodiklio nuokrypiui nuo nustatytos vertės:  $SR - NV$ . Pvz., jei klaida yra didelė ir teigiama, kontroliuojamasis grįžtamas dydis bus proporciškai didelis ir teigiamas, atsižvelgiant į padidinimo koeficientą „ $K$ “. Naudojant vien tik proporcinį valdymą būtų gaunama klaida tarp nustatytos vertės ir tikrosios, procese generuotos vertės, nes proporcinis atsakas generuojamas tik aptikus klaidą. Jei klaidos nebūtų, nebūtų teisingo atsako.

I dėmuo skaičiuoja istorines  $SR - NV$  klaidas ir per laiką integruoja, kad įvertintų I dydį. Pvz., jei yra liekamoji  $SR - NV$  klaida pritaikius proporcinį valdymą, integralinis dėmuo siekia pašalinti liekamąją klaidą pridėdamas valdymo pataisas, pagal sukaupytą istorinį klaidos dydį. Kai klaida yra

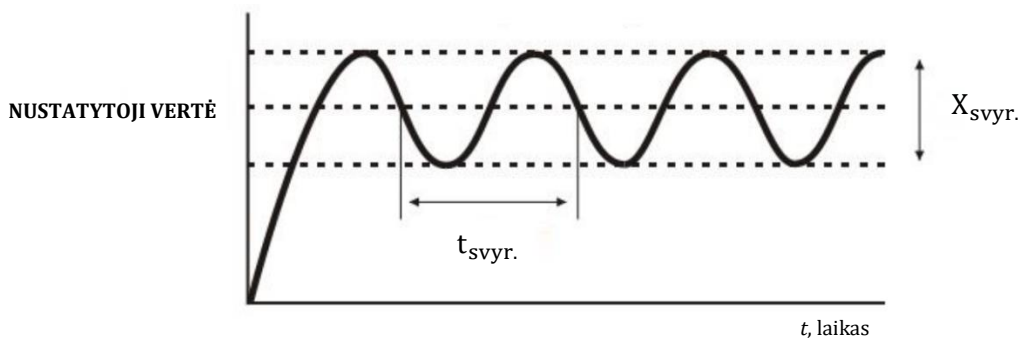
pašalinta, integralinis dėmuo nustoja augti. Taip gaunamas proporcingai mažėjantis efektas, kadangi klaida mažėja, bet kontrolės signalą palaiko kompensuojantis augančio integralinio dėmens efektas iki tol kol klaidos nebelieka.

D dėmuo geriausiai įvertina ateities SR–NV klaidos tendenciją, paremtą esamu pokyčio dydžiu. Kartais tai įvardijama kaip išankstinė kontrolė, nes ji efektyviai siekia sumažinti SR–NV klaidos efektą, įterpdama valdymo kontrolę, sukurtą paklaidos pokyčio. Kuo greitesnis pokytis, tuo efektyvesnis valdymas ar slopinamasis poveikis (PID controller, 2021).



**3 pav.** PID valdymo principas (PID Controller – Working and Tuning Methods, 2015)

PID valdiklio algoritmas negarantuoja optimalaus sistemos valdymo ar jos tolygaus veikimo stabilumo. Taip yra dėl to, kad šios rūšies valdikliai yra jautrūs matavimų ar korekcijos signalo ir jo poveikio vėlavimui. Būtent tokio tipo vėlavimai yra stebimi ŠVOK valdymo sistemose, pavyzdžiui, atidarius šilumnešio tekėjimo vožtuvą, praeis tam tikras laiko tarpas, kol patalpos oro temperatūra – stebimas rodiklis – pakis. Taigi, tokio tipo valdiklio atsaką galima aprašyti įvardinant jo jautrumą klaidoms – kaip greitai ir kaip stipriai bus formuojamas atsakas į proporcinį sistemos nuokrypį nuo numatytos vertės bei nuo atsako perviršio, kuris privers stebimą rodiklį pakilti virš arba nukristi žemiau numatytos vertės – sistemos svyravimo laipsnio. Kuo šie svyravimai didesni, tuo mažiau efektyvus PID valdiklis (žr. 3, 4 pav.).

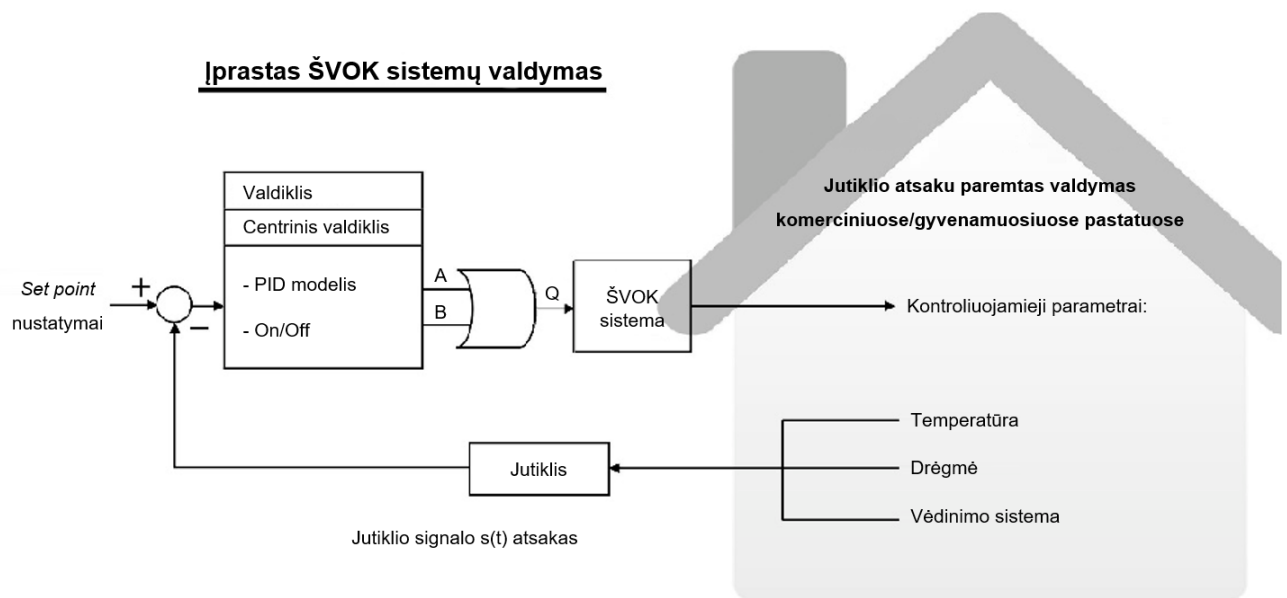


**4 pav.** Nustatytojo parametro derinimasis (Introduction to the key terms associated with PID Temperature Control, n. d.)

Įprastos ŠVOK valdymo sistemos veikia pagal PID arba įjungimo / išjungimo algoritmus. Kaip

jau minėta, veikimas paremtas tam tikrų verčių ar intervalų palaikymu. Tai gali būti temperatūra katilo viduje, patalpos oro temperatūra, slėgis šildymo sistemos vidiniame arba išoriniame kontūre, tiekiamo oro drėgmės lygis arba CO<sub>2</sub> kiekis tam tikroje patalpoje. Jei nustatytoji vertė nėra pasiekama, grįžtamasis ryšys siunčiamas valdikliui, kad pagrindinė įranga, pvz., siurbliai, kompresoriai, vožtuvų pavaros, ventiliatoriai ar šildytuvai, atitinkamai reaguotų į spręstiną problemą.

Tipiško ŠVOK valdymo modelio pagrįsto PID technologija struktūra pateikiama 5-ame paveiksle. Iliustracijoje pavaizduotas PID arba įjungimo / išjungimo algoritmas, kur ŠVOK sistemos valdymo bloko schema palygina nustatytą vertę ir jutiklio grįžtamojo ryšio dydžius ir pateikia valdikliui konkrečius išėjimo signalus, skirtus ŠVOK sistemos darbo koregavimui.



**5 pav.** Pastato įprastos ŠVOK sistemos veikimo schema (Cheng ir Lee, 2019)

1 ir 2 lygtys paaiškina, kaip apskaičiuojamos įjungimo / išjungimo valdymo išėjimo vertės:

$$\sigma[S(t) - SP] = 1; \text{ if } S(t) - SP > \text{Ribinė vertė} \quad (1)$$

$$\sigma[S(t) - SP] = 0; \text{ if } S(t) - SP = 0 \pm \text{Var}[S(t)], \quad (2)$$

kur  $\sigma$  yra žingsnio funkcija, atitinkanti jutiklio grįžtamojo signalo  $[S(t)]$  ir nustatyto taško  $[SP]$  skirtumą ŠVOK sistemoje.

Formulės nurodo dvejus atvejus – jei jutiklio grįžtamojo ryšio ir nustatyto taško vertės skirtumas yra didesnis už numatytą ribinę vertę (didžiausią arba mažiausią galimą parametą),  $\sigma$  dydis yra 1. Jei skirtumas tarp jutiklio grįžtamojo ryšio ir nustatyto taško vertės yra standartiname jutiklio grįžtamojo ryšio kitime,  $\sigma$  vertė yra 0. Tam tikra įjungimo ir išjungimo valdymo modifikacija yra ta, kad nulio vertė nustatoma intervale nuo 0,5 iki 0,7, kai skirtumo vertė yra standartinio svyravimo  $S(t)$  ribose. Šie nedideli pakeitimai taikomi siekiant išvengti didelių ŠVOK sistemos valdymo signalo svyravimų.

3-ioje lygtyje paaiškinama, kaip apskaičiuojamos PID valdymo reikšmės:

$$K_p \cdot [S(t) - SP] + K_I \cdot \int [S(t) - SP]dt + K_D \cdot \frac{d[S(t) - SP]}{dt}, \quad (3)$$

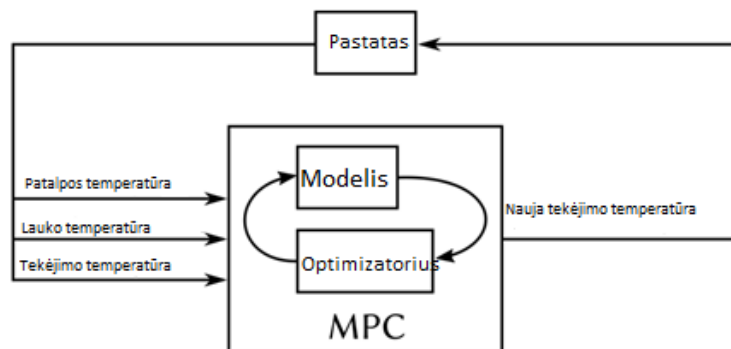
kur  $K_p$  yra proporcinė konstanta,  $K_I$  yra integralinė konstanta, o  $K_D$  – diferencialinė konstanta.

Šio tipo valdikliai savo veikimui ir veikimo optimizavimui remiasi vieninteliu gaunamu stebimo parametro atsaku, o ne vidinėmis sistemos veikimo taisyklėmis / žiniomis, ar stebimą parametą lemiančių išorinių veiksnių modeliu. Tai yra fundamentalus skirtumas nuo DI grįstų valdiklių veikimo mechanizmo.

### 1.3. Modernus DI sistemos veikimo modelis ŠVOK procesų kontrolei

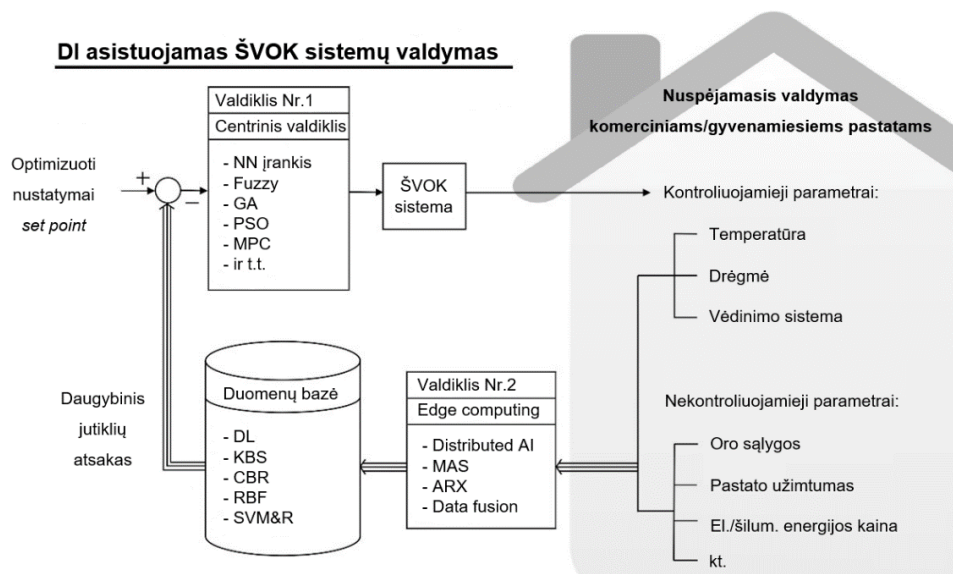
Kada pastate yra įrengta visiškai automatizuota inžinerine infrastruktūra – nuo temperatūros, judesio iki UV šviesos jutiklio, nuo oro drėgmės iki CO<sub>2</sub> jutiklio, nuo automatizuotai valdomų durų, žaliuzių iki automatizuotai valdomų langų, stoglangių, nuo kintamo oro tūrio (VAV) sklendžių iki kintamo šaltnešio srauto (VRF) sistemos – įmanoma efektyviau suderinti vidaus klimato parametrus ir pritaikyti jį pagal žmonių poreikius.

Todėl pradėtos naudoti modeliu pagrįstos / dirbtinio intelekto kontroliuojamos nuspėjamosios PVS sistemos (žr. 6, 7 pav.). Esminis tokio valdymo skirtumas nuo praeitame skyriuje aptartų PID valdiklių yra galimybė ne tik reaguoti į sistemoje įvykusius pokyčius – nuokrypį nuo nustatytų verčių – bet ir nuspėti, kada ir koks nuokrypis atsiras. Toks valdymas yra galimas, nes moderni DI paremta PVS sistema sugeba analizuoti ir prisiminti visumą parametrų bei jų poveikį sistemai, situacijose, kurios įvyko anksčiau arba su kuriomis DI modelis buvo apmokytas dirbti. Šiuo metu dirbtinio intelekto idėja yra sudaryti pastato naudotojui jį tenkinančias mikroklimato sąlygas dar prieš įėjus į patalpą, remiantis vien istoriniais pastato naudojimo duomenimis ir papildoma išorinių šaltinių informacija, pvz., tos dienos orų prognoze.



**6 pav.** MPC valdiklis naudoja vidinį modelį iteratyviai optimizuoti, nustatant, kokia turėtų būti kita išvestis (Dahlberg, 2020)

Kuo ilgiau DI sistema veikia objekte, tuo daugiau patirtimi pagrįstų duomenų sukaupia ir apie mikroklimato parametrus ir tiksliau numato būsimus ŠVOK veikimo poreikius nustatytiems mikroklimato parametrams pasiekti. Galimybė nuolat tikrinti oro temperatūrą, drėgmę, saulės spindulių kampą, debesuotumą, paros laiką, žmonių skaičių, jų darbo laiko grafiką, patalpų parametrus leidžia dirbtiniu intelektu palaikomai ŠVOK sistemai užtikrinti norimą aplinką, ir tai pasiekti be įrangos gedimų, vėlavimų bei kuo tiksliau.



**7 pav.** Pastato ŠVOK sistemos su integruotu DI varikliu veikimo schema (Cheng ir Lee, 2019)

ŠVOK valdymo sistemos bloko schema su integruotais dirbtinio intelekto įrankiais, pavaizduota 7-ame paveiksle. Iš iliustracijos matyti, kad svarbiausia priemonė dirbtiniu intelektu valdyti ŠVOK, yra valdiklis Nr. 1. Dirbtiniai neuronų tinklai (ANN) yra mašininio mokymosi algoritmai, kurie vaidina svarbų vaidmenį atliekant kompleksines modelio atradimo užduotis. Ši dirbtinio intelekto technika yra naudinga, kai reikia išspręsti didelio duomenų kiekio apdorojimo reikalaujančias problemas. Tokioms problemoms kaip informacijos klasifikavimas pagal tam tikrus požymius, grupavimas, funkcijų aproksimavimas, sistemos įvykių prognozavimas, veikimo optimizavimas, turinio paieška ir procesų valdymas, reikalingas lankstus ir gebantis apdoroti skirtingus duomenų tipus skaičiavimo įrankis. Būtent dėl šio lankstumo ANN geba savo logikoje apibūdinti kompleksinių netiesinių ryšių tarp priklausomų ir nepriklausomų kintamųjų visumą.

Tokia ryšių visuma ir sąveikos taisyklės vadinamos – *modeliu*. Turint šį sistemos modelį, DI valdiklis gali nuspėti visas įmanomas sąveikas tarp stebimų ir numatomų kintamųjų. Tokia idėja gali būti suvokiama kaip žmogaus sugebėjimas priimti konkretų sprendimą, pagrįstą keliomis priežastimis ir *pamokomis*, išmoktomis iš savo ar kitų patirties. Remiantis paveikslu (žr. 7 pav.), valdomų ir nekontroliuojamų parametrų atsakas sukuria atitinkamą jutiklio grįžtamąjį ryšį. Be to, tai leidžia surinkti visą informaciją ir laikyti ją duomenų bazėje, taip suteikiant ANN įrankiui galimybę

analizuoti ir veikti dar tiksliau, atsižvelgiant į anksčiau įgytą patirtį. Valdiklis Nr. 2 taip pat sudarytas iš skaičiavimo metodikų (MAS, ARX ir kt.), suteikiančių sistemai dar protingesnę valdymą.

#### **1.4. DI modeliu pagrįstų PVS sistemų kūrimą įgalinančios sąlygos**

ŠVOK sistema valdoma DI dirba duomenimis pagrįstais optimizavimo modeliais, palaikančiais užduotą patalpos temperatūrą, drėgmę ir pan. (STR 2.09.02:2005 „ŠILDYMAS, VĖDINIMAS IR ORO KONDICIONAVIMAS“, 2015). Ir čia, bene pirmas, elementas valdymo grandyje atsiduria termostatas. Nors pirmasis termostatas su primityviu mechaniniu veikimo principu buvo užpatentuotas dar 1883 m., JAV (žr. 8 pav.), dabartinės technologijos termostatų gamintojams suteikia galimybę ne tik neapsiriboti abipusiu įrenginių bendravimu, tačiau įtraukti ir algoritmus. Patalpoje sumontuotiems termostatams valdymo algoritmai leidžia vizualizuoti DI ir IoT sąveiką. Prie įprastų termostato galimybių, debesų technologija pagrįstas dirbtinio intelekto analizės variklis gali įdiegti ŠVOK algoritmus trečiųjų šalių programų sluoksnyje. (The Future of HVAC Lies in AI and IoT, 2018)

Tad, pastarojo dešimtmečio bėgyje PVS sistemose pradėtas naudoti mašininiu mokymusi (angl. *machine learning*) arba dirbtiniu intelektu paremti algoritmai. Tai lėmė keletas paraleliai besivystančių technologijų, be kurių toks valdymo modelis būtų neįmanomas:

- Sparčiai pingantys ir vis didesniais kiekiais viename pastate naudojami jutikliai, valdikliai ir kita elektronika – besiplečiantis daiktų interneto (angl. *Internet of Things*) elementų kiekis, generuojantis didžiulius duomenų kiekius (angl. *Big Data*) mašininiu mokymusi pagrįstiems valdikliams treniruoti.
- Stipriai augantys telekomunikacijų pajėgumai, pvz., platūs šviesolaidinio interneto tinklai, ypač, pradėtas diegti 5G ryšys, kurie sugeba palaikyti daug tankesnę įrenginių tinklą taip lemiant anksčiau minėtų daiktų interneto elementų komunikaciją, teikiant duomenis DI valdikliams artimu realiam laikui, metu.

(No Model.)

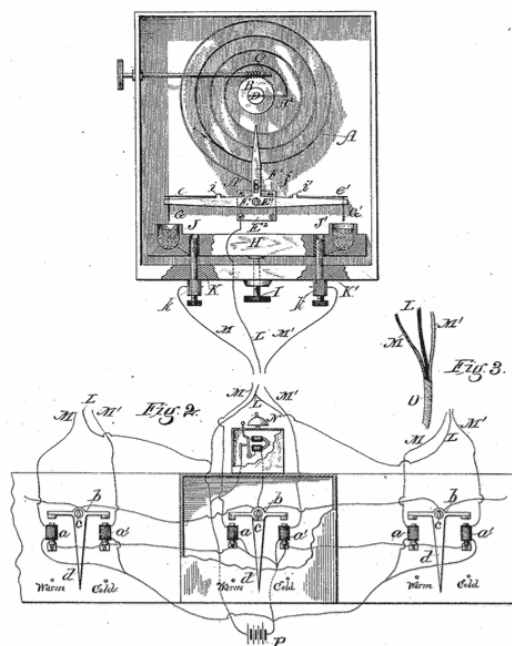
W. S. JOHNSON.

ELECTRIC TELE-THERMOSCOPE.

No. 281,884.

Patented July 24, 1883.

Fig. 1.



**8 pav.** „Johnson Control“ patentuoto pirmojo termostato principinė schema (The Future of HVAC Lies in AI and IoT, 2018)

- Besivystančios ir pingančios debesijos skaičiavimų (angl. *cloud computing*) platformos paverčiančios aukšto našumo skaičiavimus (angl. *high performance computing*) prieinamus daugumai rinkos dalyvių.
- Atviri ryšių protokolai duomenų apsikeitimui tarp įvairių ŠVOK sistemų komponentų – augantis interoperabilumas.

Įrenginių komunikacijos protokolai plačiau apžvelgiami tolimesniame skyriuje.

### 1.5. Dažniausiai sutinkamų PVS protokolų tipų apžvalga

Įrenginių komunikacijos protokolai, tai kalbos, kuriomis prietaisai bendrauja ir keičiasi informacija vieni su kitais. Šie įrenginiai yra mikroprocesoriais paremti prietaisai, tokie kaip įvesties / išvesties panelė, stogo įrenginių valdiklis, šaldymo mašinos ir aušyklės valdiklis, vartotojo nešiojamasis kompiuteris ar centrinis, pvz. įmonės, serveris ir pan.

Protokolus apibrėžia duomenų struktūros, paaiškinančios kiekvieną duomenų formatą ir reikšmę (beveik kaip žodynas, paaiškinantis žodžio rašybą ir reikšmę). Abu prietaisai (pvz., aušyklės valdiklis ir serveris) turi suprasti tą pačią duomenų struktūrą, kad būtų galima keistis duomenimis. Duomenimis paprastai keičiamasi per tam tikrą fizinį laidą (pvz., „Ethernet“ CAT5 kabelį). Bet taip naudojamas ir belaidis būdas – „Wi-Fi“ tinklas.

Kad du žmonės galėtų prasmingai keistis mintimis, jie turi kalbėti ta pačia kalba ir turėti įrankį

bendrauti (pvz., telefoną). Šiuo atžvilgiu, kalba prilygsta PVS suprantamam protokolui, o telefonas – fiziniam laidui. Pavyzdžiui, terminas „*BACNet*“ *per IP* reiškia, kad protokolas yra „BACNet“, o terpė su juo bendrauti – IP tinklas.

Įrenginių komunikacijos protokolus galima išskirti į keturias pagrindines protokolo rūšis:

1. Atviras.
2. Standartinis.
3. Pusiau atviras.
4. Uždaras. Taškai čia ir viršuje

Protokolas yra *atviras*, kai protokolo kūrėjas jį padaro lengvai pasiekiamu visiems (pvz., per klientų svetainę). *Standartinis* protokolas reikalauja visų šalių susitarti dėl duomenų struktūros, kurią būtų galima įdiegti jų atitinkamuose įrenginiuose. Jeigu industrijoje atsiranda vieningas protokolo naudojimas, tada protokolas tampa pramoniniu standartu, kaip pvz. „BACnet“ ar „Modbus“.

*Pusiau atviras*, tai toks protokolas, kada jis nepriklausomas nuo vieno tiekėjo, pvz. vieno tiekėjo valdiklį galima pakeisti kito tiekėjo valdikliu. *Uždari* protokolai yra tokie, kurie leidžia protokolus naudoti tik įrenginio kūrėjui, nesidalijant duomenų struktūra. (Building Management System (BMS) Protocols Explained, 2011)

Toliau trumpai supažindinama su pastatų valdymo automatikoje dažniausiai sutinkamais protokolais.

#### **1.5.1. „BACnet“**

„BACnet“ tipo protokolas didžiąja dalimi remiasi bendro vietinio tinklo (LAN) technologijomis, tokiomis kaip „Ethernet“ ir „ARCNET“ naudojimu. „BACnet“ yra vienas dažniausiai pasitaikančių pastatų automatikos ir valdymo tinklų duomenų perdavimo protokolų. Duomenų perdavimo protokolas yra taisyklių rinkinys, reguliuojantis keitimąsi duomenimis kompiuterių tinkle, apimantis viską, nuo to, kokį kabelį naudoti, iki to, kaip standartiniu būdu suformuoti tam tikrą užklausą ar komandą. „BACnet“ ypatingas tuo, kad taisyklės yra konkrečiai susijusios su pastatų automatikos ir valdymo (BAC) įrangos poreikiais. T. y. jos konkrečiai apibrėžia, kaip *paklausti* temperatūros vertės, nustatyti ventiliatoriaus darbo grafiką ar išsiųsti siurblio būsenos aliarmą.

„BACnet“ sukūrė komitetas, sudarytas Amerikos šildymo, šaldymo ir oro kondicionavimo inžinierių draugijos (ASHRAE). Pagrindinis komiteto tikslas buvo sukurti protokolą, kuris leistų skirtingų gamintojų pastatų sistemoms sąveikauti, t. y. harmoningai veikti kartu.

Tam, kad būtų galima pasiekti įvairios įrangos komunikaciją, „BACnet“ specifikacijos sudarytos iš trijų pagrindinių dalių. Pirmoje dalyje aprašomas bet kokio tipo pastatų automatikos

įrangos tipinio atvaizdavimo metodas. Antroje dalyje apibrėžiami pranešimai, kuriuos galima siųsti per kompiuterių tinklą tokiai įrangai stebėti ir valdyti. Trečioje dalyje apibrėžiamas priimtinių LAN tinklų rinkinys, kuris gali būti naudojamas perduodant „BACnet“ siunčiamą informaciją. Toliau kalbama apie kiekvieną iš minėtų BACnet specifikacijų komponentų šiek tiek išsamiau. (BACnet - The New Standard Protocol, n. d.)

#### *BAC įrangos reprezentavimas standartiniu būdu – „BACnet“ objektai*

„BACnet“ pateikia standartinį būdą atvaizduoti bet kurio įrenginio funkcijas, tokias kaip analoginiai ir dvejetainiai įėjimai ir išėjimai, tvarkaraščiai, valdymo kontūrai ir aliarmai, apibrėždami susijusios informacijos, vadinamos *objektais*, rinkinius, iš kurių kiekvienas turi *nustatymų* rinkinį, kuris dar išsamiau jį apibūdina. Pavyzdžiui, kiekvienas analoginis įėjimas, yra vaizduojamas kaip „BACnet“ *analoginės įvesties objektas*, turintis standartinių nustatymų rinkinį (pvz., dabartinę vertę, jutiklio tipą, vietą, pavojaus signalo ribas ir pan.). Vieni iš šių nustatymų yra būtini, kiti pasirinktini. Viena svarbiausių *objekto* savybių yra jo identifikatorius – skaitinis pavadinimas, užtikrinantis „BACnet“ prieigą prie jo. Kai įrenginiai tinkle turi bendrą *išvaizdą*, turint omeny jų *objektus* ir *nustatymus*, galima apibrėžti pranešimus, kurie gali standartiškai manipuluoti informacija. (BACnet - The New Standard Protocol, be datos)

#### *Standartinių stebėjimo ir valdymo pranešimų teikimas – „BACnet“ paslaugos*

Šiuo metu „BACnet“ apibrėžia 35 pranešimų tipus arba *paslaugas*, kurios yra skirstomos į 5 klases. Pavyzdžiui, vienoje klasėje yra pranešimai, skirti pasiekti ir aprašyti anksčiau aprašytų objektų savybes. Dažna yra „ReadProperty“ paslaugos užklausa. Šis pranešimas priverčia serverio mašiną surasti prašomą objekto ypatybę ir išsiųsti jos *vertę* atgal klientui. Kitų rūšių paslaugos apima pavojaus signalus ir įvykius; failų įkėlimą ir atsisiuntimą; nuotolinių įrenginių veikimo valdymą ir kt.

Galimybė skaityti ir rašyti dvejetainius, analoginius ir tekstinius duomenis, suplanuoti valdiklio veiksmus, siųsti įvykių ir pavojaus pranešimus ir panašių funkcijų reikalauja visų BAC tipų įranga, ne tik ŠVOK. ASHRAE buvo papildytas standartas, atsižvelgiant į būsimas, nežinomas pastatų automatikos ir valdymo programas, todėl viena iš „BACnet“ *objekto* ir *paslaugų* modelio stipriųjų pusių yra ta, kad ją galima lengvai išplėsti. Jei pardavėjas pateikia kokią nors naują funkciją, kuriai reikalingas ryšys, pardavėjas gali pridėti naujų ypatybių prie esamų *objektų* tipų arba sukurti naujus *objektų* tipus, prieinamus lygiai taip pat, kaip apibrėžti standarte.

Taip pat verta pažymėti, jog „BACnet“ leidžia įdiegti daug skirtingų gamintojų, tad daugelis pardavėjų jį renkasi kaip pagrindinį įrenginių bendravimo protokolą naudojamą objekte. (BACnet - The New Standard Protocol, n. d.)

### **1.5.2. „LonWorks“**

„LonWorks“ (vietinis operacinis tinklas) yra daugelio rūšių valdymo programoms plačiai naudojamas standartas – įskaitant pastatų automatizavimą. Jis sukurtas „Echelon“ gamintojo 1988 m. ir 1999 m. patvirtintas kaip ANSI valdymo tinklų standartas (ANSI / CEA-709.1-B).

Didžiausia protokolo taikymo sritis yra pastatų automatika. Tai – tarptautinis, visame pasaulyje plačiai naudojamas standartas.

„LonWorks“ remia nepriklausomas gamintojų konsorciumas „LonMark® International“, kuris skatina veiksmingą ir efektyvią atvirų, daugybinių pardavėjų valdymo sistemų integraciją. Organizacija kuria standartus ir teikia prietaisų sertifikavimą.

Dauguma „LonWorks“ įrenginių yra susiję su pastatų projektais, įskaitant ŠVOK sistemas, apšvietimą, transportavimą, procesų valdymą ir namų automatiką. (Guide to Open Protocols in Building Automation, 2015)

### **1.5.3. „KNX“**

„KNX“ yra taip pat pasaulinis namų ir pastatų valdymo ryšio standartas. Jis sukurtas 1999 m. „Konnex“ asociacijos (dabar „KNX“ asociacija) ir yra trijų ankstesnių – Europos namų sistemų protokolas (EHS), „BatiBUS“ ir Europos diegimo magistralė (EIB arba „Instabus“) – standartų derinys.

„KNX“ asociacija administruoja standartą, teikdama tiekėjo ir nuo produkto nepriklausomą paleidimo programinę įrangą standartizuotoms paleidimo procedūroms (ETS). „KNX“ asociacija turi 396 įmones nares 38 šalyse, siūlo daugiau nei 7000 sertifikuotų pastatų automatizavimo produktų, kuriuos tvarko maždaug 48 000 sertifikuotų KNX partnerių 138 šalyse. KNX asociacija vadovaujasi Belgijos įstatymais ir yra ne pelno siekianti organizacija.

„KNX“ pritaikomas gyvenamųjų ir komercinių pastatų automatizavimui, skirtam ŠVOK, apšvietimui, apsaugai, nuotolinei prieigai, žaliuzių ir užraktų valdymui, vizualizavimui ir elektros energijos valdymui. (Guide to Open Protocols in Building Automation, 2015)

### **1.5.4. „Modbus“**

„Modbus“ yra nuosekliojo ryšio protokolas, kurį „Modicon“ (dabar „Schneider Electric“) sukūrė 1979 m. Iš pradžių sukurtas naudoti su „Modicon“ programuojamaisiais loginiais valdikliais (PLC), 2004 m. jis buvo išleistas kaip atviras protokolas ir tapo *de facto* standartu plačiam pramoninių elektroninių prietaisų asortimentui.

„Modbus“ protokolas naudoja kliento / serverio architektūrą valdyti ryšį tarp pagrindinio kompiuterio ir intelektualųjų įrenginių, ypač duomenų surinkimo sistemų jutiklių. Pastatų

automatikoje jis naudojamas valdyti tokią įrangą kaip aušyklės, katilai, ventiliatoriai ir kt. Dėl lankstaus ir atviro ryšio, „Modbus“ yra taip pat vienas plačiausiai naudojamų protokolų pasaulyje.

Protokolą administruoja „Modbus Organization“, nepriklausoma automatikos prietaisų vartotojų ir tiekėjų grupė. Organizacija skatina „Modbus“ naudojimą, palaiko vartotojus ir tiekėjus bei sertifikuoja reikalavimus atitinkančius įrenginius.

„Modbus“ yra naudojamas bendrauti tarp intelektualųjų prietaisų ir jutiklių bei stebėti lauko įrenginius naudojant kompiuterius ir žmogaus / mašinos sąsajas. „Modbus“ itin naudojamas kaip pramoninis protokolai, tačiau jis taip pat populiarus statybose, infrastruktūroje, transporto srityje ir energetikoje. (Guide to Open Protocols in Building Automation, 2015)

### **1.5.5. „M-Bus“**

„M-Bus“ (skaitiklis-magistralė) yra Europos standartas, leidžiantis nuotoliniu būdu nuskaityti namų ir pastatų vartojimo skaitiklių (šilumos, dujų ir kt.) rodmenis. Jis buvo sukurtas 1990-aisiais Paderborno universitete kartu su „Texas Instruments Deutschland GmbH“ ir „Techem GmbH“, o dabar daugelyje Europos šalių plačiai naudojamas nuotoliniam įrenginių nuskaitymui.

„M-Bus“ leidžia nuskaityti skaitiklius iš pagrindinio kompiuterio ar delninio įrenginio. Pastatų automatizavimo srityje „M-Bus“ galima susieti su pastato sistema, kad būtų galima integruoti su kitomis sistemomis, tokiomis kaip ŠVOK ar apšvietimu. Protokolas pagrįstas ISO-OSI etaloniniu modeliu, kad būtų užtikrintas atvirumas ir lengva integracija su kitais protokolais.

„M-Bus“ administruoja „M-Bus“ Vartotojų grupė.

„M-Bus“ naudojamas vandens, dujų, šilumos ir elektros skaitiklių, taip pat vožtuvų ir pavarų rodmenų nuskaitymams. Taip pat kartais naudojamas signalizacijos ir išmaniosioms apšvietimo sistemoms (Guide to Open Protocols in Building Automation, 2015).

## **1.6. Skirtingų DI modelių ŠVOK sistemoms apžvalga**

Šiame skyriuje pateikiami dažniausiai naudojami DI metodai, tokie kaip dirbtiniai neuroniniai tinklai (ANN), neaiškioji (angl. *fuzzy*) logika, daugelio agentų sistema (MAS) bei palaikomojo vektoriaus mašina (SVM) (Alamin et al., 2018; Cheng ir Lee, 2019).

### **1.6.1. ANN modelis**

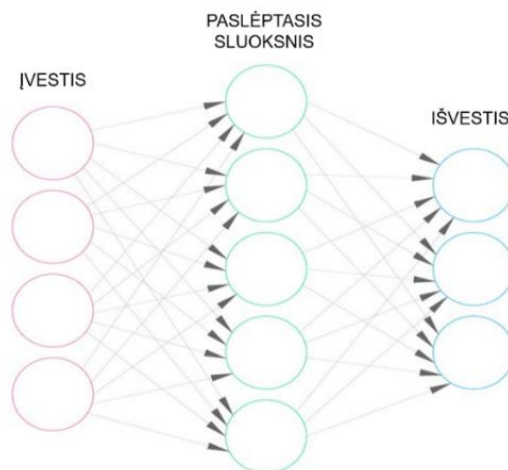
Neuroniniai tinklai (NN), tiksliau dirbtiniai neuronų tinklai, yra viena iš dažniausiai naudojamų DI metodų. Pagal apmokymo tipą jie yra skirstomi į prižiūrimus (stipriausiai kontroliuojamas tipas)

ir neprižiūrimus (mažai kontroliuojamas tipas)<sup>1</sup> bei patvirtinantį (angl. *re-enforcement learning*) (kai pradinis apmokomų duomenų rinkinys yra gana nedidelis, tačiau ANN atlieka pagrindinį mokymąsi jau įdiegtas nuolat sulaukdamas neigiamo / teigiamo atsako į savo sprendimus) mokymąsi. ANN remiasi biologiniais nervų tinklais, iš kurių susideda gyvūnų smegenys. Tokios sistemos sugeba atlikti užduotį, atsižvelgdamos į anksčiau analizuotus pavyzdžius. Šis įrankis gali atlikti užduotį pagal jau įgytą patirtį be jokių specialių užprogramuotų taisyklių. ANN veikimo principas pagrįstas sujungtais mazgais (dirbtiniais neuronais). Perdavus signalą į vieną iš mazgų, jį išanalizavus ir apdorojus, jis išleidžiamas į kitus ryšius. Kad būtų išsamiau, į mazgą patekęs signalas suvokiamas kaip tikrasis skaičius, o kiekvieno mazgo išvestis apskaičiuojama naudojant kai kurias nelineines signalų sumos funkcijas.

Kaip jau buvo minėta anksčiau, ANN įrankis gali pateikti išvestį turėdamas daug tarpusavio ryšių tarp mazgų (neuronų). Tai reiškia, kad rezultatas gaunamas po daugybės procesų, kurie techniškai nurodo svorių  $w$  augimą, kaip pateikta 4-oje lygtyje:

$$y(x) = g \left( \sum_{i=0}^n w_i x_i \right), \quad (4)$$

kur  $w_0, w_1, \dots$  ir  $w_n$  yra svorio koeficientai,  $g$  – nurodo netiesinę aktyvacijos funkciją.

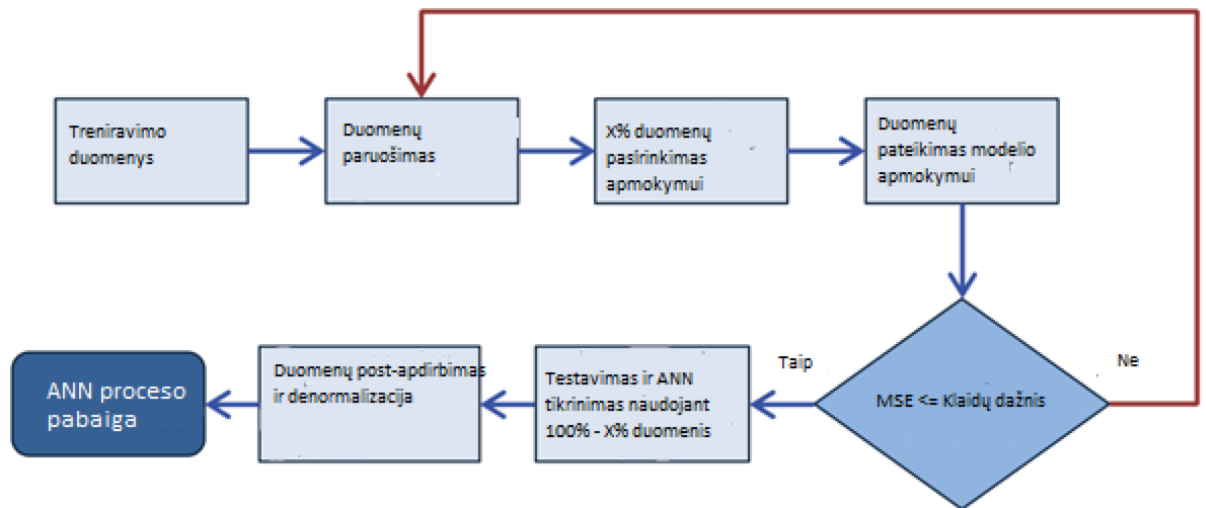


**8 pav.** ANN veikimo principo schema

Ryšiai tarp neuronų literatūroje vadinami kraštinėmis, nes kryptiniai grafikai yra populiariausias ANN vaizdavimo būdas. Mokymosi procesai vyksta tada, kai vykdant užduotis prisitaiko abiejų kraštų ir neuronų svoris. Pagrindinis svorio tikslas yra reguliuoti signalo stiprumą į mazgą. Sujungtų neuronų rinkinį galima suskirstyti į tris sluoksnius: įvesties, išvesties ir paslėptą sluoksnį (žr. 8

<sup>1</sup> Vykiant prižiūrimą mokymą, tinklui žinomos įvestys ir pageidaujami rezultatai ir taikomi mokymo metodai, siekiant sumažinti klaidą tarp norimų rezultatų ir ANN išvesties verčių. Neprižiūrimo mokymosi (adaptatyvaus mokymosi) metu įvestys yra žinomos tik topologijoje ir mokymosi metodai naudojami norint rasti paslėptą struktūrą nepažymėtame duomenų rinkinyje (Ahmad et al., 2016)

pav.). ŠVOK sistemos įėjimai, tinklo svoris ir tinklo perdavimo funkcijos lemia ANN išvestį. ANN valdikliui nereikia identifikuoti valdymo modelio. ANN imituoja žmogaus smegenų darbo procedūrą, todėl jis gali įgyti supratimą apie sudėtingą sistemą.



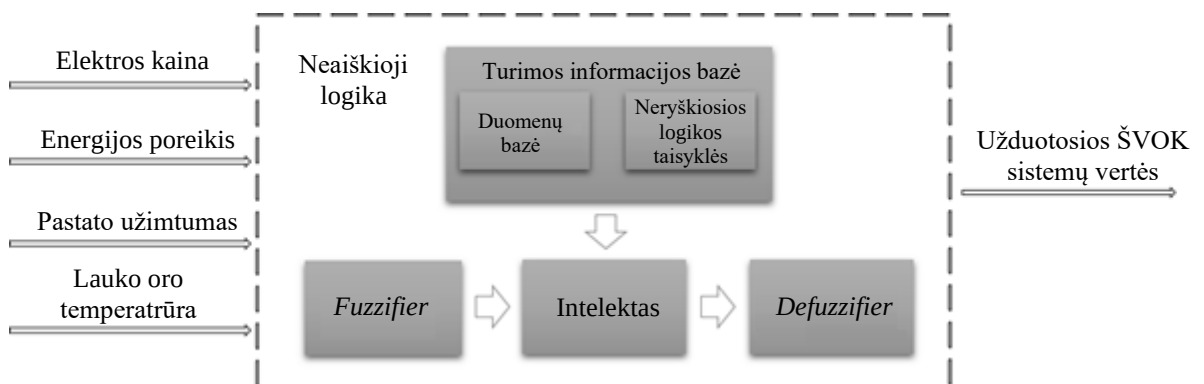
9 pav. ANN procedūra (Ahmad et al., 2016)

Tačiau toks, į žmogaus smegenis panašus valdiklis, turi trūkumų – reikalinga dideli duomenų kiekiai, reikalinga pastoviai treniruotis analizuojant sukauptus duomenis, tam, kad ANN modeliu grįsta sistema išmoktų ir galėtų kokybiškai prognozuoti ŠVOK sistemos darbą.

9 paveiksle aprašoma ANN logikos procedūra.

### 1.6.2. „Fuzzy“ – neaiškiosios logikos modelis

Toliau aptariamas kitas dirbtinio intelekto įrankis – neaiškioji arba modeliu pagrįsta nuspėjamoji kontrolė (MPC) (žr. 10 pav.). Nuspėjamasis valdymas suteikia sistemai grįžtamąjį ryšį ir prognozavimo rezultatus. Tai padeda sureguliuoti sistemos valdymo parametrus. Dėl grįžtamojo ryšio jutiklio atsiradimo, prognozavimas tampa dar tikslesnis, nes grįžtamas ryšys pakoreguoja netiesinės sistemos veikimą, kuria ir vadovaujasi nuspėjamasis valdymo modelis. (He, Cai ir Li, 2004)



10 pav. Neraišiosios logikos modelio ŠVOK valdiklis (Khalid et al., 2018)



**11 pav.** Neaiškosios (angl. *fuzzy*) logikos modelio procedūra

11 iliustracija vaizduoja neaiškosios logikos modelio veikimo žingsnius. Čia DI įrankis įvertina kintamųjų, funkcijų bei imčių apibrėžimus, pritaiko žinias ir sugeneruoja atitinkamus pirminius algoritmus. Algoritmai nuskaitytu duomenis, juos grupuoja, optimizuoja ir galiausiai pristato sukonkretintų taisyklių rinkinį. Remiantis juo, ateities duomenims yra numatomos išvestys.

### 1.6.3. MAS modelis

Kitas DI diegimo ŠVOK įrankis pateikiamas kaip kelių agentų sistema (MAS). Dėl šios technikos gerinamas ne tik sistemos efektyvumas su ANN arba nuspėjamuoju valdymu, bet ir jutikliai, pavaros ir kiti įrenginiai, palaikantys ŠVOK sistemą, dabar gali informuoti, kad dėl MAS naudojimo, jie vienas kitą atitinka išmanesniu, išsamesniu PVS modeliu.

Šis agentas pasižymi trimis pagrindiniais požymiais:

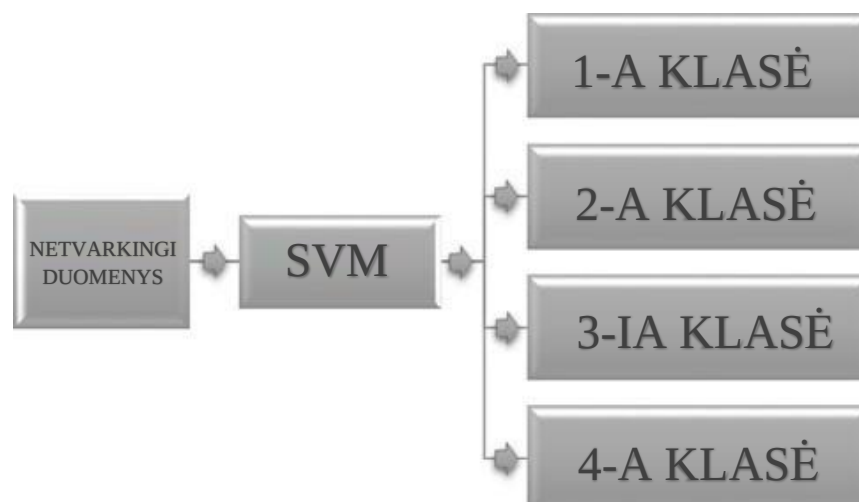
- **Reaktyvumas.** Agento pajėgumas itin jautriai reaguoti į aplinkos pokyčius.
- **Pro-aktyvumas.** Galimybė dinamiškai pakeisti savo veiklos taisykles norint pasiekti tam tikrą rezultatą.
- **Socialumas.** Galimybė komunikuoti su kitais agentais naudojantis specifine agentų komunikacijos kalba / protokolu. Ši kalba leidžia agentams perduoti ne tik neapdorotus duomenis, bet ir specifinius signalus – „palaikyti pokalbį“.

| MAS konceptas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Ryšys su ŠVOK sistemų valdymu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Atskiro agento turima informacija apie jį supantį pasaulį yra labai apribota, kas riboja agento indėlį sprendžiant didesnes ir daugiau dalių apimančias modelio problemas.</li> <li>Kiekvieno agento autonomiškumas sukuria sąlygas, kuriose centralizuotas valdymas nėra galima</li> <li>Duomenys yra decentralizuoti</li> <li>Informacijos ir kontrolės signalų apdorojimas yra asinchroninis</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pastatų valdymas yra stipriai decentralizuotas, bet sujungtas prižiūrinčios sistemos. Agentai pastatų valdyme yra labiau paskistyti nei decentralizuoto modelio – stebima didesnė tiesioginė komunikacija su centriniais mazgais ir gautos išorinės informacijos išnaudojimas.</li> <li>Valdant pastatus standartinis valdymo mechanizmas skiriasi – yra labiau centralizuotas, nes mazgai stipriau prižiūrimi.</li> <li>Nors pastatų kontrolės informacija yra gana decentralizuota, jos konsolidavimas gali būti naudingas ataskaitų generavimo ir analizės tikslais. Tad būtų naudinga, kad tai išliktų.</li> <li>Dar vienas neatitikimas nuo egzistuojančių procesų ŠVOK valdyme – kontroliniai signalai vis dar turi keliauti paeiliui.</li> </ul> |

**12 pav.** Konceptų ryšys su ŠVOK sistemų valdymu (Windham ir Treado, 2016)

Iš pirmo žvilgsnio MAS modelis gerai tinka PVS sistemų kontekste, kadangi turime daugybę pastate įdiegtų individualių jutiklių bei valdiklių, kurie galėtų atlikti koncepte naudojamą agentų vaidmenį. Tačiau dėl esamos išorinės informacijos, galinčios lemti pastato veikimą bei dėl egzistuojančios ŠVOK sistemos dalių sąveikos, decentralizuotas modelis nematantis bendro vaizdo yra nepakankamas ir centralizuotas PVS modelis yra vyraujantis. Plačiau MAS koncepto ryšys su ŠVOK sistemų valdymu apžvelgiamas lentelėje (žr. 12 pav.).

#### 1.6.4. SVM modelis



**13 pav.** Atraminio vektoriaus mašinos (SVM) klasifikavimas

Paskutinė aptariama dirbtinio intelekto technika yra atraminio vektoriaus mašina (žr. 13 pav.).

Paprastai SVM naudojama paskirstymo ir regresijos atvejais, nes šio įrankio principas yra sukurti linijas (ribas), kada ryšio sistema skiriasi nuo ankstesnių valdymo sistemų. Be to, norint pagerinti valdymo efektyvumą, nutraukus nuspėjamojo valdymo sistemos signalą, sistema tampa nelineinė.

Tradiciniu PID valdikliu, kuris pagrįstas Laplaso transformacijos ir tiesinio perdavimo funkcijomis, galima valdyti tik nuolatinis signalus. Gebėjimas įgyti išvalgų apie ANN yra panašus į žmogaus smegenų išvalgos procesą, tad tai yra protingas būdas padalinti duomenų rinkinius į konkrečias klases. SVM kartu su kai kuriomis papildomomis priemonėmis (pvz., FLC – neaiškiais loginiais valdikliais) gali būti naudojamas aptikti mišrių duomenų ribas, apibrėžiant tinkamas valdymo metodikas, modeliuojant ar regresuojant sprendimus. Nors šis metodas dažniausiai pritaikytas analizuojant didžiulį duomenų kiekį, eksploatuojant ŠVOK sistemas jis naudojamas mažai.

### 1.7. DI grįstų programų pastatams bei DI valdomų ŠVOK sistemų pavyzdžiai

ŠVOK sistemai apibūdinti yra įsivyravę tokios sąvokos kaip *reaktyvi* ir *nuspėjama*, kur *reaktyvi* suprantama, kada įrenginys iš karto reaguoja įvykus gedimui, o *nuspėjama* - nuolat analizuojant įrenginio veikimą, prognozuojamas, numatomas galimas gedimą ir taip įrenginį apsaugojant, prailginamas jo tarnavimo laikas. Nors ne vienas šaltinis teigia, kad naudojant *nuspėjamą* ŠVOK sistemos modelį ŠVOK sistemų priežiūros išlaidas būtų galima sumažinti kone pusiau, dauguma pastatuose esančių įrenginių vis dar veikia *reaktyvu* režimu. Kaip pagrindinė to priežastis yra ta, kad *nuspėjamo* modelio ŠVOK sistema reikalauja didesnių investicijų, laiko ir pastangų. ŠVOK techninės priežiūros ir energijos taupymo vadove rašoma „Vyresnio amžiaus [pastatų] vadovai retai turi patirties įrenginiuose ir pilnai nesupranta priežiūros poreikio. Daugeliui biudžetą sudarančių ir kontroliuojančių asmenų, priežiūra yra tik papildomos išlaidos.“ (Piper, 2009). Pastatų savininkai turėtų suvokti techninę priežiūrą kaip kokybės užtikrinimo veiksnį, kuris yra itin svarbus siekiant išvengti nenumatytų įrangos remontų. Taigi, *nuspėjama* ŠVOK sistemų techninė priežiūra yra optimaliausias metodas, naudojamas remiantis duomenimis pagrįstu modeliu siekiant sutaupyti eksploatacinius kaštus.

Duomenimis pagrįstas metodas pagal apibrėžimą suvokiamas kaip pastato empirinių duomenų analizė, aiškiai nežinant pastato fizinio elgesio. Duomenimis paremta nuspėjamoji kontrolė (DPC) yra plačiai pripažinta modeliu-pagrįsta technika, kuri naudoja dirbtinį intelektą, kad pagerintų pastatų valdymo efektyvumą. Iš pirmo žvilgsnio tokios sistemos gali pasirodyti brangios, tačiau, kaip rašoma viename straipsnyje, jos ilgiau tarnauja užtikrindamos energijos mažinimą, mat vidutinis klaidų lygis siekia 3 proc. Komercinių pastatų dydis ir ŠVOK sistemos yra palyginti sudėtingos, todėl DPC sistemos būtų pagrįstas pasirinkimas joms prižiūrėti.

Be ŠVOK sistemų optimizavimo, duomenimis paremta nuspėjamoji kontrolė palengvina

naudojimąsi ir kitose srityse. Pavyzdžiui, reagavimo į paklausą programos (DRP), kuriose reagavimas į paklausą reiškia pokyčius, kuriuos klientai daro, norėdami sumažinti elektros energiją piko metu. Komunalinės paslaugos ypač kuria reagavimo į paklausą programas, kurios siūlo finansines paskatas paskatinti energijos vartotojus tai daryti. Tai padeda jiems išlaikyti sistemos patikimumą ir išvengti elektros tiekimo nutrūkimo. 2019 m. „EnPowered“ (energijos valdymo organizacija JAV, valdanti įvairių klientų apkrovos mažinimo išteklius) komercinių pastatų ŠVOK sistemoms ir kitai eksploataavimo įrangai sukūrė numatomojo valdymo API. API, tai įrankis, galintis iš anksto išanalizuoti kainų šuolius, padėdamas sutaupyti iki 93 proc. energijos sąnaudų per didžiausią paklausą.

Kita glaudžiai susijusi su anksčiau aptarta programa būtų elektros energijos poreikio numatymas. Tai svarbus veiksnys planuojant ir optimizuojant šiuolaikines energetikos sistemas. Tokios programos naudoja DI pagrįstus algoritmus, kad analizuotų elektros energijos vartojimo įpročius ir pritaiktų sistemas energijos taupymo funkcijoms įgyvendinti. Pvz., „Verdigris“ (technologijų įmonė, įsipareigojusi pastatus paversti protingais ir reaguojančiais į aplinką) API padeda savininkams palyginti savo pastato ŠVOK ir kitus energijos vartojimo būdus su CBEC standartais. API analizuoja pastato duomenis, kad būtų galima prognozuoti energijos poreikį ir pateikti patobulinimų pasiūlymus, kurie sumažintų komunalines paslaugas ir padidintų komfortą.

Automatinis modeliavimas yra AI pagrįstas procesas, sukuriantis intuityvius sudėtingų fizinių sistemų modelius. „Modelica“ yra nusistovėjusi modeliavimo kalba, kuri naudojama iliustruoti sudėtingus pastatų modelius, pvz., ŠVOK, valdymo ir santechnikos sistemas, siekiant padėti savininkams analizuoti savo pastato elgesį prieš ir po gedimo. Komercinės įmonės ypač naudoja „Modelica“ kurdamos efektyvias pastatų sistemas, kurios padeda pasiekti aukštesnį komforto lygį, tuo pačiu maksimaliai sutaupant energijos.

Toliau pateikiama keletas konkrečių objektų pavyzdžių, kaip pasikeitė pastatų energijos suvartojimas pritaikius PVS – automatizavus dirbtinio intelekto modeliais ŠVOK sistemas.

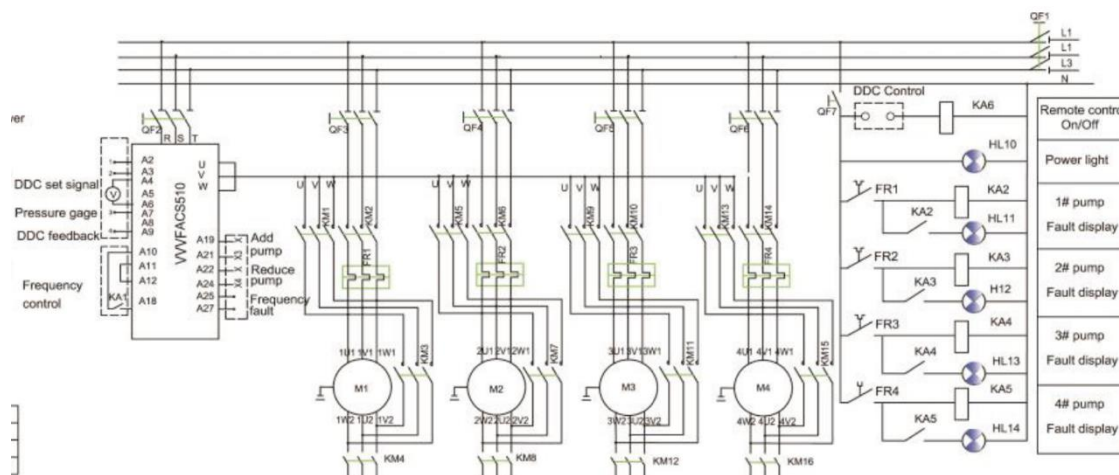
Pirmasis pavyzdys kalba apie Sijano mieste (Kinija) optimizuotą ŠVOK sistemos veikimą studentų miestelio bibliotekoje (Qiwen Jiang, Jianbo Chen, Jialin Hou, Yanhua Liu, 2018). Straipsnyje pristatoma, kad biblioteka suvartoja 12 % visos suvartojamos energijos universiteto miestelyje, iš kurių 60 % suvartojama ŠVOK sistemų veikimui. Tekste primenama, kad per pastaruosius metus pastato energijos valdymo sistema tapo efektyvesnė, suteikdama tikslesnį valdymą energijos suvartojimui ir mažindama eksploatacinius kaštus. Rankiniu būdu nustatomi ir tikrinami prietaisai buvo automatizuoti įdiegus magistralinę valdymo sistemą (FCS). Dėl atviro tinklo, duombazės tapo lengvai prieinamos skirtingiems tinklo sluoksniams, o ir loginiai algoritmai tokie kaip neaiškosios logikos modelis dirbantis išvien su PID (angl. *fuzzy*-PID) buvo patobulinti efektyvesniam darbui per magistralinę valdymo sistemą.

Studija buvo atlikta remiantis FCS sąsaja ŠVOK sistemos automatizuotam valdymui. Buvo analizuojamas elektrinės automatizuotos valdymo technologijos pritaikymas vėsinimo sistemai. Nurodoma, kad tyrimas atliktas naudojantis „Delta WPL“ programine įranga, o energijos suvartojimai ŠVOK sistemai tirti birželio – rugsėjo mėnesiais pasitelkiant „eQUEST“ (pastatų energijos suvartojimą analizuojanti programa) simuliacinę programą.

Bibliotekoje pastato energijos valdymo sistema susideda iš stebėsenos programinės įrangos, tiesioginių skaitmeninių valdiklių, jutiklių bei pavarų. Toliau rašoma apie trisluoksnės sąsajos tinklo architektūrą. Aukštų lygmens tinklas (FLN) yra pagrindinis tinklas naudojamas valdymo sistemoje, kuris palaiko modulinį programuojamąjį valdiklį, išplėstinį modulį ar išvadinių įrangos valdiklį. Bibliotekoje vėdinimo sistemą sudaro dviejų tipų įrenginiai – oro ruošimo ventkamera ir tiekiamo oro kamera. Tiek viena, tiek kita kamera yra vienodai įjungtos į tinklą ir yra tiesiogiai valdomos iš centralės per nuotolinius „MODBUS RS485“ vartus. Tęsiant kalbą apie tinklo architektūrą, antras, pastato lygmens tinklas (BLN), geba palaikyti tris tokio tipo tinklus tuo pačiu metu. Modulinis įrangos valdiklis pritaikytas vėsinimo stočiai, o modulinis pastato valdiklis suteikia vartus (prieigą) paskirstytajam tinklui. Dėl naudojamo atviro tinklo, sistema gali stebėti integruotą vėsos gamybos ir oro ruošimo įrenginio darbą. Taip pat rašoma, jog pastato lygmens tinklas turi galimybę gauti signalus iš oro kondicionavimo įrenginių bei šalčio gamybos mašinos iš skirtingų aukštų ir persiųsti informaciją valdymo lygmens tinklui (MLN). Kadangi valdymo lygmens tinklas sujungtas TCP/IP protokolu ir eternetu, eksploatuotojui suteikiama galimybė nuotoliniu būdu vykdyti ne tik ŠVOK įrenginių, bet ir kitų bibliotekoje esančių sistemų stebėjimą.

Vėsos ruošybos sistemoje kaip modulinis įrangos valdiklis buvo pasirinktas „Power MEX1310L“, palaikantis papildomo taško išplėtimo modulį. Kadangi didžiąją elektros energijos dalį ŠVOK sistemoje suvartoja šalčio stotis, buvo pasirinkta naudoti atskirą valdiklį. Toliau apibūdinama vandens vėsinimo sistema, susidedanti iš keturių aušyklių, keturių cirkuliacinių siurblių, slėgio jutiklių ir vamzdynų. Gavus aušyklės signalą į programuojamąjį loginį valdiklį (PLC) cirkuliaciniai siurbLIAI automatiškai reguliuojami PID regulatoriaus dažnio keitiklyje. SiurbLIAIS kintamas vandens srautas prisitaiko prie kintamo vėsos poreikio patalpose, kas ypač svarbu kalbant apie šiltuosius / šaltuosius sezonus ar skirtingą bibliotekos patalpų užimtumą – taip kintamo šaltnešio sistema veikia efektyviau ir leidžia mažinti elektros energijos suvartojimą eksploatacijos metu.

Kintamo šaltnešio sistemos elektrinė principinė diagrama (žr. 16 pav.) susideda iš trijų pagrindinių dalių – dažnio keitiklio, keturių siurblių dalies bei elektrinės valdymo spintos (panelės). ACS510 modelio dažnio keitiklis, gaudamas signalus iš modulinio įrangos valdiklio „Power MEX1310L“ ir duodamas atsaką per A7 ir A9 išvadus, nes energinis valdymas negali būti efektyviai vykdomas be uždaro kontūro atgalinio ryšio. Monitoringo tipas – nuotolinis ar vietinis – gali būti keičiamas kintamos srovės kontaktoriaus perjungimo signalu.



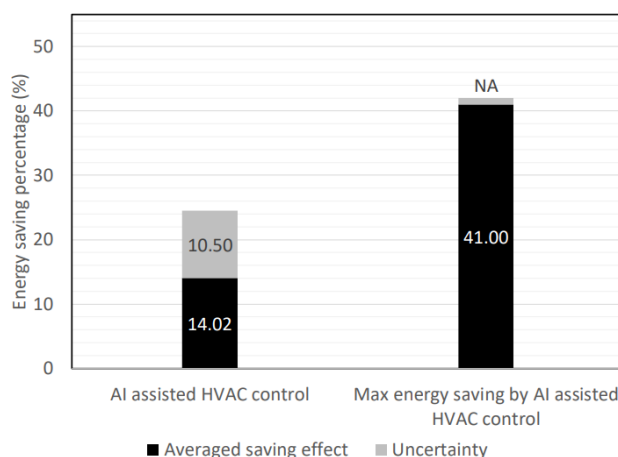
**14 pav.** Elektrinė valdymo diagrama (Jiang et al., 2018)

Programuojamasis loginis valdiklis – DVP60EC00R3 – prijungiamas prie dažnių keitiklio, kad būtų įgyvendinamas vėsinimo sistemos siurblių nuotolinis valdymas. Valdiklyje taip pat numatomas siurblių ir ventiliatorių valdymo sujungimas. Gavęs aušyklės išleidimo signalą, atitinkamas kontaktas užsidaro, leisdamas srovei tekėti ir pranešdamas valdikliui, kad siurbLIAI įsijungė. Šaltnešio sistemos valdymas aprašytas „Delta WRP“ programoje. Kadangi universiteto biblioteka turi darbo valandas, programoje aprašytas ir vėsinimo sistemos veikimo grafikas. Įvykdžius sėkmingą simuliaciją, buvo įrodytas patogus priežiūros valdymas bei sumažintas energijos suvartojimas.

Galiausiai straipsnyje pristatoma pastato vėsinimo sistemos energijos vartojimo statistika birželio–rugsėjo laikotarpiu. Vėsinimo sistema suskirstoma į šaldymo mašinos, vėsinamo vandens sistemos, atvėsinto vandens sistemos, aušyklės ventiliatoriaus bei vandens siurblių dalis. Paskaičiuojama, kiek valandų sistema dirbtų (nuo 8:00 iki 20:00 val.) ir kokia vėsinimo apkrova (<20 %, 20–40 %, 40–60 %, 60–80 % ar >80 %) prie tam tikrų lauko temperatūrų. Pagal gautus rezultatus matoma, kad daugiausiai valandų sistema dirbtų su mažiausiomis apkrovomis, t.y. <20 % ir 20–40 % intervaluose. Nurodoma, jog simuliacinėje programoje „eQUEST“ taip pat buvo įvertinta bibliotekos užimtumas, apšvietimo ir įrangos galinčiai.

Apibendrinama, jog pritaikius automatinį ŠVOK sistemos valdymą, įprastai skaičiuojami 40,6 % viso pastato energijos suvartojimo oro kondicionavimo sistemoms, buvo sumažinti iki 35 %, o šalčio stoties suvartojimas sumažintas iki daugiau nei 38 % kalbant apie bendrą ŠVOK sistemos energijos suvartojimą.

Kitas pavyzdys kalba apie išmanaus pastato valdymą DI kontekste.



**15 pav.** Eksperimentinė vidutinė energijos taupymo procentinė dalis, energijos taupymo svyravimai ir maksimalus energijos taupymas naudojant DI (Cheng ir Lee, 2019)

Dirbtinio intelekto ŠVOK sistemose privalumus galima pagrįsti remiantis iliustracija, pateikta 15 pav. Cheng ir Lee tyrime buvo palyginti 24 pastovaus įjungimo / išjungimo ir PID valdymo atvejai su dirbtinio intelekto palaikymo sistemomis: „Iš 24 atvejų 83 % buvo įjungimo / išjungimo, o 17 % – PID valdymas. Apskaičiuota vidutinė energijos taupymo procentinė dalis, energijos taupymo svyravimai ir maksimalus energijos taupymas naudojant DI palaikomą ŠVOK valdymą yra atitinkamai 14,4 %, 22,32 % ir 44,04 %. Palyginus šiuos rezultatus su eksperimento duomenimis 14,02 %, 24,52 % ir 41,0 % matomais 14-ame paveiksle, klaidos atitinkamai yra 3 %, 9 % ir 7 %.“ (Cheng ir Lee, 2019)

2 lentelėje pateikti apibendrinti dirbtinio intelekto pritaikymo ŠVOK sistemoms pavyzdžiai.

**2 lentelė** DI modeliu paremtų ŠVOK sistemų efektyvaus darbo rezultatai

| Analizuota ŠVOK sistema                                                                                  | DI įrankis                                                                                | Pasiekti rezultatai                                                                                                                                     | Šaltinis               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Modeliu pagrįsta nuspėjamoji kontrolė pastato energijos sistemų valdymui                                 | Modeliu pagrįsto nuspėjamosios kontrolės valdiklio kūrimas                                | Dinamiškas temperatūros nustatytųjų verčių parinkimas pagal naudotojų veiklos tipą ir intensyvumą gali sutaupyti iki 34 % energijos                     | (Salakij et al., 2016) |
| Daugybinių tikslų kontrolė ir valdymas pastatuose                                                        | Hibridinis daugybinių tikslų optimizavimo algoritmo kūrimas (MOGA)                        | 31,6 % energijos sutaupymas pasiektas išmaniajame pastate. O palyginus su tradiciniais valdymo metodais, pasiekiamo 71,8 % geresnis šiluminis komfortas | (Shaikh et al., 2016)  |
| Hibridinis nuspėjamasis modelis paremtas išankstinių duomenų apdorojimu, optimizacijos ir DI algoritmais | Dirbtinio intelekto palaikomas skirtingos informacijos suliejimas vieningam panaudojimui. | MAPE svyruoja tarp 4,57 % ir 5,69 %                                                                                                                     | (Jiang et al., 2016)   |
| Gilusis patvirtinamasis mokymasis ŠVOK kontrolės sistemoms                                               | Giluoju patvirtinamuoju mokymusi paremtas mokymasis (DFL)                                 | 11 % energijos sutaupymai                                                                                                                               | (Wei et al., 2017)     |

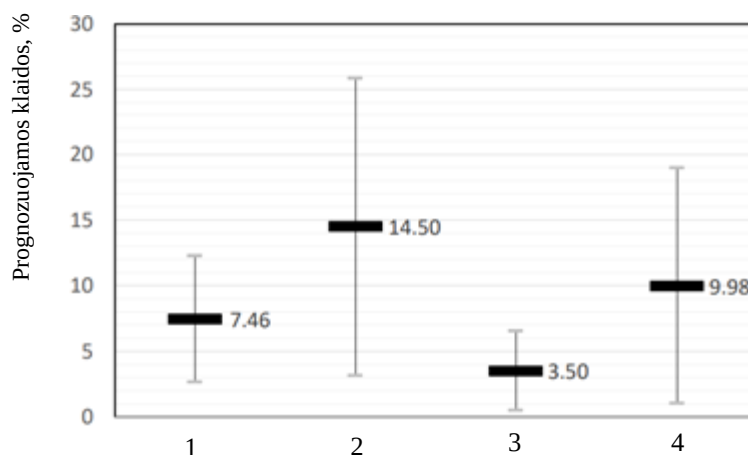
**2 lentelė.** DI modeliu paremtų ŠVOK sistemų efektyvaus darbo rezultatai (tęsinys)

|                                                                |                                                                                                                               |                                                                        |                                 |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Biuro pastatų šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos | Patvirtinimo mokymasis (angl. <i>Reinforcement learning (RL)</i> ) ir ilgalaikės / trumpalaikės atminties neuroniniai tinklai | 2,5 % energijos sutaupymas pagerinantis bendrą naudotojų komfortą 15 % | (Wang et al., 2017)             |
| ŠVOK sistemos biuro pastatuose                                 | MAS ir CBR energijos taupymui ir sprendimų priėmimui                                                                          | 41 % energijos sutaupymai                                              | (González-Briones et al., 2018) |

Nors dirbtinis intelektas daro didžiulę įtaką išmaniajai ŠVOK sistemai valdyti, tačiau norint pritaikyti DI, susiduriama su tam tikrais netikslumais.

11 paveiksle parodytas ŠVOK sistemų prognozavimo klaidų palyginimas:

- 1 – energijos suvartojimo / šildymo / aušinimo prognozavimas;
- 2 – žmogaus elgesio / šiluminio komforto numatymas;
- 3 – orų prognozė;
- 4 – kiti.



**16 pav.** Prognozavimo klaidų palyginimas DI valdomose ŠVOK sistemose (Cheng ir Lee, 2019)

Vienas iš pagrindinių tikslų ateityje yra atlikti prognozavimo klaidų tyrimus. Būsimų sąlygų prognozavimas ir esamų ŠVOK valdymo sistemų optimizavimas be žmogaus įsikišimo yra vienas pagrindinių DI pagrįstų PVS tikslų. Pastatų valdyme pasiekus dar tikslesnes dirbtinio intelekto prognozes, energijos suvartojimo rezultatai gali vesti prie *beveik nulinės energijos pastato* sąvokos.

### 1.8. DI pritaikymo išmaniuosiuose pastatuose iššūkiai

Ankstesniame skyriuje aprašytuose DI pritaikymo pavyzdžiuose matome, kad šiomis naujosiomis technologijomis pagrįsti ŠVOK valdymo modeliai gali atnešti didelę ekonominę naudą pastatų valdytojams, tačiau rinkoje išmanūs pastatai su DI naudojančiais valdikliais dar sutinkami gana retai. Tokią situaciją lemia įvairūs iššūkiai, kuriuos kaip ir bet kuri kita nauja technologija, turės

įveikti ir modernios PVS. Tai:

- Nėra pakankamai tinkamo tipo duomenų, kad būtų galima visiškai panaudoti DI: daugelis esamų įrenginių turi sistemas, teikiančias duomenis, tačiau, pavyzdžiui, duomenys iš senesnės PVS gali netikti dirbtinio intelekto poreikiams, atsižvelgiant į duomenų tipus ir detalumą bei matavimų dažnį. Šiuo metu tradiciškai renkami apibendrinti pagrindinių pastato mazgų / sistemų duomenys gali būti naudingi DI algoritmui, tačiau jų nepakanka sukurti tikslų ir efektyvų pastato valdymo modelį. Tokio DI algoritmo apmokymui greičiausiai reikės papildomos jutiklių ar ryšių aparatūros bei duomenis renkančios ir integruojančios programinės įrangos. Kai kuriems dirbtinio intelekto metodams reikia išsamių skaičiavimų ir ilgalaikio stebėjimo, kuris įgalintų DI sistemas realiu laiku atlikti optimaliausią ŠVOK veikimą. Kitoms priemonėms reikalingas didžiulis jau surinktų duomenų kiekis (išmatuota temperatūra, slėgis, CO<sub>2</sub> lygis, lauko oro sąlygos, elektros kainos, gyventojų elgesys, išsami informacija apie jų palankias patalpų klimato sąlygas ir kt.), kaip medžiaga DI variklių mokymuisi. Tik turint pakankamai duomenų iš atskirų pastato zonų / erdvių ir įrenginių, DI valdiklis galės suteikti holistinį ir tikslų sistemų valdymo algoritmą.
- Vis dar trūksta standartų, etalonų, etinių, reguliavimo, teisinių, ekonominių apibrėžtumų ir geriausios praktikos pavyzdžių: kadangi dirbtinio intelekto naudojimas yra palyginti naujas komercinių pastatų sektoriuje, yra nedaug DI vertinimo standartų ar apibrėžtų veiksmingumo rodiklių. Šiam tikslui dažniausiai naudojama pinigine investicijų grąžos išraiška (angl. *RoI – Return on investment*).
- Nerimas dėl kibernetinio saugumo yra dar viena svarbi problema taikant DI: kibernetinis saugumas, kaip savaime reikalinga pramonė, turės išsiplėsti kartu su dirbtiniu intelektu ir duomenų analitika (bei interneto daiktais), norint išvengti galimų pažeidžiamumų (Kearney, 2017).
- Dirbtinio intelekto ekspertų trūkumas.
- Darbo jėga keičiasi: daugelis dabartinių patalpų valdytojų yra pakankamai pajėgūs palaikyti operacijas, tačiau daugelis artėja prie pensijos ir gali nenoriai imtis šios užduoties mokytis naujesnių skaitmeninių įgūdžių, tokių kaip DI. Perėjimas prie jaunesnių vadybininkų buvo įtrauktas į skaitmeninę erdvę sprendimams ir norui priimti DI reikės laiko, greičiausiai, dešimtmečio.
- Pradinės investicijos į DI grįstą sistemą yra didesnės, lyginant su įprasta pastatų valdymo sistema.

## 2. PRAKTINĖ DALIS

### 2.1. Tiriamojo objekto aprašymas

Tyrimo objektu buvo pasirinktas Kauno mieste esantis pastatas. Tai penkių aukštų modernus ir ekologiškas A klasės administracinio tipo statinys.

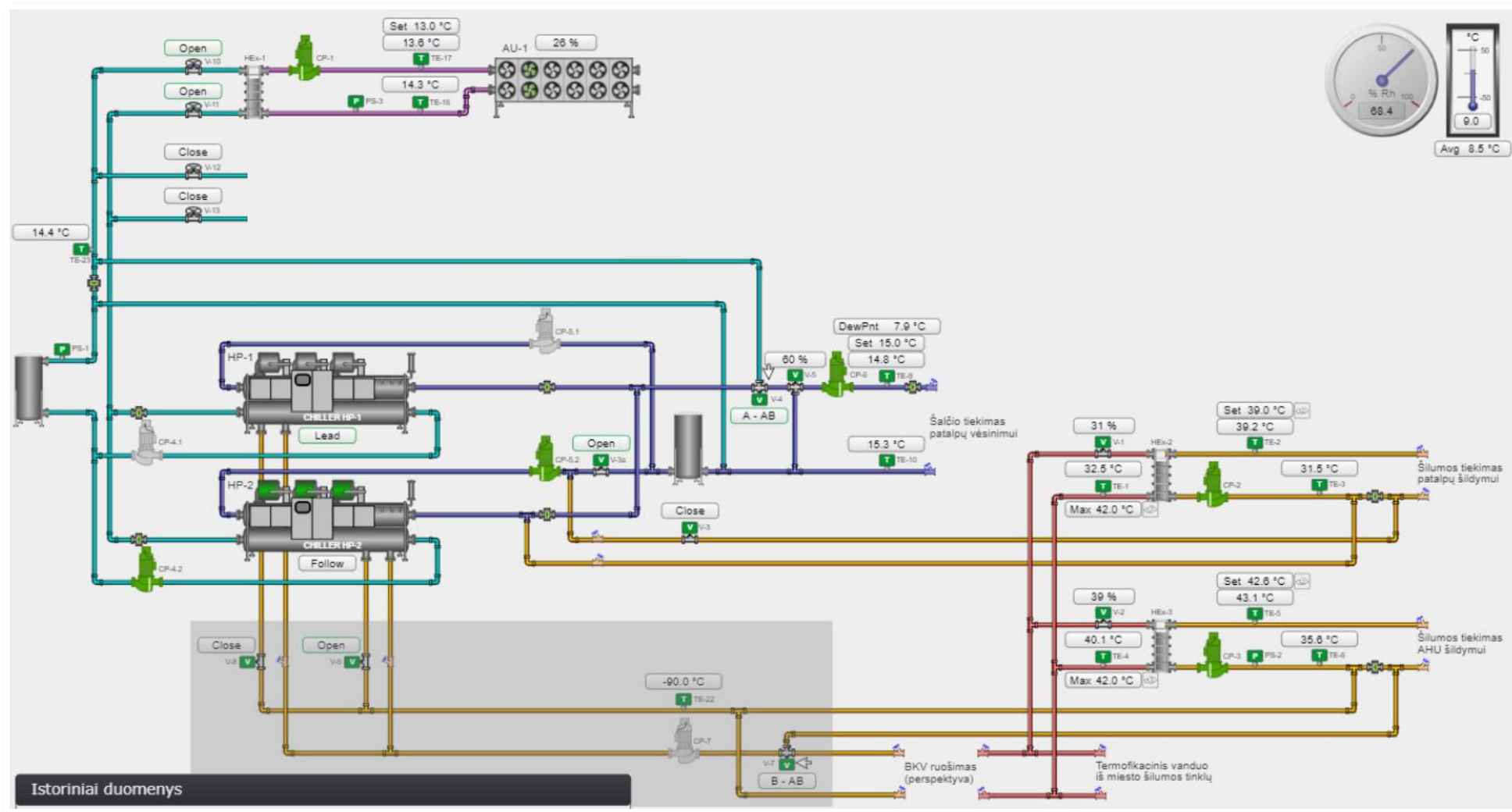
Objektas, sudarytas iš keturių – X, Y, Z ir W – korpusų. Korpusus X, Y, Z prižiūri viena, o W korpusą kita techninė patalpa.

### 2.2. Objekte įrengtos ŠVOK sistemos valdymo apžvalga

Toliau aprašomi pastate suprojektuoti ir automatizuoti ŠVOK dalies inžineriniai sprendimai.

**3 lentelė.** X, Y ir Z korpusų šildymo ir vėsinimo sistemų veikimo logika

| Šilumos ir šalčio mazgas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Šilumos ir šalčio gamybos punktas įrengtas Y korpuse esančioje techninėje patalpoje. Suprojektuota viena šaldymo mašina HP-1, dirbanti šaldymo režimu, ir vienas šilumos siurblys HP-2, dirbantis šildymo arba šaldymo režimu. Šalčio mašinos aušinamos auškyje per šilumokaitį Hex-1. Pereinamuoju laikotarpiu sistema gali vėsą imti iš lauko aplinkos naudodama aušykles, tačiau nejungdama šaldymo mašinų. Pastatui šildyti suprojektuoti du šilumokaičiai nuo miesto šilumos tinklų – Hex-2 skirtas vandeninei, radiatorinei pastato šildymo sistemai, kitas – Hex-3 skirtas glikolinei sistemai orui pašildyti vėdinimo įrenginiuose, oro užuolaidoms bei sniegui tirpinti laiptų zonoje.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Šildymo sistemos kontūras Hex-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Siurblių valdymas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Siurblys CP-2 įjungiamas, kai lauko oro temperatūra nukrenta žemiau nustatytos ribos, t. y. 10 °C. Kai lauko oro temperatūra aukštesnė nei 12 °C, siurblys išjungiamas. Kartą per parą siurblys įjungiamas 5 min.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Temperatūros reguliavimas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Pereinamuoju laikotarpiu ( $TE-23 > 2\text{ °C}$ ) šalčio mašina HP-2 dirba kaip šilumos siurblys. Šalčio mašina HP-1 išjungta. Cirkuliaciniai siurbLIAI CP-4.1 ir CP-5.1 išjungti, CP-4.2, CP-5.2, CP-2, CP-3 – įjungti. Reguliavimo vožtuvai V-1 ir V-2 uždaryti, sklendė V-3 atidaryta, vožtuvas V-4 perjungtas A/AB. Kai $TE-23 < 2\text{ °C}$ , šalčio mašina HP-2 išjungiamas. Po 1 min vėlinimo išjungiamas cirkuliacinis siurblys CP-4.2. Šildant naudojamas miesto šilumos tinklų termofikatas. Šalčio mašina HP-1 išjungta. Cirkuliaciniai siurbLIAI CP-4.1, CP-5.1, CP-5.2 išjungti, CP-2, CP-3 – įjungti. Reguliavimo vožtuvai V-1 ir V-2 aktyvuoti, sklendė V-3 uždaryta, vožtuvas V-4 perjungtas A/AB. Valdiklis palaiko tiekiamo termofikacinio vandens temperatūrą pagal įvestą grafiką, priklausomai nuo lauko oro temperatūros TE-0 valdydamas reguliavimo vožtuvą V-1 pagal temperatūros jutiklio TE-2 rodmenis. Temperatūros daviklis TE1 naudojamas grįžtamai temperatūrai riboti. Šiltuoju metų periodu (lauko oro temperatūra aukštesnė nei 12 °C) esant išjungtam cirkuliaciniam siurbliui CP-2 reguliavimo vožtuvas V-1 uždaromas. |



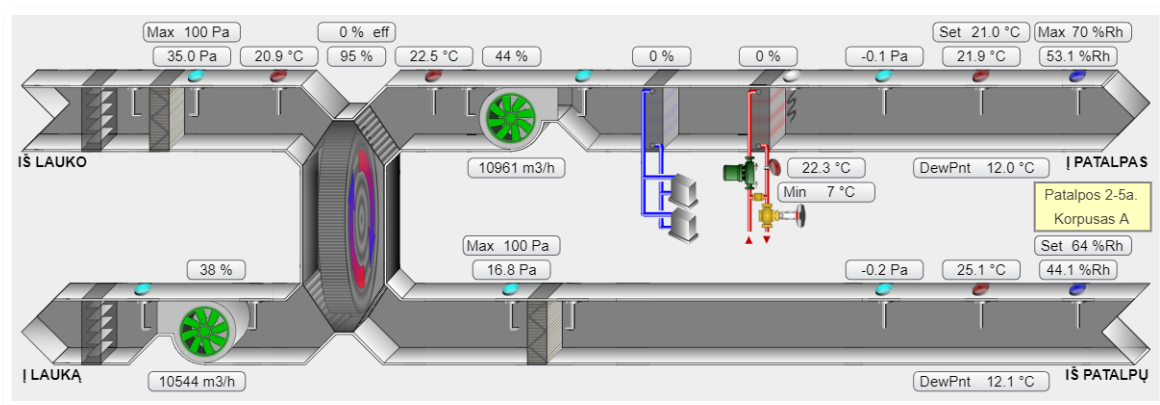
17 pav. X, Y ir Z korp. PVS vaizduojama ŠVOK sistemos funkcinė schema

**2 lentelė. X, Y ir Z korpusų šildymo ir vėsinimo sistemų veikimo logika (tęsinys)**

| <b>Vėdinimo sistemos ir oro užuolaidų kontūras Hex-3</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Siurblių valdymas</b></p> <p>Siurblys CP-3 įjungiamas, kai lauko oro temperatūra nukrenta žemiau nustatytos ribos (10 °C) arba, kai bent viename vėdinimo įrenginyje vyksta sausinimas. Kai lauko oro temperatūra aukštesnė nei 12 °C, siurblys išjungiamas. Kartą per parą siurblys įjungiamas 5 min.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p><b>Temperatūros reguliavimas (PVS atvaizduojama, tačiau pastate nesumontuota sistemos dalis)</b></p> <p>Šiltuoju metų periodu esant sausinimo poreikiui ir dirbant bent vienam iš įrenginių HP-1, HP-2 atidaromi vožtuvai V-8 arba V-9, vožtuvas V7 perjungtas A/AB, įjungiamas cirkuliacinis siurblys CP-7. Kai TE-22 pakyla aukščiau nustatytos ribos (65 °C), siurblio našumas didinamas, kai TE-22 nukrenta žemiau nustatytos ribos (50 °C), siurblio našumas mažinamas. Įjungiamas cirkuliacinis siurblys CP-3. Jeigu TE-5 mažiau 40 °C, tada atidaromas reguliavimo vožtuvas V-2.</p>                                                     |
| <p><b>Patalpų vėsinimas</b></p> <p>HP-1 šildymo režimas išjungiamas, V-3 uždaroma. Cirkuliaciniai siurbliai CP-4.1, CP-5.1 ir CP-6 įjungiami. Vožtuvas V-4 perjungtas B/AB. HP-1 įjungiama šaldymo režimu. Valdiklis palaiko nustatytą tiekiamo šaltnešio temperatūrą (TE-9 14 °C) valdydamas reguliavimo vožtuvą V-5. Nepakankant HP-1 galingumo, įjungiamas įrenginys HP-2. Cirkuliaciniai siurbliai CP-4.2, CP-5.2 įjungiami. HP-2 jungiama šaldymo režimu. Vėsinimas aušintuve vyksta įjungiant cirkuliacinį siurbį CP-1. Valdiklis palaiko nustatytą grįžtamą temperatūrą (TE-17 20 °C), keisdamas veikiančių ventiliatorių porų skaičių.</p> |

**Vėdinimo įrenginiai**

Vėdinimo įrenginiai X-AHU1, X-AHU2, Y-AHU1 ir Z-AHU1 komplektuoti su visa gamykline automatika ir yra integruoti į PVS.



**18 pav.** X, Y ir Z korp. PVS sistemoje atvaizduojama vėdinimo įrenginių funkcinė schema

Pastato valdymo sistema schematiškai atvaizduoja AHU įrenginio veikimą (žr. 18 pav.). Monitoringas leidžia stebėti filtrų, ventiliatorių darbą, šilumokaičio darbo našumą ir efektyvumą, oro užsklandų poziciją, temperatūros, slėgio, santykinės drėgmės, rasos taško vertes bei esant poreikiui, jas koreguoti.

**4 lentelė.** X, Y ir Z korpusų vėdinimo sistemų veikimo logika

| Vėdinimo sistema X-AHU1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ijungtas įrenginys</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Automatiniu režimu ventiliatoriai SF-1 ir EF-1 yra įjungiami pagal komandą iš PVS valdiklio. Kai įjungiami ventiliatoriai, atidaromos oro užsklandos FG-1 ir FG-2. Valdiklis palaiko nustatytą oro kiekį tiekiamo ir šalinamo oro linijose valdydamas ventiliatorių SF-1 ir EF-1 našumą pagal slėgio daviklių PDE-2 ir PDE-4 matavimus. Valdiklis palaiko nustatytą tiekiamo oro santykinę drėgmę valdydamas šalčio mašiną DX, pagal santykinės drėgmės daviklio ME-2 matavimus. Valdiklis palaiko nustatytą tiekiamo oro temperatūrą (22 °C) pagal seką valdydamas šilumos reguliavimo vožtuvą TG-1, rekuperacijos valdymo įrenginį FC-3 ir šalčio mašiną DX pagal temperatūros jutiklio TE-2 matavimą. Pagal TE vertes valdiklis automatiškai suskaičiuoja rotacinio šilumokaičio naudingumo koeficientą (%). |
| <b>Apsauga nuo užšalimo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Šildymo kaloriferio apsaugai nuo užšalimo yra naudojamas grįžtančiojo termofikacinio vandens temperatūros jutiklis TE-1. Įrenginyje yra nustatoma užšalimo aliarmo temperatūros reikšmė (7 °C). Suveikus apsaugai nuo užšalimo ventiliatorius SF-1 stabdomas, šildymo vožtuvas TG-1 pilnai atidaromas. Valdiklis palaiko grįžtančiojo termofikacinio vandens temperatūrą (12 °C), matuojamą panardinamu temperatūros jutikliu TE-1, valdydamas šildymo kaloriferio reguliavimo vožtuvą TG-1.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Išjungtas įrenginys</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ventiliatoriai SF-1, EF-1 sustabdyti, oro užsklandos FG-1 ir FG-2 uždarytos. Valdiklis palaiko nustatytą grįžtančiojo termofikato vandens temperatūrą (25 °C), valdydamas šildymo kaloriferio reguliavimo vožtuvą TG-1 pagal temperatūros jutiklio TE-1 matavimą. Rotacinis šilumokaitis sustabdytas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Siurblio valdymas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Lauko oro temperatūrai nukritus žemiau 10 °C, įjungiamas cirkuliacinis siurblys P-1. Temperatūrai pakilus aukščiau 11 °C, siurblys išjungiamas. Jeigu siurblys buvo išjungtas ilgiau nei parą, jis įjungiamas 1 min.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Vėdinimo sistemų įrenginiai Y-AHU1 ir Z-AHU1, atitinkamai prižiūrintys Y ir Z korpusų patalpas, valdomi analogiškai kaip anksčiau aprašytas vėdinimo sistemos X-AHU1 veikimas.

Apskaitos duomenų nuskaitymas vyksta „M-BUS“ ryšio sąsaja. Duomenų surinkimui skirta „M-BUS“ duomenų centralė, kuri perduoda duomenis į pastato valdymo sistemą.

Toliau aprašomi ketvirtame korpuse suprojektuoti ir automatizuoti ŠVOK dalies inžineriniai sprendimai.

**5 lentelė.** W korpuso ŠVOK sistemų veikimo logika

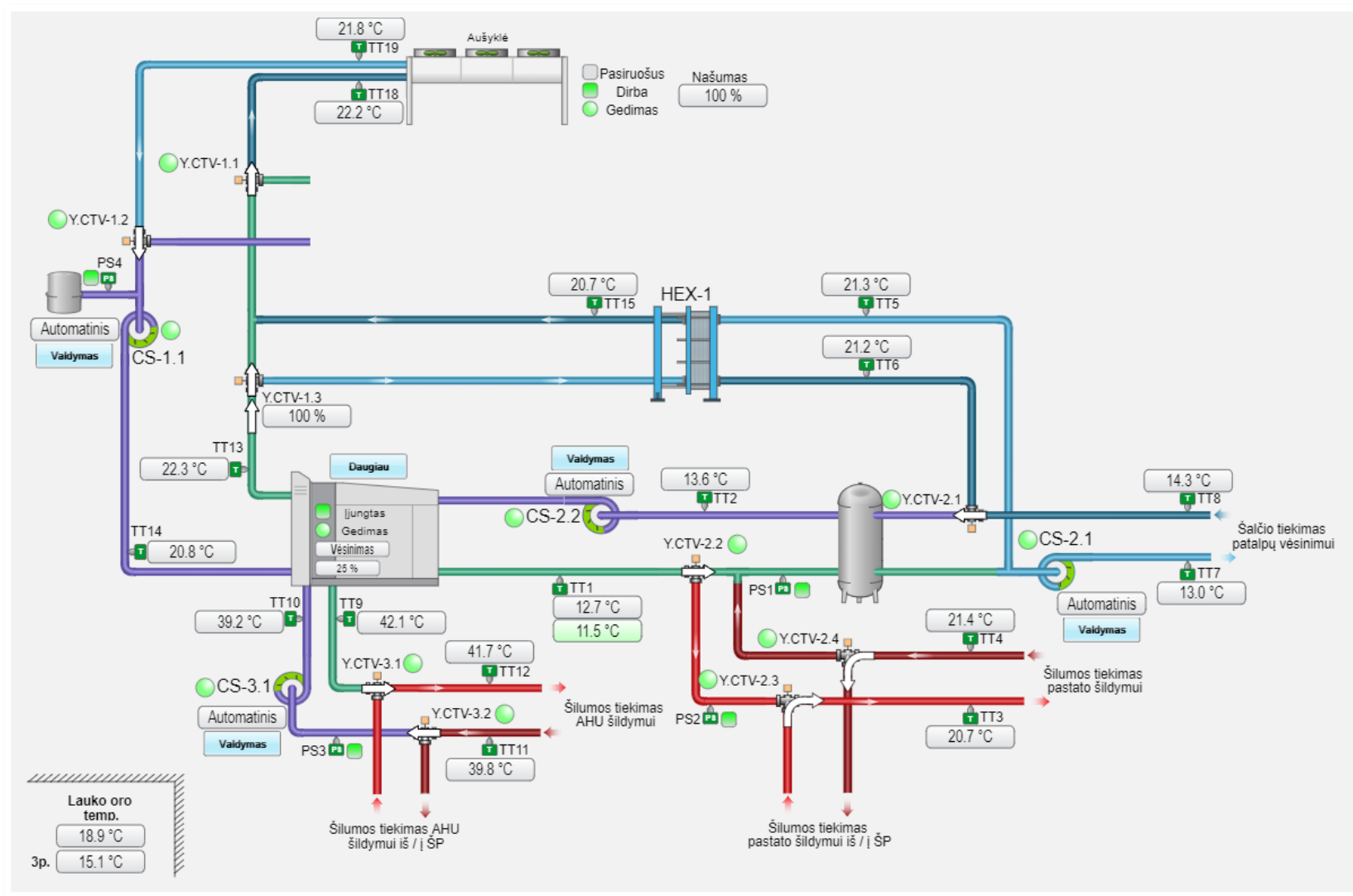
Korpuse sumontuoti AHU-1, AHU-2, AHU-4, AHU-5 ir AHU-6 vėdinimo įrenginiai pateikiami su gamykline automatika ir yra integruoti į PVS „BACnet“ IP protokolą.

**4 lentelė.** W korpuso ŠVOK sistemų veikimo logika (tęsinys)

| <b>Korpuso šildymo sistemos</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Korpuse numatyti du šilumos šaltiniai: šilumos siurblys HP-1 (šildantis patalpas, kai lauko temperatūra didesnė nei 0 °C) ir centralizuoti miesto šilumos tinklai. Šilumos siurblio tiekiamo šilumnešio temperatūra yra 45/40 °C. Esant lauko oro temperatūrai žemiau 0 °C, yra naudojami centralizuoti miesto šilumos tinklai, sk. temperatūra – 65/45 °C.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Grindinis šildymas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Antro aukšto atriume suprojektuotas vandeninis grindinis šildymas, reguliuojamas temperatūros reguliavimo mazge TRM1-2, kuriame montuojama el. pavara bei du temperatūros jutikliai. Valdymas atliekamas iš automatikos valdymo skydo VAS-SSM-2. Atriumo grindų temperatūra ir patalpos temperatūra nustatoma bei reguliuojama iš pastato valdymo sistemos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Laiptų sniego tirpinimo sistema</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Sistema yra skaičiuotinos 42-30 °C temperatūros, užpildyta 35% glikolio tirpalu. 2 a., holo patalpoje, suprojektuotas grindinio šildymo kolektorius su temperatūros reguliavimo mazgu TRM1-1, kuriame montuojama el. pavara bei du temperatūros jutikliai. Valdymas atliekamas iš automatikos valdymo skydo VAS-SSM-2. Laiptų sniego tirpinimo sistemos temperatūra nustatoma bei reguliuojama iš pastato valdymo sistemos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Oro užuolaidos OU-1 ir OU-2</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Prie pastato korpuso išorinių durų suprojektuotos oro užuolaidos su vandeniniu šildymu - OU-1 pirmajame aukšte, OU-2 antrajame aukšte. Oro užuolaidos tiekios su gamykline valdymo automatika ir prijungtos prie pastato valdymo sistemos, iš kurios gali būti kontroliuojamos. Užuolaidos prie pastato valdymo sistemos jungtos „MODBUS RTU“ protokolu. Taip pat oro užuolaidos gali būti valdomos iš vietinio, kartu su užuolaida, komplektuojamo valdymo pultelio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Šalčio ir šilumos gamybos stotis</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Šilumos gamyba ir tiekimas apima W korpusui reikalingos šilumos ir šalčio gaminimą ir paskirstymą. Šalčio ir šilumos stotis įrengiama W korpuse esančioje techninėje patalpoje. Įrangos valdymui yra skirtas valdymo ir automatikos skydas VAS-SSM-2. Įrengtas vienas šilumos siurblys HP-1 dirbantis šildymo arba šaldymo režimu. Šilumos siurblio aušinimui naudojama aušyklė DC-2. Korpuso šildymui pereinamuoju laikotarpiu naudojamas šilumos siurblys HP-1. Lauko oro temperatūrai nukritus žemiau 0 °C šiluminė energija naudojama iš miesto šilumos tinklų (iš ŠP, esancio Y korpuso techninėje patalpoje). Šilumogrąža: HP-1 šilumos siurblys gali dirbti šildymo\šaldymo režimu, todėl pereinamuoju laikotarpiu pastatą bus galima šildyti naudojant šilumos siurblių ir nenaudojant miesto šilumos tinklų energijos. Kadangi vasaros metu reikės sausinti orą vėdinimo sistemose, todėl bus reikalingas oro pašildymas po gilaus vėsavimo. Atsiradus tokiam šilumos poreikiui vasaros metu HP-1 turės galimybę panaudoti atgaunamą |

**4 lentelė.** W korpuso ŠVOK sistemų veikimo logika (tęsinys)

šilumą nuo šalčio gamybos kompresorių. Tokiu būdu esant pikiniams šalčio poreikiams ir veikiant vėsinimo sistemoms, bus galimybė dalinai ar net pilnai padengti šilumos poreikius oro pašildymui po vėsinimo iš HP-1 šilumos atgavimo kontūro. Tokia šilumos siurblio HP-1 funkcija kelia įrangos efektyvumą.



19 pav. W korp. PVS vaizduojama ŠVOK sistemos funkcinė schema

**4 lentelė.** W korpuso ŠVOK sistemų veikimo logika (tęsinys)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Patalpų šildymas naudojant šilumos siurblių HP-1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Patalpų šildymas su HP-1 pereinamuoju laikotarpiu (lauko temperatūra nuo 10 °C iki 0 °C). Rotaciniai vožtuvai su elektrinėmis pavaromis CTV-2.3/CTV-2.4 ir CTV-2.2 permeta šilumnešio srautą į šilumos siurblio HP-1 sistemą. Vandens temperatūra 45/40 °C. Tuo atveju, kai tuo pat metu reikalingas ir patalpų vėsinimas, rotacinis vožtuvas CTV-2.1 su elektrine pavana permeta šaltnešio srautą į „free cooling“ šilumokaitio HEX-1 sistemą. |
| <b>Patalpų šildymas nuo CMŠT</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Patalpų šildymas nuo CMŠT žiemos laikotarpiu (lauko temperatūra nuo 0 °C iki -23 °C). Rotaciniai vožtuvai CTV-2.3/CTV-2.4 su elektrinėmis pavaromis permeta šilumnešio srautą į CMŠT sistemą. Vandens temperatūra 65/45 °C.                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>AHU šildymas oro sausinimo metu</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Oro šildymas AHU sistemose vasaros metu vykdomas, kai atsiranda poreikis pašildyti tiekiamą orą po gilaus oro atšaldymo – sausinimo. Veikiant HP-1 atidaromas rotacinis vožtuvas CTV-3.1 ir CTV-3.2 (40/32 °C), o kai TE-11 < 40 °C (po uždelsimo), tai rotacinis vožtuvas CTV-3.1 ir CTV-3.2 permeta šilumnešio srautą ir šiluma imama iš miesto tinklų.                                                                                       |
| <b>Patalpų vėsinimas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| aušykle. Patalpų vėsinimas galimas ir šildymo sezono metu per „free cooling“ HEX-1 šilumokaitį. Rotacinis vožtuvas CTV-1.3 nukreipia srautą į HEX-1.<br><br>Pastato vėsinimas numatomas per šilumos siurblių HP-1 ir aušyklę DC-1. Rotaciniai vožtuvai CTV-1.1 ir CTV-1.2, su elektrinėmis pavaromis, užtikrina srautą į aušyklę DC-1, vožtuvas CTV-1.3 uždaro šilumokaitį HEX-1.                                                               |
| <b>Oro kondicionavimas atriume</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Atriume suprojektuoti kanalinio tipo dvivamzdžiai / keturvamzdžiai ventiliatoriniai konvektoriai, montuojami virš pakabinamų lubų. Antro aukšto atriumo ventiliatoriniai konvektoriai valdomi iš VAS-SSM-2 automatikos skydo, trečio, ketvirto, penkto aukšto atriumų kasetiniai konvektoriai valdomi „Produal“ termostatais, kurie jungiami į pastato valdymo sistemą „Modbus RTU“ protokolu.                                                  |
| <b>Dūmų šalinimo sistema (toliau neanalizuojama)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Dūmų šalinimui iš koridoriaus pat. numatyta mechaninė dūmų šalinimo sistema DŠ-1. Gaisro metu dūmai šalinami virš stogo stoginiu dūmų šalinimo ventiliatoriumi DŠ-1 per šachtą, į kurią sujungti EI30 dūmų šalinimo vožtuvai (DŠV su elektrinėmis pavaromis). Dūmų vožtuvai sumontuoti angose 3, 4, 5 aukštų koridorių palubėje. Oro pritekėjimas numatomas per angas                                                                           |

**4 lentelė.** W korpuso ŠVOK sistemų veikimo logika (tęsinys)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| sienose sujungtas šachta iki stogo (su sklende su el. pavarą). Masinio susibūrimo patalpose su natūraliu apšvietimu bei atriumuose pagal gaisrinę užduotį, suprojektuoti lubose rankiniu būdu atidaromi stoglangiai.                                                                                                            |
| <b>Viršslėgio palaikymo sistema (toliau neanalizuojama)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Pastato laiptinėse suprojektuota viršslėgio palaikymo sistema gaisro metu. Gaisro metu atidaromas viršslėgio vožtuvas ir išduodamas paleidimo signalas ventiliatoriaus dažnio keitikliui, kuris atsižvelgdamas į slėgio daviklio (0–10 V) rodmenis ir reguliuodamas ventiliatoriaus greitį, palaiko 30 Pa viršslėgį laiptinėse. |

Nuotolinis duomenų nuskaitymas iš apskaitos prietaisų numatytas iš vandens, šilumos bei elektros skaitiklių. Duomenys nuskaityti į PVS „M-bus“ protokolu ir atvaizduojami lentelių / grafikų pavidalu.

### **2.3. Pastato PVS sistemos veikimo tyrimas**

Analitinis tyrimas buvo atliekamas remiantis sukaupta įrenginių parametrų istorija PVS.

Pasirinkto objekto centriniame sistemos valdiklyje registruojami istoriniai duomenys apie įrenginių darbą (įjungimą ir išjungimą, reguliavimo signalų pokyčius, jutiklių rodmenis), taip pat apie energijos ir vandens sąnaudas. Šiuos istorinius duomenis galima peržiūrėti paspaudus nuorodos mygtukus įrenginių apžvalgos lango apačioje, laukelyje „Istoriniai duomenys“. Duomenys yra sugrupuoti pagal pobūdį (temperatūros, pavarų reguliavimo signalai ir pan.). Paspaudus atitinkamą nuorodos mygtuką atsidaro langas, kuriame grafiškai atvaizduojamas registruojamų dydžių reikšmės pokytis bėgant laikui. Vienaime lange gali būti atvaizduota vienas ar keletas dydžių. Grafiko kairiame (kartais ir dešiniame, jei naudojamos dvi skirtingos duomenų skalės) apatiniame kampe paspaudus skirtuką „Series“ galima išskleisti legendą, kurioje nurodyta kokia spalva vaizduojamas koks dydis. Taip pat spragtelėjus įrašą legendoje galima paslėpti nereikalingą grafiką.

**Tyrime naudotos priemonės** yra „Schneider Electric“ „EcoStruxure™“ „Building Operation WebStation 2.0.4“ aplinka, iš kurios gauti duomenų masyvai. Duomenų apdorojimui naudota „MS Excel“ programa.

**Tyrimo apribojimai** – analizuojant objekte įdiegtos PVS kaupiamus duomenis nustatyti šios ŠVOK valdymo sistemos veikimo tyrimą ribojančios sąlygos:

- Tiriamojo objekto patalpose sumontuotų termostatų duomenys nėra perduodami į centrinę PVS naudotojui matomą duomenų sritį, kas apsunkina nuotolinę pastato būklės stebėseną. DI pritaikymo kontekste, termostatų duomenys yra esminė duomenų grupė leidžianti DI modelį treniruoti atsižvelgiant į konkrečių pastato zonų šildymo / vėsinimo ypatybes.

- Kaupiamų matavimų intervalai yra 15 minučių X, Y ir Z korpusuose ir 5 minutės W korpuse. Tokios trukmės laiko intervalai negeba tiksliai atspindėti esamų ŠVOK sistemų sprendimų operacijų (jeigu palygintume, tiriama grindinio šildymo pavara dvieigį reguliavimo vožtuvą atveria 50 % per 54 sekundes). Taip pat, didžiųjų duomenų kontekste, 5–15 minučių stebėsenos intervalai nėra pakankamai aukštos spartos (angl. *high-velocity data*), kad turimos informacijos pakaktų apmokyti realiu laiku dirbantį DI variklį.
- Kaupiamų duomenų saugojimo laikotarpiai svyruoja nuo 17 d. iki 2 metų. Reikalinga juos vienodinti ir ilginti, taip užtikrinant duomenų kokybę ir galimybę sujungti skirtingų sistemų duomenis laike į vieningą duomenų masę DI apmokyti.
- Tiriamojo objekto X, Y ir Z korpusuose nėra sumontuota korpusams atskirų šilumos suvartojimo skaitiklių, tad tiksli šių rodiklių stebėseną yra negalima. Norint tiriameame objekte panaudoti DI paremtus valdiklius šie duomenys turėtų būti renkami ir tiekiami DI modeliui.

Didžioji dalis W korpuse renkamų duomenų yra saugomi 4 savaites.



**20 pav.** X, Y ir Z korp. PVS sistemoje kaupiamų duomenų sritys

X, Y ir Z korpusų PVS kaupiami duomenys (žr. 21 pav.) pristatomi toliau:

#### Bendri:

Trijų parų lauko temperatūros vidurkis (°C) kaupiamas nuo 2017-12-15; lauko oro drėgmės kiekis (g/kg) kaupiamas nuo 2020-05-11 iki 2021-05-13; lauko oro rasos taškas (%) kaupiamas nuo 2020-08-28 iki 2021-05-14; lauko oro temperatūra (°C) kaupiama nuo 2021-01-01 iki 2021-05-14; santykinė lauko oro drėgmė (%) kaupiama nuo 2020-12-30 iki 2021-05-14.

#### Šild. patalpoms:

Tiekiamo šilumnešio temperatūra (°C) (vidinis kontūras) – nuo 2021-04-25 iki 2021-05-14; grįžtamo šilumnešio temperatūra (°C) – nuo 2021-04-18 iki 2021-05-14; grįžtamo šilumnešio temperatūra (°C) (miesto kontūras) – nuo 2021-04-24 iki 2021-05-14; šilumnešio pavaros atsidarymo duomenys (%) kaupiami nuo 2021-04-19 iki 2021-05-14; cirkuliacinio siurblio darbas (TRUE/FALSE) kaupiamas nuo 2017-12-15 iki 2021-05-14.

#### Šild. vėdinimui:

Tiekiamo šilumnešio temperatūra (°C) (vid. kontūras) – nuo 2021-04-26 iki 2021-05-14; grįžtamo šilumnešio temperatūra (°C) – nuo 2021-04-24 iki 2021-05-14; grįžtamo šilumnešio temperatūra (°C) (miesto kontūras) – nuo 2021-04-26 iki 2021-05-14; šilumnešio pavaros atsidarymo duomenys (%)

kaupiami nuo 2021-04-21 iki 2021-05-14; cirkuliacinio siurblio darbas (TRUE/FALSE) kaupiamas nuo 2020-05-25 iki 2021-03-22.

#### Vėsinimas:

Tiekiamo šaltnešio temperatūra (°C) – nuo 2021-04-25 iki 2021-05-14; grįžtamo šaltnešio temperatūra (°C) – nuo 2021-04-22 iki 2021-05-14; šaltnešio pavaros atsidarymo duomenys (%) kaupiami nuo 2021-04-21 iki 2021-05-14; maksimalus rasos taškas (°C) – nuo 2021-04-18 iki 2021-05-14; cirkuliacinio siurblio darbas (TRUE/FALSE) kaupiamas nuo 2017-12-15 iki 2021-05-14.

#### Šalčio mašina HP-1, Šalčio mašina HP-2 (*Čileris HP-1; Čileris HP-2*):

Nėra priėjimo prie duomenų (paspaudus ant srities, kaupiami duomenys neteikiami / nėra kaupiami).

#### Aušyklė:

Tiekiamo šaltnešio temperatūra (°C) – nuo 2021-04-28 iki 2021-05-14; grįžtamo šaltnešio temperatūra (°C) – nuo 2021-04-28 iki 2021-05-14; aušyklės našumo duomenys (%) kaupiami nuo 2021-04-22 iki 2021-05-14; cirkuliacinio siurblio atsakas (TRUE/FALSE) kaupiamas nuo 2018-05-21 iki 2021-05-14.

#### Ventkamos AHU-1 (X korpusas):

Lauko temperatūra rodmenys (°C) yra kaupiama 18 d.; tiekiamo oro temperatūra kaupiama 61 d.; šalinamo oro temperatūros duomenys kaupiami 53 d.; patalpos oro rasos taško duomenys kaupiami 37 d.; tiekiamo oro rasos taško temperatūros duomenys (°C) kaupiami 23 d.; užšalimo ribos temperatūra kaupiama 17 d.; apskaičiuota tiekimo temperatūra kaupiama metus; Control Hex trend (mėlyna spalva) kaupiama nuo 2020 m. rugpjūčio 16 d.; vėsinimo kalorifero pavaros atsidarymo duomenys kaupiami nuo 2020-08-18; šildymo kalorifero pavaros atsidarymo duomenys (%) kaupiami 17 d.; Run mode unit (žalia spalva) kaupiama 11 d.; tiekiamo oro ventiliatoriaus našumas (%) kaupiamas 46 d.; šalinamo oro ventiliatoriaus našumas (%) kaupiamas 61 d.; SFP Actual trend (tamsiai raudona spalva) nuo 2019-08-21; tiekiamo oro pusės slėgio rodmuo (Pa) nuo 2019-05-03; šalinamo oro pusės slėgio rodmuo (Pa) nuo 2020-09-14; tiekiamo oro debitas (m<sup>3</sup>/h) kaupiama 23 d.; šalinamo oro debitas (m<sup>3</sup>/h) kaupiama 19 d.; tiekiamo oro ventiliatoriaus sukuriamas slėgis (Pa) kaupiama 16 d.; šalinamo oro ventiliatoriaus sukuriamas slėgis (Pa) kaupiama 15 d.; maksimalus drėgmės lygis (%) ortakyje kauptas nuo 2018-04-10 iki 2019-06-12; drėgmės lygis (%) ortakyje (*set point*) kauptas nuo 2018-04-10 iki 2020-09-09; drėgmės lygis (%) patalpoje nuo 2021-03-21 iki 2021-05-14; drėgmės lygis (%) ortakyje nuo 2021-04-20 iki 2021-05-14. Y ir Z korpusuose informacija apie ventkamos duomenis saugoma analogiškai.

Priešgaisrinė automatika iš PVS nevaldoma. Sistemoje tik surenkami ir atvaizduojami duomenys apie įrenginių būklę, tad plačiau šiame darbe nėra nagrinėjama.

Taip pat PVS sistemoje yra integruota įrenginio būklės stebėjimo ir palaikymo sistema. Joje kaupiama informacija apie įrenginių darbo laiką, kas leidžia numatyti periodinės įrenginio apžiūros / keitimo datą.

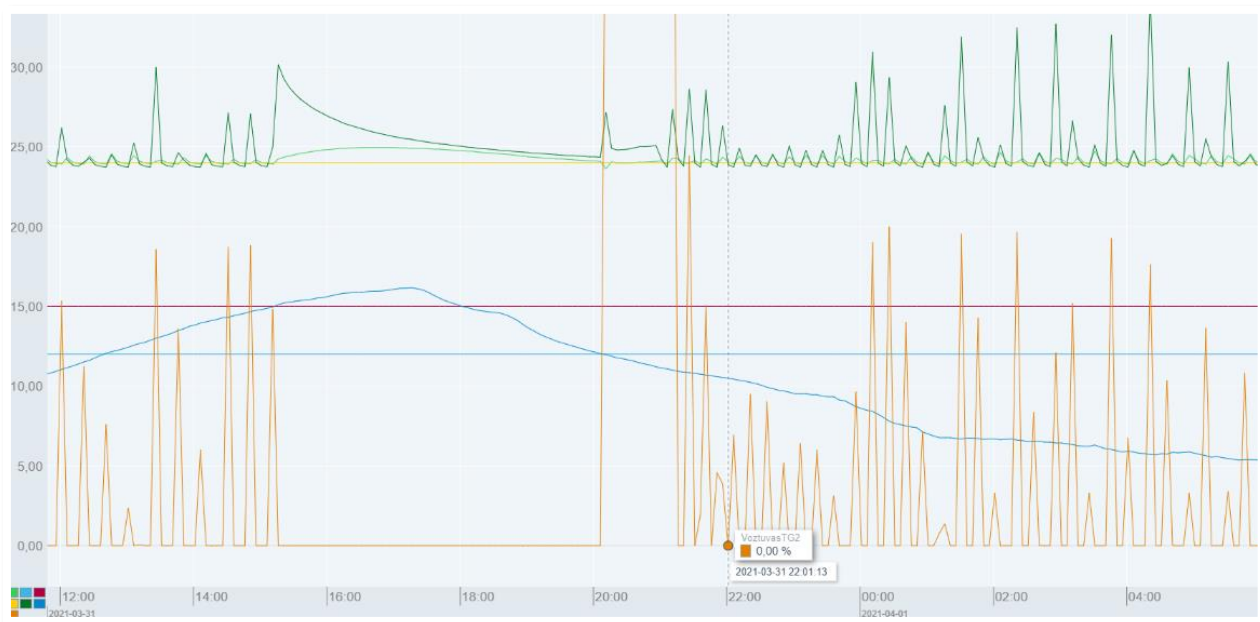
Tačiau šiuolaikinėse sistemose yra stebima ne vien laiko rodiklis, bet ir veikimą lemiantys / veikiantys parametrai – jutikliai vibracijai, detalių temperatūrai ir pan. Naudojant šią informaciją, AI varikliai geba identifikuoti / prevenciškai nuspėti, kada įrangos veikimas pasikeičia, ir informuoja numatytą personalą, kad stebimą detalę reikės keisti ar remontuoti artimiausiu metu. Kaip jau minėta literatūrinėje dalyje, toks priežiūros veikimo principas vadinamas nuspėjamąją priežiūra (angl. *predictive maintenance*).

Tiriamoje PVS sistemoje pranešama apie aliarmus, išsiunčiant elektroninius laiškus numatytiems priežiūros asmenims.

### 2.3.1. Atriumo zonos grindinio šildymo tyrimas

Nagrinęjant W korpuso atriumo patalpos grindinio šildymo grafikus, pastebėta grindų savybė akumuliuoti šilumą. Tyrimui atlikti pasirinktas laiko tarpas nuo kovo 28 d. iki balandžio 30 d. Per šį laikotarpį įvertintas grindinio šildymo darbas saulėtomis dienomis, suminis šilumos suvartojimas bei galimas sutaupymas sumažinant patalpos temperatūrą ne darbo metu.

Toliau aprašomas grafikas (žr. 21 pav.) ir supažindinama su grindinio šildymo valdymo principu.



21 pav. W korp. grindinio šildymo grafiko fragmentas

Kalbant apie grindinį šildymą, dabartinis numatytas valdymas veikia pagal užduotąjį tašką, vadinamą *set point*, kuris dirba pagal lauko oro temperatūrą (ryški mėlyna linija). Šiuo atveju,

užduotąjį tašką, kuris yra grindinio šildymo grįžtamos linijos šilumnešio 24 °C temperatūra, galima priimti kaip norimą patalpos temperatūrą – ji grafike matoma minimaliai kintanti šviesiai žalios spalvos kreivė. Tiesioginę patalpos ir lauko oro temperatūrų priklausomybę palaiko tiekiamo šilumnešio reguliavimas dviegiu vožtuvu su pavara. Oranžinės spalvos „spygliuota“ kreivė atspindi vožtuvo atsidarymą procentais. Iš grafiko matyti, jog ilgesnis „spyglis“ indikuoja, jog nustatyta grįžtamos linijos temperatūra vėsta ir norint ją palaikyti, reikalinga daugiau atidaryti vožtuvą, kad didesnis srautas būtų praleistas į sistemą, ir atitinkamai daugiau šilumos būtų perduodama į aplinką.

Fragmente matomas pereinamajam laikotarpiui (pvz. saulėtai pavasario dienos) būdingas grindinio šildymo sistemos išsijungimas. Dvi horizontalios linijos, rožinės ir šviesiai mėlynos spalvos, simbolizuoja lauko oro temperatūros ribines vertes – 12 °C nurodo, jog reikalinga įjungti patalpų šildymą, o 15 °C lauko temperatūra nurodo, jog grindinis šildymas turi būti išjungtas.

Trečias aspektas, kurį galima aptarti iš šio grafiko, tai patalpos, konkrečiai, grindų, inertiškumas – medžiagos savybė lėtai prisitaikyti prie naujų sąlygų. Maždaug nuo 15 val. iki 20 val. matome, kad tiekiamos linijos šilumnešio temperatūra mažėja. T. y. laiko tarpas, kada grindinio šildymo sistemoje stovintis šilumnešis vėsta, susilygina su aplinkos temperatūra. Taigi matome, kad išjungus grindinį šildymą, patalpos temperatūra išlieka apie 24 °C net iki penkių valandų.

Atsižvelgus į šią savybę, galima teigti, kad numatant būsimas lauko oro sąlygas (temperatūrą, saulėtas dienas / šiluminius pritekčius), šildymo sistema galėtų būti anksčiau išjungžiama. Tai leistų taupyti energiją, išlaikant mikroklimato komfortą darbuotojams.



**22 pav.** W korp. grindinio šildymo grafikas nuo kovo 28 d. iki balandžio 28 d.

Įvertinus dviegio vožtuvo modelį (tiesinė priklausomybė tarp vožtuvo ir pavaros atsidarymo) bei pavaros greitį (24 s/mm) buvo nustatyta, jog per devynių saulėtų dienų laikotarpį, kada 94 m<sup>2</sup> atriumo zonoje grindinis šildymas būtų išjungiamas 3–4 val. anksčiau (imituojant dirbtinio intelekto modeliu grįstos grindinio šildymo sistemos veiklą), galima sutaupyti apie 0,80 kWh šilumos (6,40

%).

Taip pat, patalpoje numatant projekcinę 20 °C temperatūrą vietoje palaikomos 24 °C temperatūros, per nagrinėjamo mėnesio laikotarpį galima sutaupyti 2,10 kWh arba 16,70 % šilumos.

Atsižvelgus į pastato užimtumą, pvz. ne darbo metu nuo 22 val. iki 3 val., palaikomą temperatūrą sumažinus nuo 20 °C iki 18 °C, dar būtų sutaupoma 0,36 kWh – 2,88 % šiluminės energijos.

### **2.3.2. Pastato valdymo sistemos stebimų duomenų palyginimas su faktinio suvartojimo duomenimis**

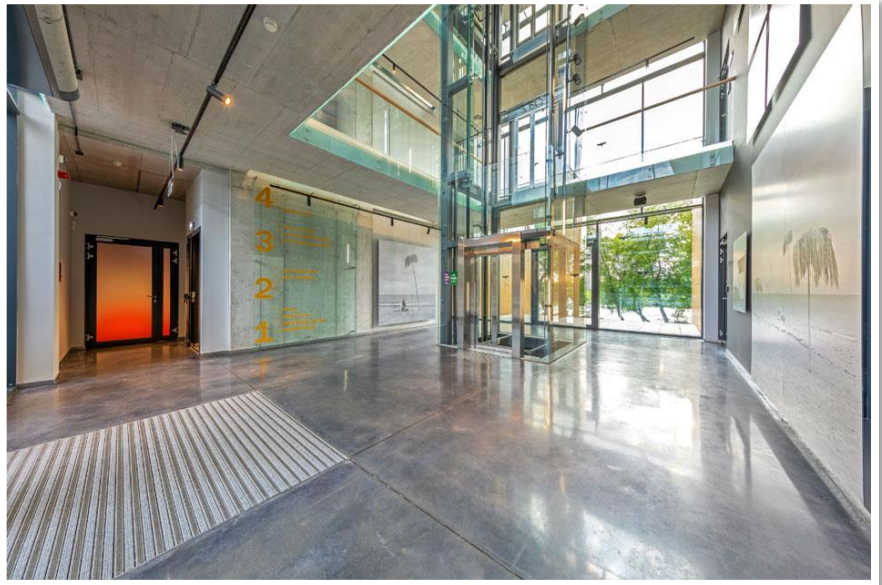
Faktinis, pagal PVS duomenis, W korpuso suvartotas šiluminės energijos kiekis per nagrinėjamą balandžio mėnesį sudaro 10 165 kWh. Šiluma buvo naudota radiatorinei šildymo sistemai, grindinio šildymo sistemai, oro užuolaidoms, ventiliatoriniams konvektoriams bei AHU šildymo kaloriferiams.

Atsižvelgus į projekcinį galios poreikį W korpusui, t. y. 330,7 kW, ir atriumui numatytus 5 kW, gaunama, jog atriumo aprūpinimas šiluma sudaro tik 1,56 % nuo bendro šilumos poreikio. Pasitikrinimui įvertinama ir plotai – W korpuso bendras plotas sudaro 5584,5 m<sup>2</sup> (žr. 5 lentelė), o nagrinėjama atriumo dalis – 94 m<sup>2</sup> arba 1,68 %. Gauti santykiai yra labai glaudūs, o skirtumas tarp jų grindžiamas skirtingomis projekcinėmis zonų / sistemų temperatūromis. Tad toliau analizėje atriumo zonos grindinio šildymo energijos suvartojimą laikysime 1,63 % nuo viso W korpuso suvartotos energijos kiekio, kas sudaro 165,7 kWh.

**6 lentelė.** Tiriama pastato W korpuso plotas

| Aukštas           | Plotas, m <sup>2</sup> |
|-------------------|------------------------|
| 2                 | 1180,3                 |
| 3                 | 1424,0                 |
| 4                 | 1445,6                 |
| 5                 | 1472,7                 |
| Iš viso W korpuso | 5584,5                 |

Apskaičiuojant suvartotos šilumos kiekį, remiantis esamos PVS kaupiamais duomenimis, gaunamas 12,2 kartų mažesnis dydis – 12,57 kWh. Taip nutinka dėl per didelio duomenų saugojimo intervalo, t. y. dėl per mažo matavimų dažnio. Priimama išvada, jog dabartinei PVS dirbant su integruotu DI varikliu dėl per mažo duomenų-pavyzdžių kiekio būtų neužtikrinamas maksimalus grindinio šildymo optimizavimas, nes sistema būtų per mažai susipažinus su visais galimais darbo variantais / sąlygomis.



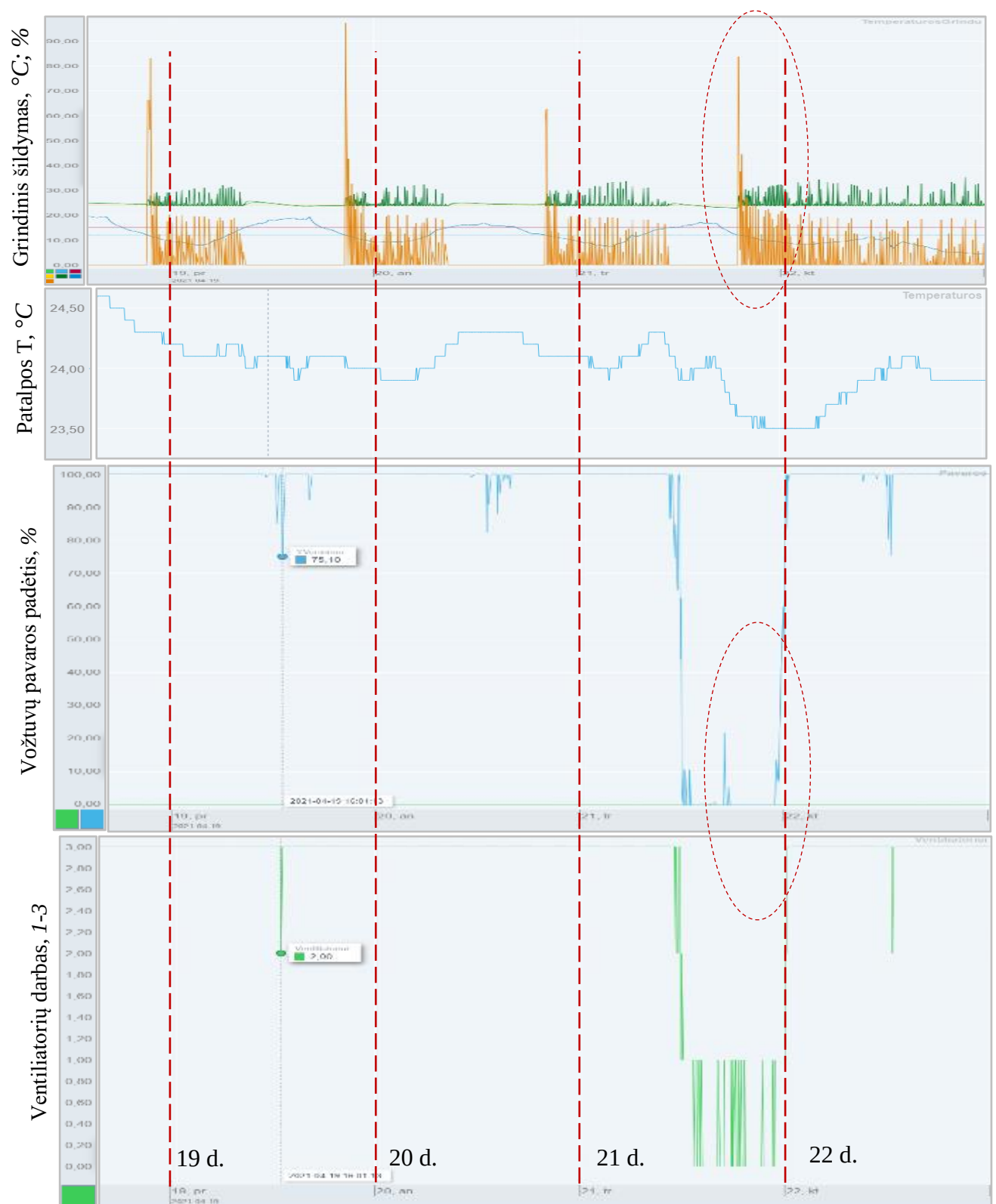
**23 pav.** W korpuso tiriamo atriumo zona

### 2.3.3. Atriumo zonoje dirbančių konvektorių tyrimas

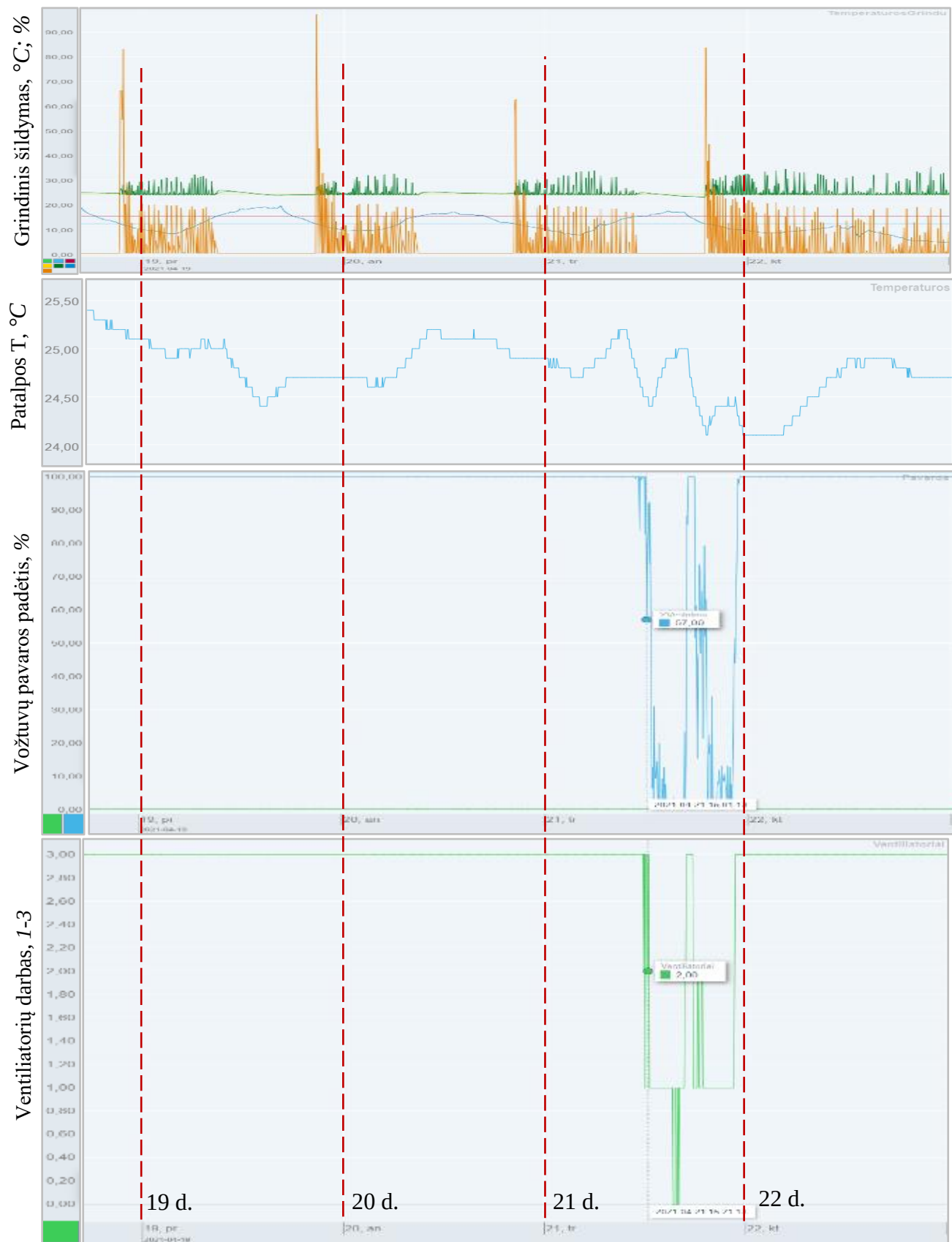
Iliustracijos žemiau (žr. 24–27 pav.) reprezentuoja atriumo zonoje esančių ventiliatorinių konvektorių darbą pavasario saulėtomis dienomis. Grafikuose balandžio 19–22 d. grindinio šildymo sistemos veikimas gretinamas su atitinkamų aukštų oro temperatūromis, ventiliatorinių konvektorių (šildymo / šaldymo) pavarų darbu bei konvektorių ventiliatorių darbu.



24 pav. Konvektorių darbas 2 aukšte



25 pav. Konvektorių darbas 3 aukšte



26 pav. Konvektorių darbas 4 aukšte



**27 pav.** Konvektorių darbas 5 aukšte

24 paveiksle pateikta 2 aukšto, 25 – 3 aukšto, 26 – 4 ir 27 – 5 aukšto konvektorių darbo charakteristikos. Yra žinoma, kad:

- 2 aukšto PVS nustatyta temperatūra yra 21,0 °C;
- 3 aukšto PVS nustatyta temperatūra yra 21,0 °C, termostate nustatyta – 22,5 °C;
- 4 aukšto PVS nustatyta temperatūra yra 21,0 °C, termostate nustatyta – 23,0 °C;
- 5 aukšto PVS nustatyta temperatūra yra 21,0 °C, termostate nustatyta – 23,5 °C.

Grafikai iliustruoja, jog nėra pasiekiamos ir išlaikomos nustatytos temperatūros (netenkinama nei PVS, nei termostate numatyta reikšmė). Tai ypač matoma 5 aukšte, kur patalpos oro temperatūra siekia 27–28 °C ir viršija nustatytą temperatūrą termostate iki 4,5 °C.

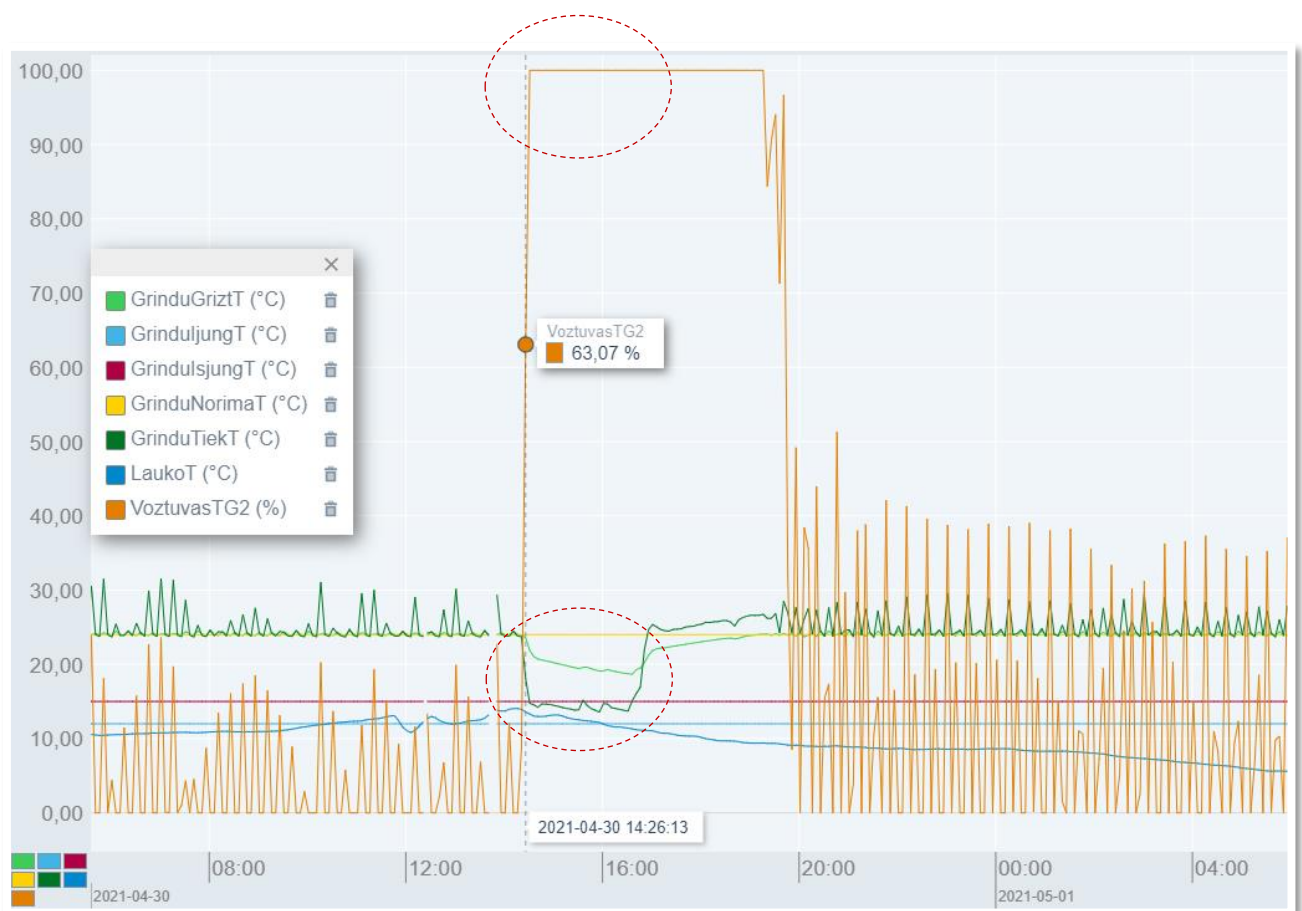
Verta pažymėti, jog 3–4 aukštuose šaldymo pavaros veikimas vaizduojamas atvirkščias – 100 % pavaros padėtis fiksuojama, kai vožtuvas yra pilnai uždaras, o 0 % pavaros padėtis – kada vožtuvas

pilnai atdaras. Šiuose aukštuose analogiškai vaizduojama ir ventiliatorių greičiai – 3 padėtis (ventiliatorius išjungtas), 2 – (minimalus greitis), 1 – (vidutinis greitis) ir 0 – (maksimalus greitis). Norint papildyti esamą PVS su dirbtinio intelekto modeliu, būtų reikalinga šiuos neatitikimus pašalinti.

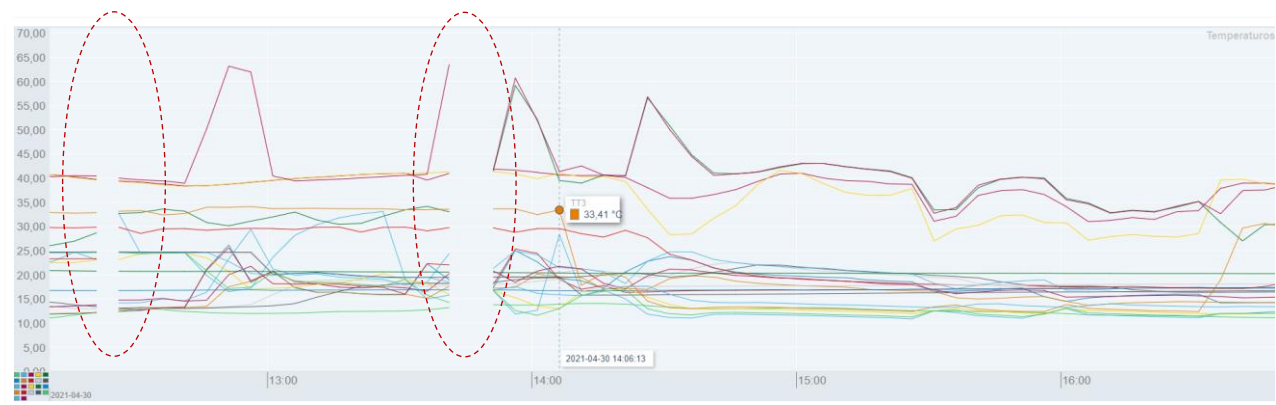
Iš vožtuvų pavarų padėties ir ventiliatorių darbo grafikų matyti, kad 2 aukšte ventiliatorinis konvektorius dirba įjungimo / išjungimo režimu, ir pirmoje paros dalyje recirkuliuoja orą. Ventiliatoriniai konvektoriai 3 ir 4 aukštuose dirba trimis greičiais ir oro nerekuliuoja – dirba, tik šaltnešiui / šilumnešiui tekant per įrenginio kaloriferius. Žiūrint į 5 aukšte (žr. 27 pav.) grafikus, tikėtina, kad ventiliatoriaus 3 padėtis taip pat indikuoja, jog konvektorius nedirba.

Atsižvelgiant į grindinio šildymo sistemos darbo grafikus bei vėsinimo vožtuvo darbą (žr. 25 pav.), matyti, kad ta pati erdvė yra ir šildoma ir vėsinama.

#### 2.3.4. Pastato valdymo sistemos klaidos šildymo, vėdinimo ir vėsinimo (ŠVOK) sistemose – W korpusas

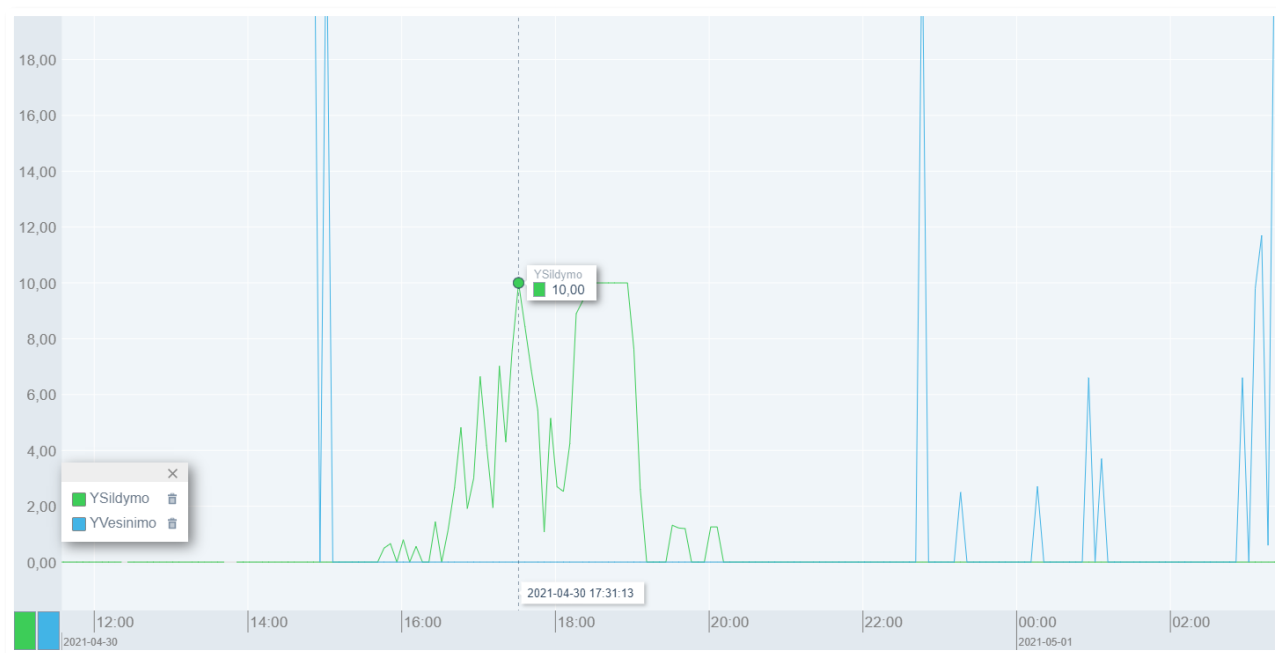


28 pav. Grindinio šildymo sistemos sutrikimas



**29 pav.** Duomenų rinkimo / stebėjimo sutrikimas

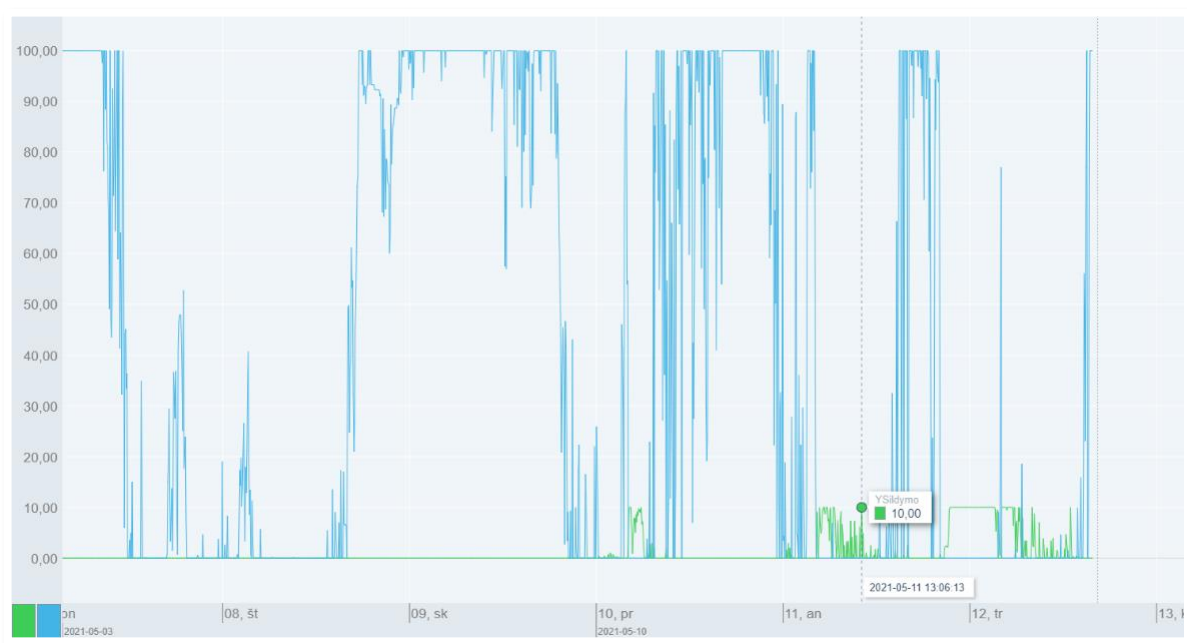
Analizuojamame fragmente (žr. 28 pav.) matomas tiekiamo šilumnešio temperatūros sumažėjimas apie 9 °C, nors vožtuvo pavara atidaryta 100 proc. Taip nutinka, nes šilumos stotyje yra sutrikęs šilumnešio tiekimas. Kitoje iliustracijoje matoma, jog paryškintose zonose duomenys nekaupiti, kas, galimai, indikuoja elektros tiekimo sutrikimus. PVS su integruotu DI modeliu, remdamasi praeities duomenimis ir atliekamais algoritminiais skaičiavimais, galėtų numanyti „prarastų“ dydžių vertes.



**30 pav.** Šildymo ir vėsinimo vožtuvų pavarų darbas balandžio 30 d.

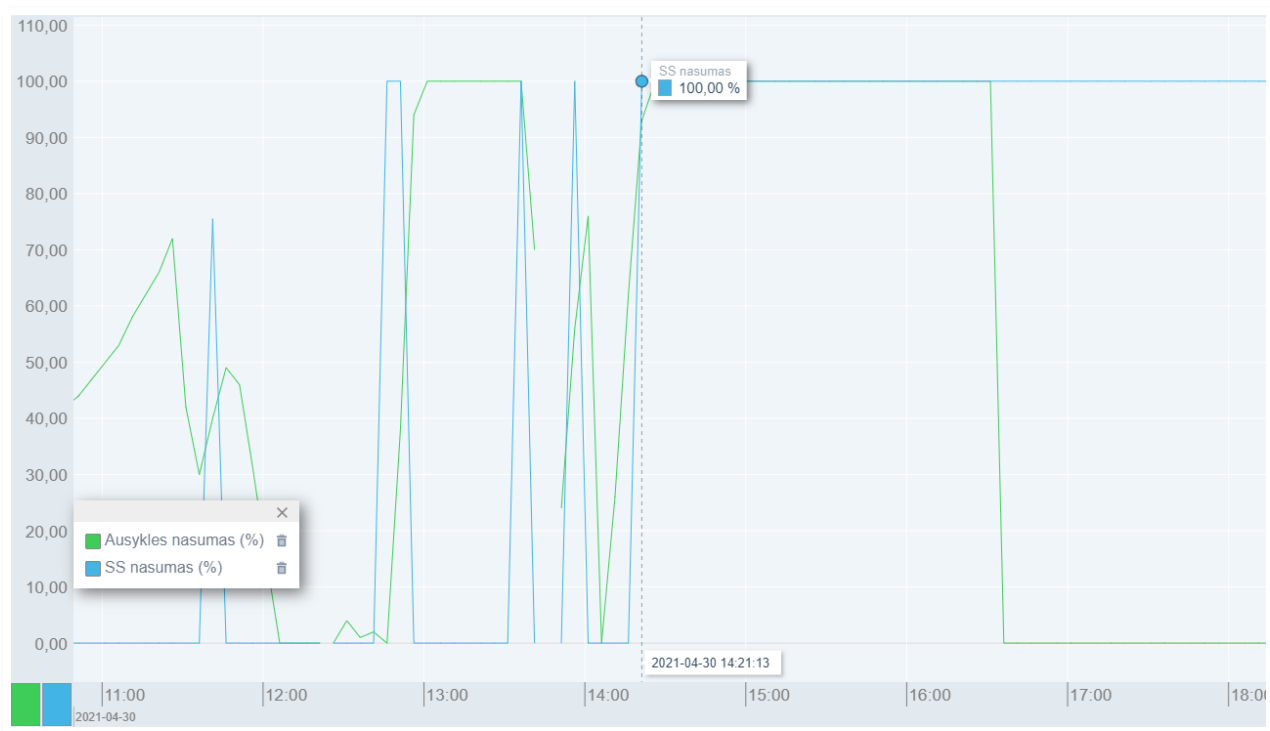


**31 pav.** 3 aukšto atriumo dalies PVS nustatyta, termostate nustatyta ir matuojama temperatūros

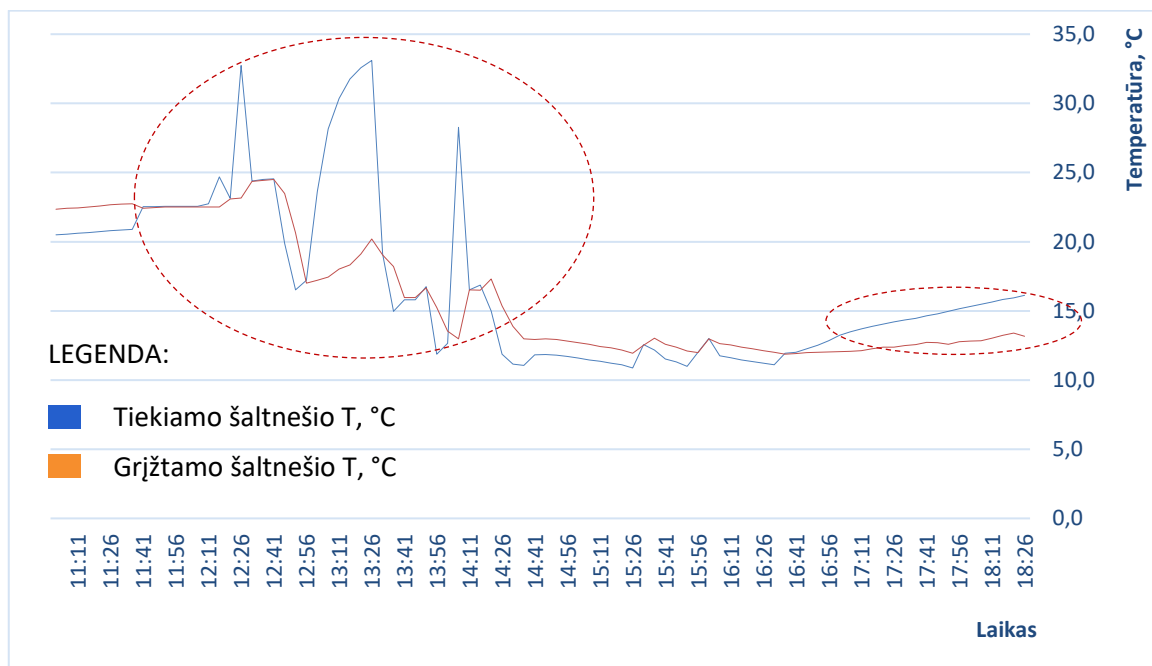


**32 pav.** Šildymo ir vėsinimo vožtuvų pavarų darbas gegužės 8–12 d.

Grafikas (žr. 30 pav.) demonstruoja 3 aukšte esančio konvektoriaus vėsinimo ir šildymo pavarų darbus balandžio 30 d. Žalia kreivė vaizduoja šildymo pavaros veikimą, nors žinoma, kad patalpos temperatūra buvo pakankama ir viršijusi tiek nustatytą termostate, tiek PVS sistemoje temperatūrą (žr. 31 pav.). Taigi, nuo maždaug 16 iki 20 val. veikęs šildymas buvo perteklinis. Įdiegus DI į valdymo sistemą, neefektyvaus energijos vartojimo būtų išvengta. 33 paveikslas papildo ankščiau aptartus grafikus (žr. 25–28 pav.). Stebint ilgesnėje perspektyvoje, besikeičiantis šildymo / šaldymo vožtuvų darbas matomas ir gegužės mėnesį.



**33 pav.** Šilumos siurblio ir aušyklės darbo sutrikimai



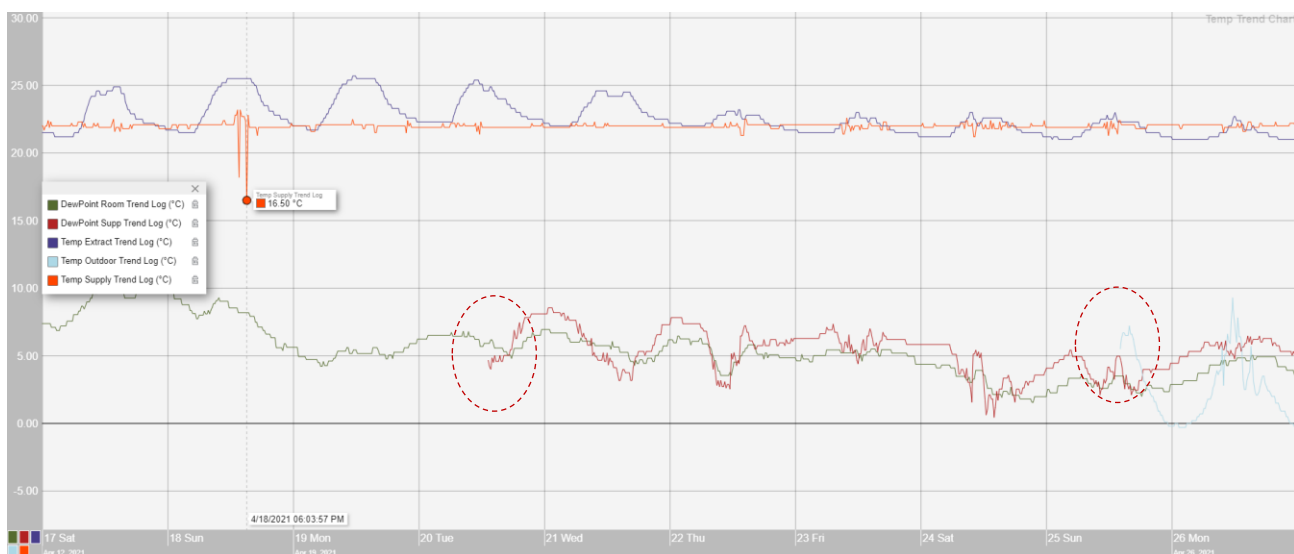
**34 pav.** Šaltnešių temperatūrų palyginimas

33 paveiksle pateiktos šilumos siurblio ir aušyklės darbo kreivės, 34 grafike – laiko atžvilgiu lygiagretus tiekiamo ir grįžtamo šaltnešio į akumuliacinę talpą temperatūrų kitimas. Tam tikru metu matoma, kad tiekiamas šaltnešis yra šiltesnis, nei grįžtamas, kas prieštarauja vėsinimo sistemos veikimo logikai. Sistema, galimai, pradėjo dirbti šildymo režimu. Tai nutinka, kada šilumos siurblių darbo logika yra numatoma pagal lauko oro temperatūrą. Pereinamaisiais laikotarpiais, kada, pvz., miesto centralizuotas šildymas jau yra išjungtas, tačiau lauko oras yra kaitus – vėsus / saulėtas,

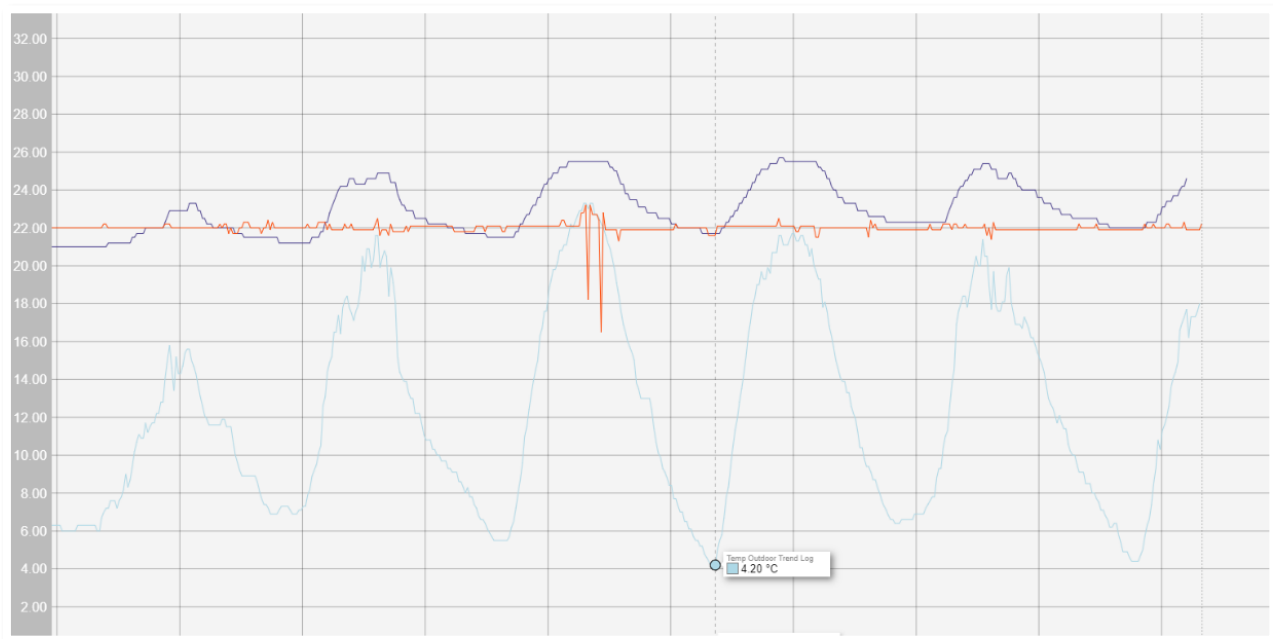
šilumos siurblys nesupranta, kaip reaguoti į lauko sąlygas ir priima sprendimą dirbti šildymo režimu.

Įdiegus dirbtinio intelekto modelį į PVS sistemą, ir iš sukauptų istorinių duomenų pereinamaisiais (pavasario, rudens) laikotarpiais apmokius *teisingai* dirbti ŠVOK sistemą būtų išvengta analogiško pobūdžio klaidų ir pasiektas efektyvus įrenginio darbas.

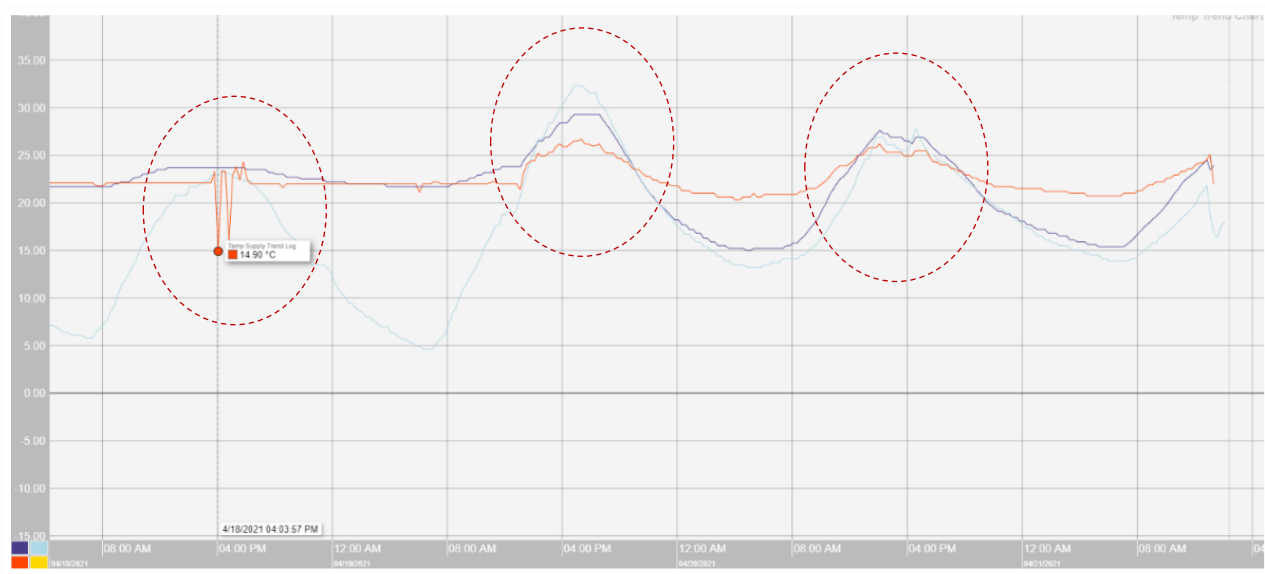
### 2.3.5. Pastato valdymo sistemos klaidos šildymo, vėdinimo ir vėsinimo sistemose – X, Y, Z korpusas



35 pav. Nevienodas vėdinimo sistemos parametrų PVS stebėjimas



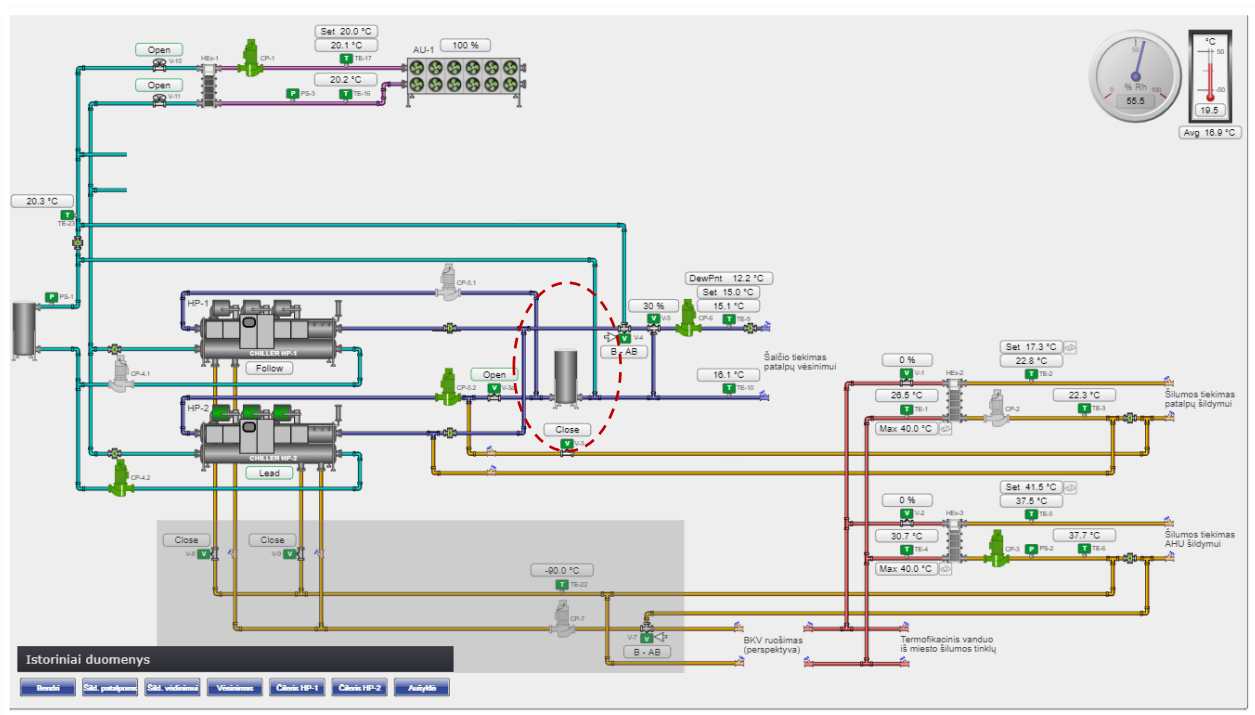
36 pav. AHU-1 vėdinimo sistemos parametrai



**37 pav.** Neefektyvus AHU-1 vėdinimo sistemos darbas

35–37 pav. Pateikiami vėdinimo sistemos darbo grafikai. 35 paveikslas demonstruoja skyriaus pradžioje pristatytą nevienodą stebimų kintamųjų parametrų kaupimą. Raudona punktyrine linija apvestos vietos simbolizuoja, nuo kur prasideda lauko temperatūros ir rasos taško duomenų kaupimas. 37 paveikslas iliustruoja Z korpuso ventkamos AHU-1 komforto sąlygų neužtikrinantį darbą – tiekiamas neatvėsintas oras. Remiantis 3 lentelėje (X, Y ir Z korpusų vėdinimo sistemų veikimo logika) aprašytais vėdinimo sistemos sąlygomis – kad valdiklis pagal lauko oro temperatūros jutiklio matavimą turi palaikyti nustatytą tiekiamo oro temperatūrą (22 °C) valdydamas šilumos reguliavimo vožtuvą, rekuperacijos įrenginį ir šaltio mašiną DX, galima daryti prielaidą, jog ventkamos vėsinimo kaloriferis dirba netinkamai, nes tiekiamo į patalpas oro temperatūra netenkina nustatytosios vertės ir siekė 25–26 °C.

Pastate esantiems žmonėms buvo neužtikrinama komfortiška aplinka. Taigi, ir vėdinimo sistemoje įdiegus DI grįstą valdymą, tokių situacijų būtų išvengta.



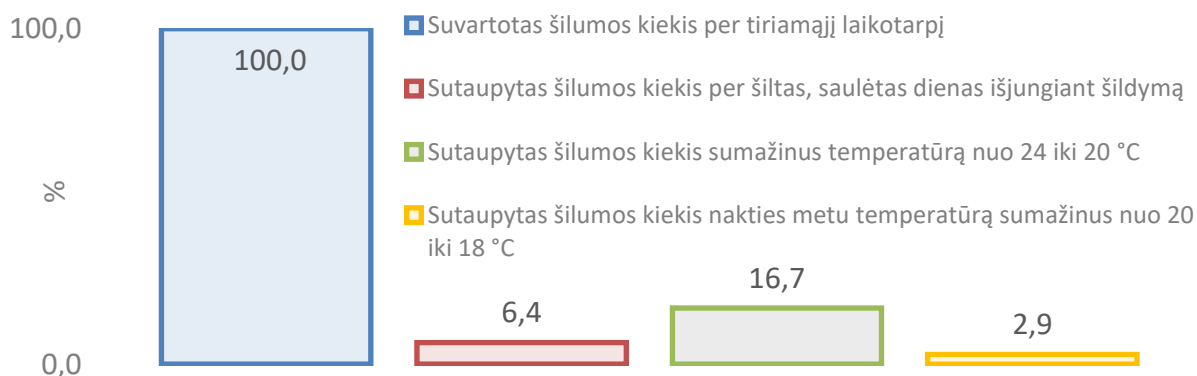
38 pav. X, Y ir Z kop. PVS funkcinės schemos atvaizdavimo netikslumai

PVS sistemoje matoma ir ŠVOK sistemos atvaizdavimo techninė klaida. Schemoje (žr. 38 pav.) šaltnešio / šilumnešio akumuliacinė talpa vaizduojama neteisingai: talpa turėtų būti rodoma ant abiejų, tiek tiekiamo, tiek grįžtamo srauto linijų.

## 2.4. Rezultatai

Tiriamajoje dalyje buvo analizuota pasirinkto pastato esama PVS. Buvo supažindinta su objekte įrengtos ŠVOK sistemos valdymo ypatumais.

Pastato PVS sistemos veikimo tyrimo metu buvo įvertintas atriumo zonos grindinio šildymo darbas, jo optimizavimas ir galimas pritaikymas darbui su DI modeliu. Gauti rezultatai (žr. 39 pav.) iliustruoja, jog optimizavus grindinio šildymo veikimo grafiką bei pritaikius dirbtinio intelekto modelį, būtų galima sutaupyti iki 26 % šiluminės energijos.



39 pav. Galimi sutaupymai optimizavus grindinio šildymo darbą W korpuse

Taip pat buvo analizuojamas atriumo zonoje dirbančių konvektorių darbas, bendrosios pastato valdymo sistemos klaidos šildymo, vėdinimo ir vėsinimo (ŠVOK) sistemose – W korpusas bei X, Y, Z korpusuose. Nustatytas neefektyvus konvektorių pavarų veikimas, šilumos siurblio valdymas, AHU-1 ventkamos vėsinimo kalorifero darbas, ŠVOK sistemos atvaizdavimo PVS netikslumai.

Taigi, papildant objekte įdiegtą PVS sistemą DI integruotu valdymo modeliu, būtų galima pasiekti efektyvesnį įrangos veikimą, užtikrinti energijos taupymą bei suteikti didesnę komfortą žmonėms.

## IŠVADOS

1. Tradicinės PVS kontroliuojančios ŠVOK sistemos remiasi PID valdiklio logika, kuri veikdama naudoja vienintelio stebimo paramentro reikšmę ir pateikia valdymo signalą, koreguojantį ŠVOK veikimą, ištaisantį rodiklio vertę po nukrypimo fakto. Šių dienų kontekste, tai gana lėto atsako modelis, kuris nebėra optimalus ŠVOK sistemose ir sukelia svyravimų efektą. Taigi reguliuojant vien tik pagal PID modelį, neįmanoma itin tiksliai nuspėti būsimų oro sąlygų pokyčių, dėl ko patiriama energijos nuostolių, pvz., patalpos perkaitinamos, t. y. pereinamuoju laikotarpiu ŠVOK valdiklio sprendimai yra neefektyvūs.
2. Dėl sparčios skaičiavimo įrangos technologijų raidos, atsirado galimybė ŠVOK valdančiose PVS naudoti DI variklius. Dėl platesnio įrenginių interneto jutiklių ir valdiklių pasirinkimo kaupti didesnius duomenų kiekius, gebančius padengti DI mokymosi poreikį. Taip pat nuolat pinganti skaičiavimo galia debesijos paslaugų platformose sudaro sąlygas greitai apdoroti nenutrūkstamai keliaujančius iš pastate įrengtų jutiklių tinklo didžiuosius duomenis.
3. Tyrimo metu identifikuota, kad ne visa ŠVOK sistemos įranga yra susieta su PVS, duomenys kaupiami nevienodais intervalais ir saugomi ne tokį pat laikotarpį. Duomenų fiksavimo intervalai platūs ir nesuteikia galimybės sistemą stebėti realiuoju laiku. Pastebėtos ŠVOK sistemos veikimo klaidos būdingos PID valdymo modeliui – stebimi paviršiai.
4. Įvertinti tiriamojo objekto pasirinktos zonos galimi energijos sutaupymai – pakoregavus nustatytąsias vertes ir simuliacijos principu panaudojus DI, remiantis atliktais skaičiavimais, galima sutaupyti iki 26 % energijos pasirinkto objekto grindinio šildymo sistemoje.
5. Identifikuotos sritys, kuriose būtų galima pritaikyti DI valdiklius, – pastato stebėsenos ir gedimų nustatymo prognozavimas, pastato ŠVOK valdymas, atsižvelgiant į pastato apkrovimą, numatant optimalius šilumos, vėsos poreikius, tiekiamo oro kiekius ir pan. Literatūroje pateikiama, kad ŠVOK sistemų eksploatacijai pritaikius dirbtinį intelektą, galima sutaupyti iki 44 % energijos.

Tolimesni tyrimai galėtų nagrinėti elektros energiją generuojančios ir šilumą atspindinčios plėvelės pritaikymą analizuoto objekto fasado stiklinėms atitvaroms.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Ahmad, M. W., Mourshed, M., Yuce, B., Rezgui, Y. (2016). Computational intelligence techniques for HVAC systems: A review. *BUILD SIMUL*, Vol 9: 359–398. DOI 10.1007/s12273-016-0285-4
2. Alamin, Y. I., Alvarez, J. D., Castilla, M. M., Ruano, A. (2018). An Artificial Neural Network (ANN) model to predict the electric load profile for an HVAC system. *IFAC- PapersOnLine*, Vol 51, Issue 10, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.06.231>
3. BACnet – The New Standard Protocol. (n. d.). Prieiga per internetą: <http://www.bacnet.org/Bibliography/EC-9-97/EC-9-97.html>
4. Building Management System (BMS) Protocols Explained. (2011). Prieiga per internetą: <https://singh360.com/uncategorized/bms-protocols/>
5. Cheng, C.-C., Lee, D. (2019). Artificial Intelligence-Assisted Heating Ventilation and Air Conditioning Control and the Unmet Demand for Sensors: Part 1. Problem Formulation and the Hypothesis. *Sensor*, 19(5), 1131 (13–24), <https://doi.org/10.3390/s19051131>
6. Čiuprinskienė, J., Čiuprinskas, K. ir Motuzienė, V. (2019). Šildymas, vėdinimas, oro kondicionavimas. Teorija ir praktika. Vilnius: UAB „Super namai“.
7. Dahlberg, E., Mineur, M., Shoravi, L., Swartling, H. (2020). Replacing Setpoint Control with Machine Learning. Model Predictive Control Using Artificial Neural Networks. Prieiga per internetą: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1439659/FULLTEXT01.pdf>
8. Ellis, M.W., Mathews, E.H. (2002). Needs and trends in building and HVAC system design tools. *Building and Environment*, 461–470. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00040-3)
9. Europos Parlamento Ir Tarybos Direktyva 2010/31/ES (2021). 2010 m. gegužės 19 d. dėl pastatų energinio naudingumo. OJ L 153, 18.6.2010, p. 13–35. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=celex%3A32010L0031>
10. Galataud, A. (2021). Airboxlab Technical Blog: HVAC processes control: can AI help? Prieiga per internetą: [https://airboxlab.github.io/hvac/control/ai/reinforcement\\_learning/2021/01/24/smart\\_control.html](https://airboxlab.github.io/hvac/control/ai/reinforcement_learning/2021/01/24/smart_control.html)
11. Guide to Open Protocols in Building Automation. (2015). Schneider Electric. GDE-OPEN\_PROTOCOL-A4.EN.11.2015.v2. Prieiga per internetą: [https://blog.se.com/wp-content/uploads/2015/11/SE-Protocols-Guide\\_A4\\_v21.pdf](https://blog.se.com/wp-content/uploads/2015/11/SE-Protocols-Guide_A4_v21.pdf)
12. He, M., Cai, W.-J., Li, S.-Y. (2005). Multiple fuzzy model-based temperature predictive control for HVAC systems. *Information Sciences*, 161–162. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2004.02.016>

13. Introduction to the key terms associated with PID Temperature Control. (n. d.). Prieiga per internetą: <https://www.eurotherm.com/temperature-control/pid-control-made-easy/>
14. Jiang, Q., Chen, J., Hou, J., Liu, Y. (2018). Research on building energy management in HVAC control system for university library. *Energy Procedia*, Vol 152, 1164–1169. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.152>
15. Jiang, P.; Ma, X. (2016). A hybrid forecasting approach applied in the electrical power system based on data preprocessing, optimization and artificial intelligence algorithms. *Appl. Math. Model.*, 40, 10631–10649.
16. Wei, T.; Wang, Y.; Zhu, Q. (2017, birželis). Deep Reinforcement Learning for Building HVAC Control. In *Proceedings of the 2017 54th ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)*, Austin, TX, USA, 18–22; 1–6.
17. Wang, Y.; Velswamy, K.; Huang, B. (2017). A long-short term memory recurrent neural network based reinforcement learning controller for office heating ventilation and air conditioning systems. *Processes*, 5, 1–18.
18. González-Briones, A.; Prieto, J.; Prieta, F.D.L.; Herrera-Viedma, E.; Corchado, J.M. (2018). Energy optimization using a case-based reasoning strategy. *Sensors*, 18, 865.
19. Khalid, R., Javaid, N., Rahim, M. H., Aslam, S., Sher, A. (2018). Fuzzy energy management controller and scheduler for smart homes. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, Vol 21, 108–110. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.11.010>
20. Lorinc, J. (2019). Smart buildings: how AI is slashing heating and cooling bills. *Corporate knights*. Spring 2019 Issue. Prieiga per internetą: <https://www.corporateknights.com/channels/built-environment/smart-buildings-ai-heating-cooling-15561849/>
21. PID Controller – Working and Tuning Methods. (2015). Prieiga per internetą: <https://www.electronicshub.org/pid-controller-working-and-tuning-methods/>
22. PID controller. (2021). Prieiga per internetą: [https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)
23. PID reguliatoriaus schema. (2011). Prieiga per internetą: [https://lt.wikipedia.org/wiki/PID\\_reguliatorius#/media/Vaizdas:PID\\_en.svg](https://lt.wikipedia.org/wiki/PID_reguliatorius#/media/Vaizdas:PID_en.svg)
24. Piper J. (2009). HVAC Maintenance and Energy Savings. *Building operating management*. Prieiga per internetą: <https://www.facilitiesnet.com/hvac/article/HVAC-Maintenance-and-Energy-Savings--10680>
25. Salakij, S.; Yu, N.; Paolucci, S.; Antsaklis, P. (2016). Model-Based Predictive Control for building energy management. I: Energy modeling and optimal control. *Energy Build.*, 133, 345–358
26. Shaikh, P.H.; Nor, N.B.M.; Nallagownden, P.; Elamvazuthi, I.; Ibrahim, T. (2016). Intelligent

- multi-objective control and management for smart energy efficient buildings. *Electr. Power Energy Syst.*, 74, 403–409.
27. STR 2.09.02:2005 „ŠILDYMAS, VĖDINIMAS IR ORO KONDICIONAVIMAS“. (2015).  
Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.257930/asr>
  28. The Future of HVAC Lies in AI and IoT. (2018). Senseware. Prieiga per internetą:  
<https://www.iotforall.com/future-hvac-ai-iot>
  29. Ulpiani G., Borgognoni M., Romagnoli A., di Perna. (2016). Comparing the performance of on/off, PID and fuzzy controllers applied to the heating system of an energy-efficient building. *Energy and Buildings*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.027>
  30. Windham A, Treado, S. (2016). A review of multi-agent systems concepts and research related to building HVAC control. *Science and Technology for the Built Environment*, Vol. 22, 53. <https://doi.org/10.1080/23744731.2015.1074851>
  31. World Economic Forum, Kearney, W. E. (2017 m., kovas). Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation. REF 110517 – case 00030896.  
Prieiga per internetą:  
[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_White\\_Paper\\_Technology\\_Innovation\\_Future\\_of\\_Production\\_2017.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf)
  32. Zyga, L. (2009). General Electric Plans Net-Zero Energy Home by 2015. Prieiga per internetą:  
<https://phys.org/news/2009-07-electric-net-zero-energy-home.html>