



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Vidmantas Šatas

**AUTOMATINIO VALDYMO ĮTAKOS ELEKTROS ENERGIJOS
SĄNAUDOMS VĖDINIMO SISTEMOSE TYRIMAS
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AUTOMATIC CONTROL ON
ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION IN VENTILATION SYSTEMS**

Baigiamasis magistro darbas

Elektros energetikos sistemų inžinerijos programa, valstybinis kodas 6211EX049

Elektros energetikos technologijų specializacija

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2019

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėja

(parašas)

doc. dr. Sonata Tolvaišienė

2019 m. _____ mėn. ____ d.

Vidmantas Šatas

**AUTOMATINIO VALDYMO ĮTAKOS ELEKTROS ENERGIJOS
SĄNAUDOMS VĖDINIMO SISTEMOSE TYRIMAS**
**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AUTOMATIC CONTROL ON
ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION IN VENTILATION SYSTEMS**

Baigiamasis magistro darbas

Elektros energetikos sistemų inžinerijos programa, valstybinis kodas 6211EX049

Elektros energetikos technologijų specializacija

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Sonata Tolvaišienė

(mokslinis vardas ir laipsnis, vardas, pavardė)

(parašas)

(data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. dr. Anželika Gaidienė

(mokslinis vardas ir laipsnis, vardas, pavardė)

(parašas)

(data)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Elektros energetikos sistemų inžinerijos studijų programa

Valstybinis kodas 6211EX049

Elektros energetikos sistemų specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėja

(Parašas)

doc. dr. S. Tolvaišienė

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.

Vilnius

Studentui **Vidmantui Šatui**

Baigiamojo darbo tema:

Automatinio valdymo įtakos elektros energijos sąnaudoms vėdinimo sistemose tyrimas

patvirtinta 2017 m. lapkričio 03 d. dekanų potvarkiu Nr. 217 el.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2019 m. gegužės 20 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Aiškinamasis raštas: Įvadas. 1. Analitinė dalis. 1.1. Vėdinimo sistemų sandara. 1.2. Vėdinimo sistemų valdymo rūšys. 1.3. SCADA sistemos. 1.4. Pagrindiniai automatikoje naudojami ryšio protokolai. 2. Tiriamoji dalis. 2.1. Tiriamos vėdinimo sistemos sandara. 2.2. Vėdinimo sistemos vizualizacija naudojant „Siemens Desigo CC“ programinį paketą. 2.3. Tyrimui atlikti pasirinktose patalpose sumontuota automatikos įranga. 2.4. Vėdinimo sistemos, veikiančios CAV režimu, pagal nustatytą laiko programą, tyrimas. 2.5. Vėdinimo sistemos, veikiančios DCV principu, esant žemesnei nei 10 °C lauko oro temperatūrai. 2.6. Vėdinimo sistemos, veikiančios DCV principu, esant 10–20 °C lauko oro temperatūrai. 2.7. Lauko oro temperatūros įtaka vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudoms. 2.8. Vėdinimo sistemos ventiliatorių sukimosi intensyvumo įtakos elektros energijos sąnaudoms tyrimas. Išvados. Literatūra.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: lekt. dr. Anželika Gaidienė

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

Vadovas

.....

(Parašas)

doc. dr. Sonata Tolvaišienė

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

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

Vidmantas Šatas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Elektronikos fakultetas
Elektros inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.

Elektros energetikos sistemų inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas
Pavadinimas **Automatinio valdymo įtakos elektros energijos sąnaudoms vėdinimo
sistemose tyrimas**

Autorius **Vidmantas Šatas**

Vadovas doc. dr. **Sonata Tolvaišienė**

Kalba

lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe ištyrėme vėdinimo sistemos, įrengtos administraciniame pastate, elektros energijos sąnaudų priklausomybę nuo pasirinkto automatinio valdymo tipo, lauko oro temperatūros bei vėdinimo sistemos ventiliatorių sukimosi intensyvumo. Darbą sudaro dvi dalys: analitinė ir tiriamoji. Analitinėje dalyje išnagrinėta vėdinimo sistemų sandara, galimi automatinio valdymo būdai bei ryšio protokolai. Tiriamojoje dalyje ištirtos vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudos dirbant pagal nustatytą laiko programą, pagal sistemos apskaičiuotą poreikį iš vėdinamų patalpų, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C ir kai yra 10–20 °C. Sudaryti grafikai, nurodantys elektros energijos sąnaudų priklausomybę nuo ventiliatorių sukimosi intensyvumo bei lauko oro temperatūros. Magistro darbo pabaigoje pateikiamos tyrimo išvados ir literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 59 p. teksto be priedų, 40 iliustr., 4 lent., 51 šaltinis.

Prasminiai žodžiai: vėdinimo sistemos, VAV, CAV, DCV, „M-bus“ protokolas, elektros energijos sąnaudos, „Siemens Desigo CC“.

Vilnius Gediminas Technical University
Electronics faculty
Electrical engineering department

ISBN ISSN
Copies No.

Electrical energy systems engineering study programme final master thesis

Title **Investigation of the effect of automatic control on electrical energy consumption in ventilation systems**

Author **Vidmantas Šatas**

Academic supervisor doc. dr. **Sonata Tolvaišienė**

Thesis language

Lithuanian

Annotation

In the final master thesis we investigated the dependence of the electricity consumption of the ventilation system on the selected automatic control type, outdoor air temperature and ventilation system fan rotation intensity. Ventilation system is installed in administrative building. The work consists of two parts: analytical and research. The analytical part analyzes the structure of ventilation systems, possible automatic control methods and communication protocols. In the research part, the electricity consumption of ventilation system was investigated in accordance with the set time program, according to the system's calculated demand from the service premises, when the outdoor air temperature is below 10 °C and when it is 10–20 °C. We created graphs showing the dependence of electricity consumption on fan rotation intensity and outdoor air temperature. At the end of the master's thesis the conclusions of the research and the list of literature are presented.

Work size - 59 p. text without extras, 40 pictures, 4 tables, 51 references.

Keywords: ventilation systems, VAV, CAV, DCV, “M-bus“, electricity consumption, “Siemens Design CC“.

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vidmantas Šatas, 20134059

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Elektros energetikos sistemų inžinerija, EETfm - 17

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2019 m. gegužės 20 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Automatinio valdymo įtakos elektros energijos sąnaudoms vėdinimo sistemose tyrimas“ patvirtintas 2017 m. lapkričio 03 d. dekanų potvarkiu Nr. 217 el., yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovė doc. dr. Sonata Tolvaišienė.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą (projektą) nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

(Parašas)

VIDMANTAS ŠATAS

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

ĮVADAS	9
1. ANALITINĖ DALIS	11
1.1. Vėdinimo sistemų sandara	11
1.1.1. Ventiliatoriai	11
1.1.2. Oro filtrai	13
1.1.3. Rekuperatoriai.....	14
1.1.4. Tiekiamo oro šildymas / šaldymas vėdinimo sistemoje	16
1.1.5. Jutikliai.....	16
1.2. Vėdinimo sistemų valdymo rūšys.....	20
1.2.1. CAV (pastovaus oro kiekio) vėdinimo sistema	20
1.2.2. VAV (kintančio oro kiekio) vėdinimo sistema.....	21
1.2.3. DCV (vėdinimo pagal poreikį) sistema	23
1.3. SCADA sistemos	25
1.4. Pagrindiniai automatikoje naudojami ryšio protokolai.....	26
2. TIRIAMOJI DALIS	29
2.1. Tiriamos vėdinimo sistemos sandara	29
2.2. Vėdinimo sistemos vizualizacija naudojant „Siemens Desigo CC“ programinį paketą.....	33
2.3. Tyrimui atlikti pasirinktose patalpose sumontuota automatikos įranga	34
2.4. Vėdinimo sistemos, veikiančios CAV valdymo principu, pagal nustatytą laiko programą, tyrimas	37
2.5. Vėdinimo sistemos, veikiančios DCV valdymo principu, esant žemesnei nei 10 °C lauko oro temperatūrai, tyrimas	40
2.6. Vėdinimo sistemos, veikiančios DCV valdymo principu, esant 10–20 °C lauko oro temperatūrai, tyrimas	44
2.7. Lauko oro temperatūros įtaka vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudoms	51

2.8. Vėdinimo sistemos ventiliatorių sukimosi intensyvumo įtakos elektros energijos sąnaudoms tyrimas	52
IŠVADOS.....	54
LITERATŪRA.....	55

IVADAS

Šiandieninėje visuomenėje pastatuose išieškjami energetiniai resursai sudaro labai didelę visos išnaudojamos energijos dalį. Žodžių junginys „energetiniai resursai“ apibrėžia elektros energiją, šildymą, vėdinimą, oro kondicionavimą, tiekiamo karšto bei šalto vandens resursus. Pagrindinis energetinis resursas yra elektros energija. Nuo jo dažniausiai priklauso ir visi likę išvardyti resursai, be kurių neįsivaizduojame šiandieninio gyvenimo.

Gamybinės paskirties pastatuose, viešuosiuose pastatuose, tokiuose kaip ligoninės, kino teatrai, prekybos centrai, administraciniai pastatai ir pan., labai aktualus klausimas yra „Kaip sumažinti energetinių resursų sąnaudas ir išlaikyti komfortiškas sąlygas darbuotojams, vartotojams ir klientams?“ Atsakymas į šį klausimą sprendžiamas diegiant ir automatizuojant šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (toliau – ŠVOK) sistemas.

Pastatuose diegiant automatizuoto veikimo ŠVOK sistemas yra įvertinamas sistemų energetinis efektyvumas, sistemos projektuojamos taip, kad pastate būtų išlaikomos higienos normos, pastato darbuotojai ir klientai jaustųsi komfortiškai ir visa tai būtų pasiekama kuo mažesnėmis energijos sąnaudomis. Inžinieriai apskaičiuoja, kiek elektros energijos sąnaudų būtų galima sutaupyti per atitinkamą laikotarpį naudojant vieną ar kitą sistemą, jos įrangą ir automatizavimo būdą.

Pastaruoju metu pastatuose dažniausiai kartu su automatizuotomis ŠVOK sistemomis yra diegiamos ir pastato valdymo (toliau – PVS) bei išmanioji apskaitos duomenų nuskaitymo sistemos. Naudojant šias sistemas galima stebėti ŠVOK sistemų darbą, jas valdyti, keisti nustatytas temperatūras, oro kokybę, slėgių, drėgmės bei kitas svarbias reikšmes, analizuoti elektros ir vandens skaitiklių duomenis bei teikti sistemų optimizavimo pasiūlymus pastato valdytojui ir automatizavimo sistemas projektuojantiems bei sistemų valdymo algoritmus rašantiems specialistams.

Pastaruoju metu Lietuvoje labai didelis dėmesys skiriamas administracinės paskirties pastatų, viešbučių ir viešojo sektoriaus statyboms. Visuose šiuose pastatuose yra įrengiamos automatizuoto veikimo ŠVOK sistemos. Visų ŠVOK sistemų tinkamas valdymas yra svarbus, tačiau šildymo sistemos yra aktualios šaltuoju metų laiku, oro kondicionavimo sistemos – šiltuoju metų laiku, o vėdinimo sistemos yra aktualios visus metus. Daugiaaukščiuose pastatuose būna įrengtos kelios ar keliolika vėdinimo sistemų. Tinkamas jų automatinis valdymas yra labai svarbus tiek pastato valdytojui, tiek pastate dirbantiems darbuotojams.

Kadangi turėjome galimybę pasinaudoti viename administracinės paskirties pastate įrengta pastato valdymo sistema, koreguoti vėdinimo sistemų valdymą, keisti nustatytas reikšmes ir analizuoti

energetinių resursų apskaitos duomenis, atlikome tyrimą, kurio rezultatai parodo, kaip elektros energijos sąnaudos priklauso nuo ventiliatorių sukimosi intensyvumo, lauko oro temperatūros ir kaip pasirinktas tam tikras vėdinimo sistemų automatizavimo būdas veikia vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudas.

1. ANALITINĖ DALIS

1.1. Vėdinimo sistemų sandara

Vėdinimo sistema – tai iš kelių elementų sudaryta grandinė, kurioje kiekvienas elementas atlieka svarbią funkciją. Vėdinimo sistemos yra skirstomos į penkias pagrindines rūšis:

- oro tiekimo sistemos;
- oro tiekimo-ištraukimo su šilumokaičiu sistemos;
- recirkuliacinės sistemos;
- oro šildymo sistemos;
- oro ištraukimo, dūmų šalinimo, kompensacinės ir kitos sistemos [1].

Tipinę vėdinimo sistemą dažniausiai sudaro:

- tiekiamo oro ventiliatorius;
- šalinamo oro ventiliatorius;
- plokštelinis arba rotacinis rekuperatorius;
- tiekiamo oro ir išmetamo oro sklendės su elektromechaninėmis pavaromis;
- filtrai;
- šilumokaitis su šilumą reguliuojančiu valdomu vožtuvu bei cirkuliaciniu siurbliu;
- vėsinimo sekcija su šilumą reguliuojančiu valdomu vožtuvu bei cirkuliaciniu siurbliu;
- drėkintuvas;
- įvairūs jutikliai.

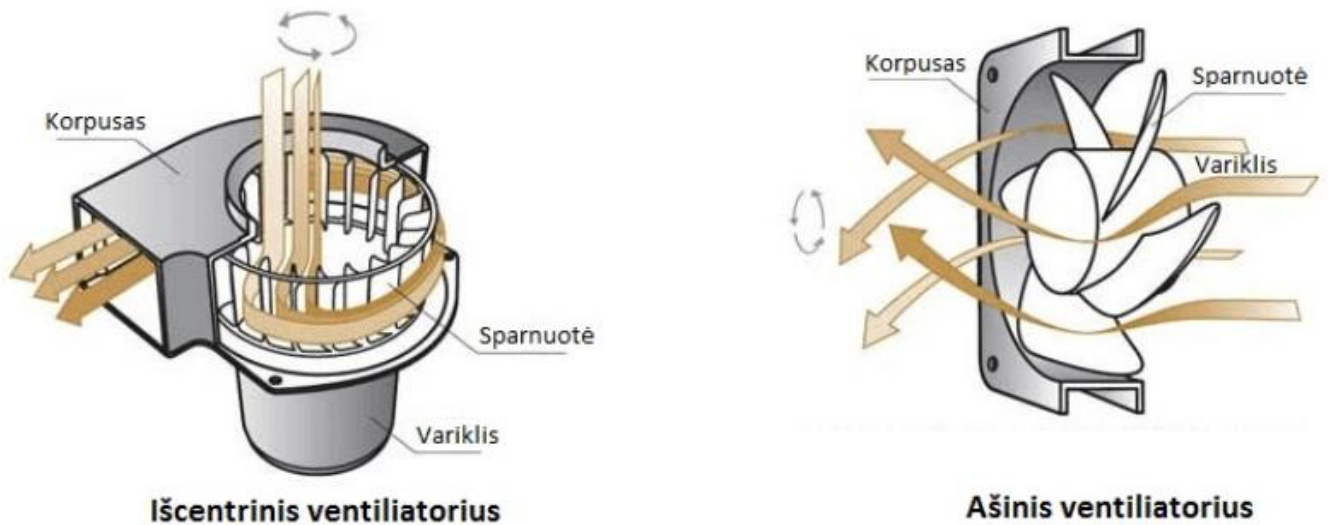
1.1.1. Ventiliatoriai

Ventiliatorius yra skirtas sukelti oro slėgiui ortakiuose ir orui judėti patalpose. Vėdinimo sistemose ventiliatoriai būna skirti tik orui tiekti į patalpas, tik orui ištraukti iš patalpų arba, dažniausiai, tiek tiekiamam orui, tiek šalinamam orui padėti judėti jam reikiama kryptimi ir pasiekti tikslą. Ventiliatoriai yra galingi elektros energijos naudotojai. Daugiaaukščiuose pastatuose vėdinimo sistemų ventiliatorių galingumas siekia kelis kilovatus. Kitų vėdinimo sistemos agregatų galia paprastai nesiekia nei 1 kW. Taigi galima teigti, kad ventiliatoriai yra pagrindiniai vėdinimo sistemų elektros vartotojai, taip pat ir triukšmo, ir vibracijos šaltiniai [2].

Pagal veikimo principą oro ventiliatoriai skirstomi į ašinius ir išcentrinus (radialiuosius).

Ašiniai ventiliatoriai, lyginant su tokio paties dydžio išcentriniais, yra didesnio našumo, kompaktiškesni, bet ir triukšmingesni. Tinkamesni naudoti vėdinimo sistemose su nedideliu aerodinaminiu pasipriešinimu bei yra skirti švaresniam orui pūsti. Dauguma ašinių ventiliatorių yra mažo slėgio (iki 0,4 kPa), jų naudingumas iki 86 %. Kai kurių ventiliatorių darbo ratas ir korpusas yra iš specialaus plastiko, tai padeda užtikrinti tylesnį darbą ir atlaikyti aukštesnę – iki 60 °C – temperatūrą [3].

Išcentrinių ventiliatorių darbo ratai būna su į priekį lenktomis, atgal lenktomis, radialiomis ir tiesiomis, atgal lenktomis, mentėmis. Darbo ratas jungiamas su varikliu trapeciniais diržais arba užmaunamas ant elektros variklio veleno. Naudojami pastoviojo ar kintamojo sūkių dažnio varikliai. Ventiliatorių naudingumo koeficientas yra skirtingas. Su į priekį lenktomis mentėmis ventiliatoriai yra mažesnio naudingumo, bet jie sukuria didesnę slėgį. Su atgal lenktomis mentėmis naudingumas yra didžiausias, tad jie naudojami ten, kur svarbu žemas triukšmo lygis ir mažos eksploataavimo išlaidos. Jei mentės yra tiesios, naudingumas mažiausias, bet prie tokių menčių nelimpa dulkės, mentės lėčiau dyla, todėl tokie darbo ratai montuojami dulkėmis ir lašeliais užteršto oro pneumatinio transporto ventiliatoriuose [4]. Išcentrinio ir ašinio ventiliatorių principinius atvaizdus galima matyti 1.1 pav.



1.1 pav. Išcentrinis ir ašinis ventiliatoriai [5]

Pagal montavimo vietą oro ventiliatorius galima skirstyti į stoginius ir kanalinius (ortakinius). Kanaliniai ventiliatoriai montuojami į ortakių sistemą. Plokšti, stačiakampės formos ventiliatoriai telpa virš pakabinamųjų lubų, taigi, neužima daug vietos, paprastai naudojami gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose. Nedidelės galios stoginiai ventiliatoriai montuojami ant perdangos ir kelia vibracijų, todėl dažnai naudojami vietinio oro šalinimo sistemose. O specialūs, aukštas temperatūras atlaikantys ventiliatoriai naudojami ir dūmams šalinti. Ašiniai ventiliatoriai montuojami taip, kad oras būtų pučiamas iš variklio pusės [6].

Pagal sukuriamą pilnutinį slėgį ventiliatoriai būna:

- mažo slėgio (iki 1 kPa);
- vidutinio (1–3 kPa);
- didelio slėgio (iki 12 kPa). Tokie ventiliatoriai dar vadinami „orapūtėmis“ [6].

1.1.2. Oro filtrai

Oro filtrai yra neatsiejama vėdinimo sistemos dalis. Aplinkoje visada pasitaiko tam tikrų dulkių, vabzdžių, smulkiųjų dalelių. Yra atitinkamos filtrų klasės, kurios yra skirtos būtent tam tikroms dalelėms filtruoti. Filtrų klasės pateikiamos 1.1 lentelėje.

1.1. lentelė. Filtrų klasės [7]

Filtrų grupė	Sugaudomos dalelės	Filtrų klasė	Panaudojimas
Filtrai stambioms dulkių dalelėms sugaudyti (> 10 mikronų)	Vabzdžiai, tekstilės pluoštai, pūkai, smėlis, sporos, žiedadulkės, cemento dulkės	G2 G3 G4	Apsauga nuo vabzdžių; Paduodamo ir grąžinamo oro filtrai; Naudojami kaip priešfiltrai prieš F5–F9 klasės filtrus
Filtrai smulkioms dalelėms sugaudyti (nuo 1 iki 10 mikronų)	Sporos, pūkai, cemento dulkės, bakterijos, atmosferinio oro dulkės	F5 F6	Paduodamo ir grąžinamo oro filtrai; Naudojami kaip priešfiltrai prieš H10 ir H11 klasės filtrus
Filtrai smulkioms dalelėms sugaudyti (nuo 1 iki 10 mikronų)	Riebalų, tabako, metaloksidų dūmai	F7 F8 F9	Galutiniai filtrai visuomeninės paskirties pastatams, elektroninės įrangos stotims; Naudojami kaip priešfiltrai prieš H12–H14 klasės alyvuotos anglies filtrus
Filtrai dalelėms, mažesnėms nei 1 mikronas	Bakterijos, virusai, tabako ir metaloksidų dūmai, mikrobai	H10 H11	Galutiniai filtrai patalpoms, atitinkančioms aukštus ir aukščiausius reikalavimus (laboratorijos, farmacijos, maisto, elektronikos gamybos įmonės)
Filtrai kvapiosioms medžiagoms neutralizuoti	Virtuvės išmetamas oras, smogas, tirpiklių garai, maisto kvapai	Alyvuotos anglies filtrai	Paduodamo oro filtrai patalpoms, kur negali būti jokių kenksmingų dujinių medžiagų

Tam, kad oras patalpas pasiektų grynas ir švarus, tiekiamo oro ortakiuose yra montuojami oro filtrai. Be šių filtrų vėdinimo sistemoje taip pat yra naudojami ir šalinamo iš patalpų oro filtrai. Pastarieji skirti išvalyti šalinamą iš patalpų orą siekiant kuo mažiau užteršti rekuperatorius ir kuo mažiau iš patalpų ištrauktų dulkių grąžinti atgal į patalpas [7].

Vėdinti naudojami filtrai, kurie skiriasi savo filtravimo efektyvumu. Žemiausia individualių namų vėdinimo sistemose dažniausiai naudojama filtravimo klasė yra G3, kuri nepraleidžia stambių dulkių ir apsaugo nuo vabzdžių patekimo į vėdinimo ortakius. Norint išvalyti smulkias daleles, rekomenduojama naudoti F6, F7, F8 klasės filtrus [8].

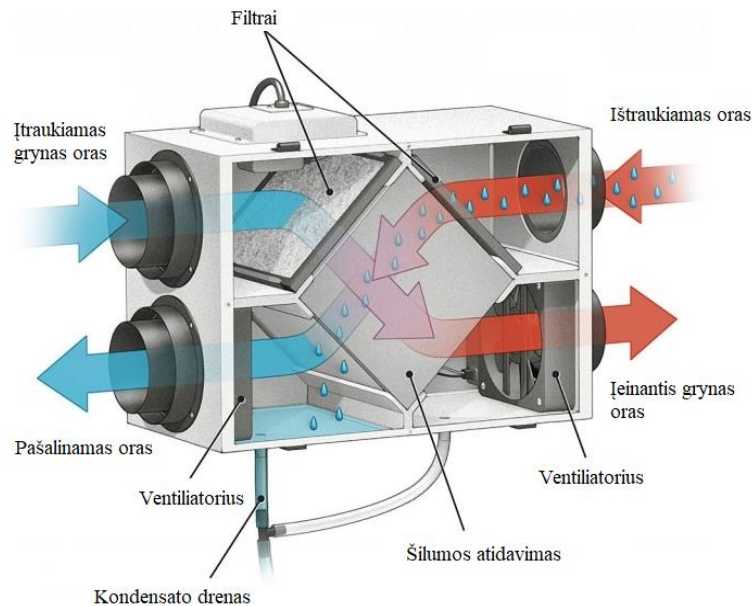
Oro filtravimas reikalingas patalpose, kuriose didelė smulkiųjų dalelių koncentracija arba lauko oras nėra itin švarus. Filtrus reikia rinktis atidžiai, atsižvelgiant į poreikius, nes bet koks filtras sukuria papildomą slėgio kritimą (paprastai 50–300 Pa), ventiliatoriui tampa sunkiau pasiekti reikiamą slėgį, ventiliatorius ima suktis greičiau, o dėl to išauga elektros energijos sąnaudos. Prieš pasirenkant filtrų klasę, svarbu numatyti kuo ilgesnį efektyvaus naudojimo laikotarpį, t. y. kol slėgio kritimas per jį nepadidėja iki nepriimtinos reikšmės. Filtrai reguliariai turi būti tikrinami ir keičiami kas 3–6 mėnesius [8].

1.1.3. Rekuperatoriai

Rekuperatoriai – įrenginiai, padėsiantys taupyti šilumos ir vėsinimo energiją. Įrenginyje esantis šilumokaitis pasisavina šilumą arba šaltį iš oro, kuris yra šalinamas iš patalpų, ir perduoda ją grynam, į patalpas tiekiamam orui. Šis būdas suteikia galimybę sumažinti oro šildymo / vėsinimo išlaidas. Vėdinimo sistemos, kuriose veikia rekuperatorius vadinamos rekuperacinėmis ir gali būti skirtingo galingumo bei modifikacijų. Pagrindinis kriterijus, pagal kurį vertinamas jų efektyvumas – grąžinamos šilumos koeficientas (matuojamas procentais), jis gali siekti net iki 85 %. Šiose sistemose veikiantis šilumokaitis (rekuperatorius) gali būti kelių tipų: rotacinis arba plokštelinis [9].

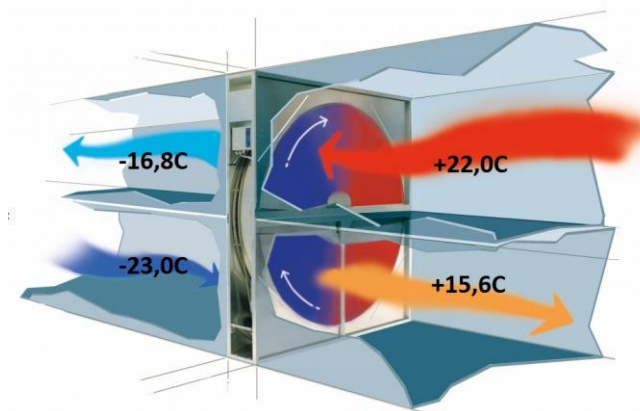
Plokštelinio rekuperatoriaus veikimo principas yra perduoti šalinamą šilumą iš vėdinamų patalpų sušildant į patalpas patenkantį šaltą orą. Plokštelinių rekuperatorių gamybai naudojamas aliuminis, plastikas, nerūdijantis plienas. Aliuminiai šilumokaičiai pasižymi aukštu šilumos perdavimo koeficientu, nerūdija, yra higieniški. Tai labai gera medžiaga aukšto slėgio sistemoms. Aliuminiai plokšteliniai rekuperatoriai naudojami tiek privačių pastatų, tiek pramoninėse ventiliacinėse sistemose. Plastikiniai šilumokaičiai nuo aliuminių skiriasi nebent tuo, kad yra lengvesni ir pigesni. Plastikiniai šilumokaičiai dažniausiai naudojami buityje. Nerūdijančio plieno šilumokaičiai išsiskiria savo kaina, yra brangūs, tačiau labai reikalingi pramonei. Jie naudojami agresyvioje aplinkoje ir esant aukštai temperatūrai. Plokšteliniai rekuperatoriai gali užšalti, nes ištrauktas iš patalpos oras yra staiga atšaldomas, susidaro kondensatas. Jeigu lauko oro temperatūra yra žemiau nulio, susidaręs kondensatas pradeda šalti ant šilumokaičio sienelių ir užblokuoja jo kanalus. Kadangi šaldamas vanduo plečiasi, rekuperatorius gali būti nepataisomai sugadintas. Siekdama to išvengti, vėdinimo sistemos automatika

uždaro lauko oro kanalą, kai tiekiamo oro temperatūra nukrenta žemiau nustatytos ribos [11]. Plokštelinio rekuperatoriaus atvaizdas pateiktas 1.2 pav.



1.2 pav. Plokštelinis rekuperatorius [10]

Rotacinis rekuperatorius – vėdinimo įrenginys su rotaciniu šilumokaičiu. Šių įrenginių veikimas pagrįstas šilumos regeneracija – besisukdamas aliuminio būgnas absorbuoja šalinamo oro iš patalpų šilumą ir panaudoja ją tiekiamo oro šildymui. Vėdinimo įrenginiai su rotaciniu šilumokaičiu yra dviejų tipų – aliuminio arba aliuminio su higroskopiniu paviršiumi. Higroskopinės aliuminio folijos šilumokaitis išsiskiria efektyvesne regeneruojama drėgme ir taip gali užtikrinti efektyvų, ypač drėgną patalpų vėdinimą [11].



1.3 pav. Rotacinis rekuperatorius [12]

Rotaciniai rekuperatoriai naudojami tada, kai šalinamame ore nėra kenksmingų medžiagų, nes didelis jų kiekis per srautus skiriančią zoną gali patekti į tiekiamą orą. Be to, šalinant orą kenksmingos

medžiagos gali prilipti prie rotoriaus paviršių, nuo jų atsiskirti oro tiekimo pusėje ir šitaip patekti į patalpą [13].

1.1.4. Tiekiamo oro šildymas / šaldymas vėdinimo sistemoje

Šiame darbe didesnis dėmesys skiriamas komercinių pastatų vėdinimo sistemoms aptarti, jose beveik visada yra orą iki reikiamos temperatūros pašildančių arba atvėsinančių įrenginių. Jie būna dviejų rūšių: elektriniai arba cirkuliaciniai. Dažniausiai komercinius pastatus šildo centralizuota šildymo sistema, o vėsina šaltio mašina. Orui šildyti ir vėsinti taip pat yra naudojami ir šilumos siurbliai, kurie ir šildo, ir šaldo. Jeigu vėdinimo sistemos pagrindą sudaro skysčio cirkuliaciniai įrenginiai, ir šildymo, ir vėsinimo valdymui yra naudojamas cirkuliacinis siurblys (1.4 (a) pav.) ir skysčio tekėjimą valdanti pavara (1.4 (b) pav.).



1.4 pav. Cirkuliacinis siurblys (a) ir tripozicinė elektromagnetinė pavara (b) [14, 15]

1.1.5. Jutikliai

Jutikliai yra pirminiai matavimo sistemos elementai, reikalingi informacijai apie kintamo fizikinio dydžio reikšmės pasikeitimą gauti. Vėdinimo sistemų valdymui dažniausiai naudojami slėgio, temperatūros ir oro kokybės jutikliai. Visi jutikliai gali būti dviejų rūšių – pasyvūs ir aktyvūs. Pasyvūs jutikliai elektrinį signalą kuria esant poveikiui. Poveikio energija yra verčiama į išėjimo energiją be papildomo energijos šaltinio poreikio. Pasyvūs jutikliai yra termopora, piroelektrinis detektorius ir pjezoelektrinis jutiklis. Kad veiktų aktyvūs jutikliai, reikia išorinės energijos, kuri vadinama sužadinimo signalu. Šis signalas pakeičiamas jutiklio veikimo metu ir sudaro išėjimo signalą. Kartais aktyvūs jutikliai vadinami parametriniais, nes jų savybės keičiasi priklausomai nuo išorinio poveikio, ir dėl šių pokyčių gali atsirasti elektrinių signalų. Pavyzdžiui, termistorius yra jautri temperatūrai varža. Jis savaime nekuria jokio signalo, bet per jį teka elektros srovė (sužadinimo signalas). Termistoriaus varžos kitimas

aptinkamas pagal srovės ar įtampos prie termistoriaus pokyčius. Šie pokyčiai (pateikti omais – varžos matavimo vienetais) tiesiog susiejami su temperatūra [16].

Temperatūros jutikliai yra skirstomi į keturias pagrindines rūšis:

- NTC temperatūros jutikliai – neigiamą temperatūrinį koeficientą turintys termistoriai;
- RTD temperatūros jutikliai – atsparieji termometrai, kuris matuoja temperatūrą keisdami RTD elemento atsparumą temperatūrai. RTD – tai kintančio atsparumo temperatūrai elementas;
- termopora;
- puslaidininkiniai temperatūros jutikliai [17].

NTC temperatūros jutikliai yra termiškai jautrūs rezistoriai, pasižymintys dideliu, nuspėjamu ir tikslu pasipriešinimo pokyčiu, susijusiu su temperatūros pokyčiais. NTC termistorius užtikrina labai aukštą atsparumą esant žemai temperatūrai. Didėjant temperatūrai, atsparumas greitai sumažėja. Šie jutikliai temperatūros pokyčius fiksuoja labai greitai ir tiksliai (0,05–1,5 °C). Efektyvus veikimo diapazonas yra nuo 50 iki 250 °C [17].

RTD temperatūros jutikliai yra sudaryti iš plėvelės arba, siekiant didesnio jautrumo, vielos, apvyniotos aplink keraminę ar stiklo šerdį. Patys jautriausi RTD yra gaminami iš platinos, taip pat gali būti gaminami iš nikelio arba vario, tačiau pastarieji nėra tokie patikimi matavimo prietaisai. Platininiai RTD pasižymi linijine galia, kuri yra labai tiksli (nuo 0,1 iki 1 °C) ir matuoja nuo 200 iki 600 °C. Tačiau tai ne tik patys patikimiausi, bet ir brangiausi temperatūros jutikliai [18].

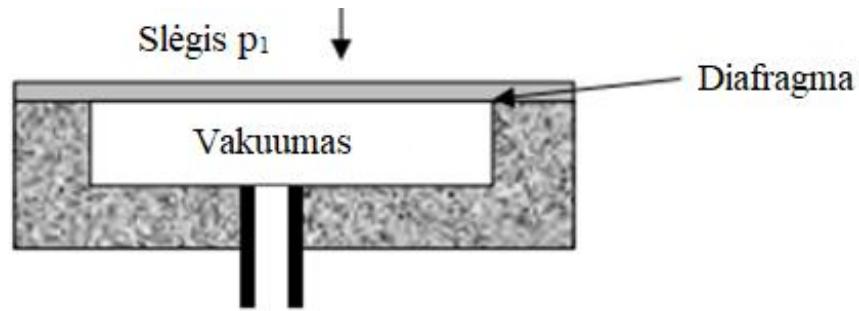
Termoporos yra įtampos įtaisai, rodantys temperatūrą keičiant įtampą. Kai temperatūra pakyla, termoporos išėjimo įtampa irgi kyla, tačiau nebūtinai tiesiškai. Dažnai termopora yra metalinio arba keraminio skydo viduje, kuris apsaugo ją nuo įvairių aplinkų poveikio. Metalinės apvalkalo termoporos taip pat yra su įvairių tipų išorinėmis dangomis. Nors temperatūros pokyčiai fiksuojami nelabai tiksliai (nuo 0,5 °C iki 5 °C), tačiau matavimo ribos yra labai plačios – nuo 200 °C iki 1750 °C [19].

Puslaidininkiniai temperatūros jutikliai naudojami integraliose elektros grandinėse. Jie pasižymi tiesiniu atsaku, tačiau temperatūros pokyčiai fiksuojami ne visai tiksliai (1–5 °C). Jie taip pat lėčiausiai reaguoja į pokytį (iki 60 s) ir matuoja siauriausią temperatūros intervalą (nuo 70 °C iki 150 °C) [20].

Slėgio jutikliai skirstomi į tris pagrindines rūšis:

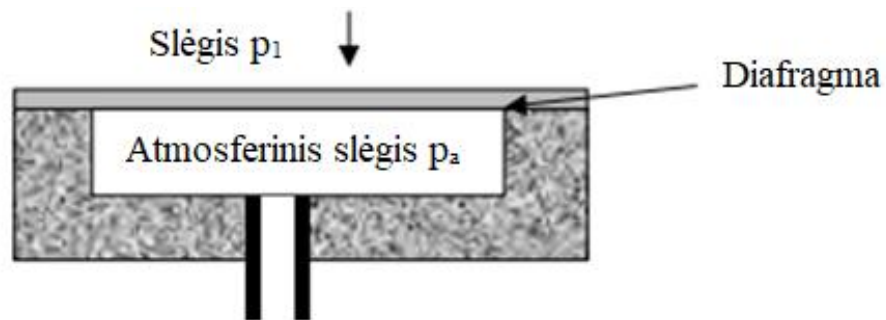
- matuojantys absoliutų slėgį;
- matuojantys santykinį slėgį;
- matuojantys slėgių skirtumą [21].

Pirmojo tipo slėgio jutikliai matuoja statinį, dinaminį arba bendrą slėgį, nukreiptą į vakuumą. Tokiu būdu išmatuojamas slėgio skirtumas lyginant su vakuumu (žr. 1.5 pav.) [21].



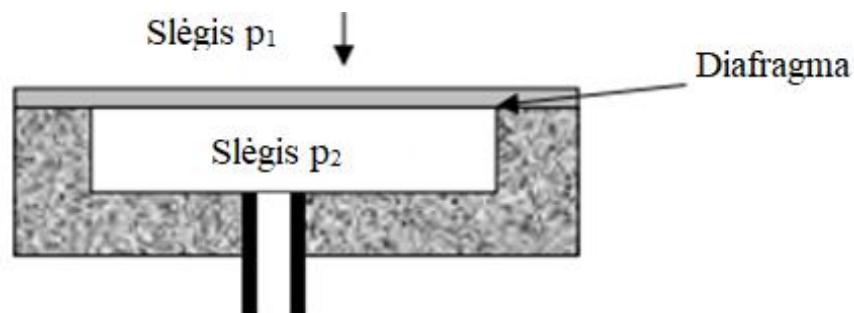
1.5 pav. Absoliutaus slėgio matavimas [21]

Santykinį slėgį matuojantys jutikliai matuoja statinį, dinaminį arba bendrą slėgį, nukreiptą į aplinkos atmosferos slėgį, taigi, slėgis išmatuojamas atmosferinio slėgio atžvilgiu (žr. 1.6 pav.) [21].



1.6 pav. Santykinio slėgio matavimas [21]

Skirtuminio slėgio jutikliai nepriklauso nuo atmosferos slėgio arba vakuumo. Jie yra skirti lyginti slėgį p_1 su slėgiu p_2 (žr. 1.7 pav.) [21].

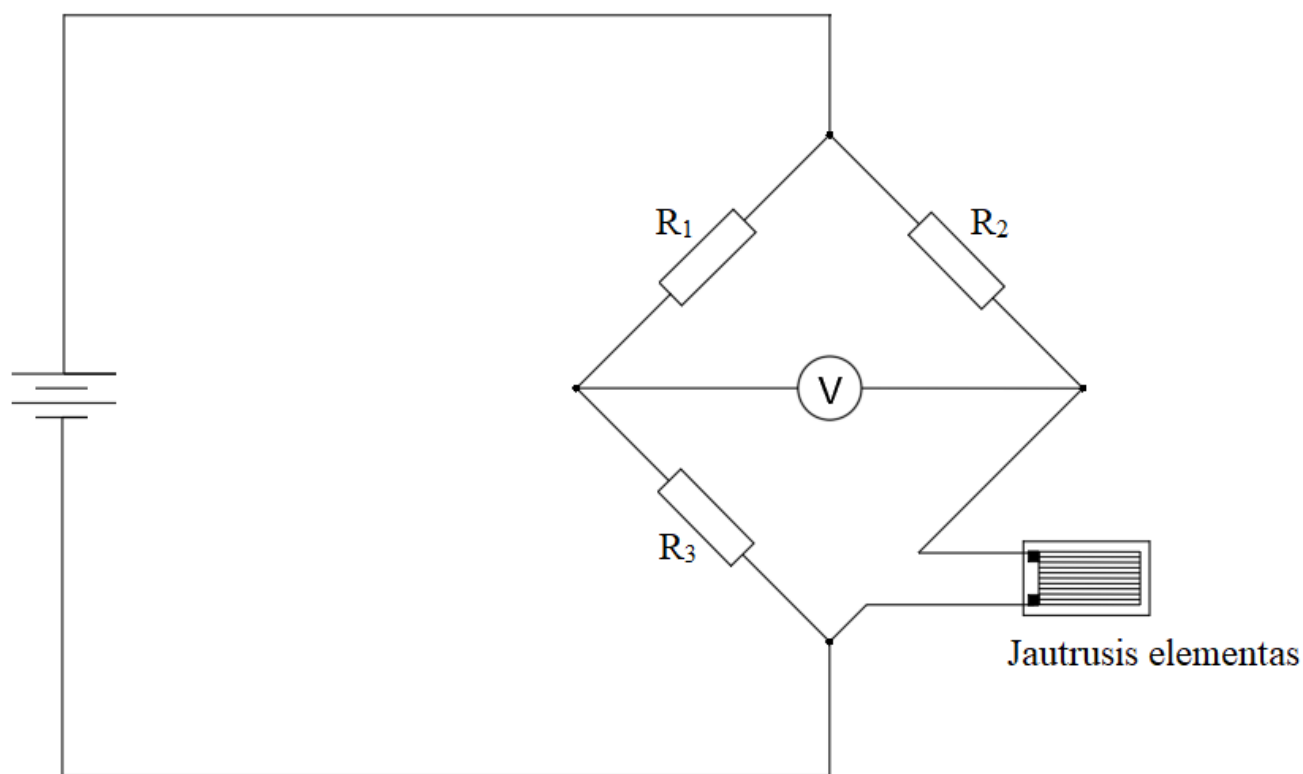


1.7 pav. Skirtuminio slėgio matavimas [21]

Pagal veikimo principą slėgio jutikliai skirstomi:

- varžinis slėgio jutiklis;
- talpinis slėgio jutiklis;
- pjezoelektrinis slėgio jutiklis [22].

Varžinių slėgio jutiklių veikimas pagrįstas jautriojo elemento elektrinės aktyviosios varžos priklausomybe nuo slėgio. Jautrusis elementas gali būti pagamintas iš bet kokio metalo, metalų lydinių, puslaidininkio. Tačiau tai turi būti tokia medžiaga, kuriai temperatūra turėtų minimalų poveikį. Prietaisams gaminti dažnai naudojamas manganinas. Dėl mažos pjezokoefficiento reikšmės manganino varžiniai manometrai taikomi labai dideliems slėgiams (iki 3000 MPa) matuoti. Varžinio slėgio jutiklio veikimo principą galima matyti 1.8 pav. [22].



1.8 pav. Varžinio slėgio jutiklio veikimo principas [22]

Talpinių slėgio jutiklių veikimas pagrįstas kondensatoriaus talpos kitimu, kintant atstumui tarp kondensatoriaus elektrodų. Matuokliuose vienas kondensatoriaus elektrodas yra stacionarus, o kitas atlieka membranos vaidmenį. Matuojant kondensatoriaus keitiklio talpos pokytį galima nustatyti matuojamąjį slėgį [23].

Pjezoelektriniuose slėgio jutikliuose panaudotas kai kurių kristalinių medžiagų gebėjimas sukurti elektrinius krūvius, kai kristalą veikia mechaninė jėga. Pasitaiko, kad krūvis atsiranda tuo momentu, kai ima veikti slėgis, ir išlieka, kai matavimo įtaiso įėjimo grandinės varža be galo didelė. Ši sąlyga praktiškai neįvykdoma. Matuojant kintamą slėgį, elektros krūvis atsistato, todėl pjezokeitikliais matuojami slėgiai iki 100 MPa, kintantys 20–7000 Hz dažnio diapazone. Dažniausiai pjezoelektriniams

slėgio jutikliams naudojami kvarco keitikliai. Jie mechaniškai tvirti, jų geros izoliacinės savybės, stabilios pjezoelektrinės charakteristikos plačiame temperatūrų intervale [24].

Vėdinimo sistemų valdymui dažniausiai yra naudojami skirtuminio slėgio varžiniai jutikliai. Jie matuoja filtrų taršą arba slėgį į vėdinimo sistemos ortakio sienes. Jeigu skirtuminis slėgis yra matuojamas norint nustatyti filtro (arba kito įrenginio) oro taršą, tai matuojamas prieš filtrą ir už filtro. Jeigu filtras yra užsikimšęs, jutiklio išmatuotas skirtumas tarp p_1 ir p_2 bus didelis. Tie patys slėgio jutikliai gali būti naudojami ne tik kaip skirtuminiai, bet ir kaip santykiniai. Tokiu būdu yra naudojamas tik p_1 slėgis, o vietoje p_2 yra matuojamas atmosferos slėgis, t. y. jutiklio „žarnelė“ būna palikta atvira aplinkos ore [24].

Drėgmės jutikliai skirstomi į dvi pagrindines rūšis:

- talpiniai;
- varžiniai.

Talpiniai drėgmės jutikliai matuoja santykinę drėgmę panaudojant ploną metalo oksido juostą tarp dviejų elektrodų. Metalų oksido elektrinė galia keičiasi atsižvelgiant į santykinę atmosferos drėgmę. Šie jutikliai dažniausiai naudojami komercinėje ir pramoninėje sferoje. Talpiniai jutikliai yra tiesiniai ir gali matuoti santykinį drėgnumą nuo 0 % iki 100 %. Šie jutikliai yra vieninteliai pilno diapazono santykinio drėgnumo matavimo prietaisai. Šiuos jutiklius galima naudoti plačiuose temperatūros intervaluose be aktyvios temperatūros kompensacijos [25].

Varžiniai jutikliai dažniausiai susideda iš tauriųjų metalų elektrodų. Jutiklio pagrindas dažniausiai būna padengtas druska arba laidžiuoju polimeru. Jutiklis sugeria aplink jį esančius vandens garus, suskaldo jonines funkcinės grupės ir tokiu būdu padidina elektros laidumą. Tipinių varžinių jutiklių varža svyruoja nuo 1000 Ω iki 100000000 Ω . Dauguma varžinių jutiklių naudoja simetrišką kintamosios srovės sužadinimo įtampą be nuolatinės įtampos tam, kad būtų galima išvengti jutiklio poliarizacijos. Gautas srovės srautas yra konvertuojamas ir ištaisomas į nuolatinės įtampos signalą [26].

1.2. Vėdinimo sistemų valdymo rūšys

1.2.1. CAV (pastovaus oro kiekio) vėdinimo sistema

Naudojant CAV (angl. *constant air volume*) tipo vėdinimo sistemą tiekiamas oro srautas yra pastovus, o tiekiamo oro temperatūra gali kisti. Tokio tipo vėdinimo sistema reikalauja paprasčiausio valdymo algoritmo. Dažniausiai tokia sistema turi dvi valdymo pozicijas: „Įjungta“ ir „Išjungta“. Panaudojant valdymo pagal laiką algoritmą, tokio tipo sistemą būtų galima tiesiog įjungti aštuntą valandą

ryte ir išjungti septynioliktą valandą vakare. Tokiu būdu patalpos būtų vėdinamos darbo valandomis, o po darbo valandų ir nakties metu, taupant elektros energiją, vėdinimo sistema būtų išjungta [27].

1.9 pav. yra pateiktas pavyzdinis oro kiekio priklausomybės nuo laiko grafikas, kuriame matyti, kaip vėdinimo sistema veiktų CAV principu ir būtų valdoma naudojant laiko programos funkciją.



1.9 pav. Oro srauto priklausomybė nuo laiko naudojant CAV vėdinimo sistemos valdymą [28]

Kadangi CAV sistema gana paprasta ir tai yra vienas seniausių vėdinimo sistemos valdymo sprendimų, toks vėdinimo sistemos valdymas dabar naudojamas itin dažnai, ypač pasitelkiant laiko programos valdymą. Dažniausiai CAV sistema yra naudojama, kai į patalpas patenka tikslus gryno oro kiekis, kai jose nesikeičia žmonių kiekis (pvz., įstaigos patalpose nuolat būna tiek pat darbuotojų). Pagrindiniai tokios sistemos privalumai yra šie:

- lengva instaliacija ir nesudėtingas sistemos valdymas;
- nesudėtinga sistemos priežiūra.

Sistemos trūkumai:

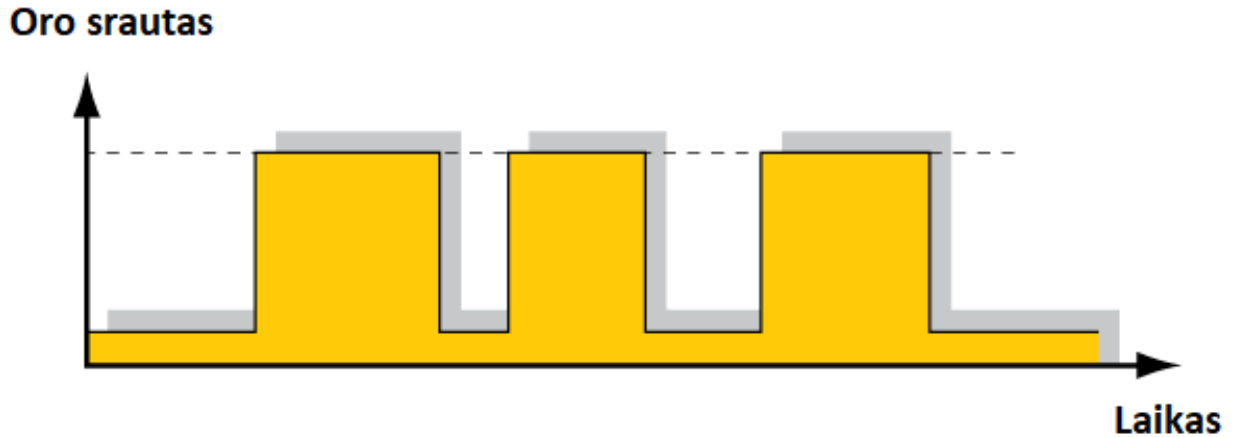
- didelės energijos sąnaudos;
- perteklinis tiekiamo oro srautas į patalpas, kuriose, galbūt, gryno oro srautas nėra reikalingas [28].

1.2.2. VAV (kintančio oro kiekio) vėdinimo sistema

VAV (angl. *variable air volume*) sistemos tikslas yra valdyti tiekiamo oro srautą palaikant pastovią tiekiamo oro temperatūrą. Šis sistemos tipas leidžia valdyti tiekiamo oro kiekį kiekvienoje patalpoje atskirai. Paprastai VAV sistemos naudojamos patalpose, kurios nėra nuolat užimtose, pavyzdžiui, susirinkimų, pristatymų salėse, privačiuose darbuotojų kabinetuose [29].

VAV sistema pagal valdymą turi dar dvi papildomas kryptis:

- valdymas pagal patalpų užimtumą;
- valdymas pagal CO₂ kiekį patalpose [29].



1.10 pav. Oro srauto priklausomybė nuo laiko naudojant VAV vėdinimo sistemos valdymą [29]

Valdymas pagal patalpų užimtumą dažniausiai yra žinomas kaip būvio daviklių, esančių patalpose, būsenos įvertinimas, pagal kurią yra valdomas tiekiamas oro srautas į patalpą. Tokiu būdu yra išvengiama nereikalingo patalpų vėdinimo, kai patalpoje nėra žmonių. Tokia sistema yra tinkama naudoti biuruose, kuriuose yra daug atskirtų kabinetų, kuriuose lankosi nedidelis kiekis žmonių. Pavyzdžiui, dirba tik nuolatiniai darbuotojai. Naudojant šio tipo VAV sistemą, patalpa bus vėdinama tik tada, kai patalpoje įrengtas būvio daviklis fiksuos, kad joje yra žmogus. Žmogui iš patalpos išėjus, po tam tikro nustatyto laiko VAV vėdinimo terminalas užsidarys, tokiu būdu padidindamas pagrindinėje vėdinimo sistemos atšakoje slėgį. Dėl to bus sumažinami vėdinimo įrenginio ventiliatorių sukiai [30].

VAV sistemos valdymas pagal CO₂ kiekį patalpose yra tiksliausias VAV vėdinimo sistemos valdymo būdas. Visų pirma įvertinamas patalpose reikalingas deguonies kiekis. Vienam žmogui, priklausomai nuo jo veiklos, reikia apie 0,5–2 litrų deguonies per minutę, tad, jei turėtume labai sandarų namą, reikėtų tiekti šį kiekį deguonies, kad žmogus, esantis patalpose, išgyventų. Kadangi deguonies koncentracija ore yra apie 21 %, pakankamas oro kiekis vienam žmogui yra 0,14–0,57 m³/h. Tačiau, pasirodo, ne tik deguonis svarbiausia. Maksas von Pettenkoferis (1818–1901 m.), gerai žinomas žmogaus psichologijos tyrinėtojas, dirbęs Miuncheno universitete 1870 m. nustatė, kad 1000 ppm (0,1 % tūrio) CO₂ koncentracija ore yra ribinė reikšmė, užtikrinanti pakankamą patalpos mikroklimatą ir komfortą [31].

Dėl žmonių veiklos išsiskiria bioteršalai, nemalonūs kvapai, todėl patalpoje esantys žmonės ne visada jaučiasi komfortiškai. Dažniausiai pasirenkamas tokios vidaus oro taršos indikatorius yra CO₂ koncentracija. Amerikos šildymo, šaldymo ir kondicionavimo inžinierių asociacija (ASHRAE – „American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers“) nurodo, kad buvimas patalpoje yra komfortiškas tol, kol vidaus ir lauko oro CO₂ koncentracijos skirtumas yra ne didesnis kaip 700 ppm. Miesto ore CO₂ koncentracija yra 300–400 ppm, taigi pastatuose CO₂ koncentracija ore neturėtų būti didesnė nei 1000 ppm [32].



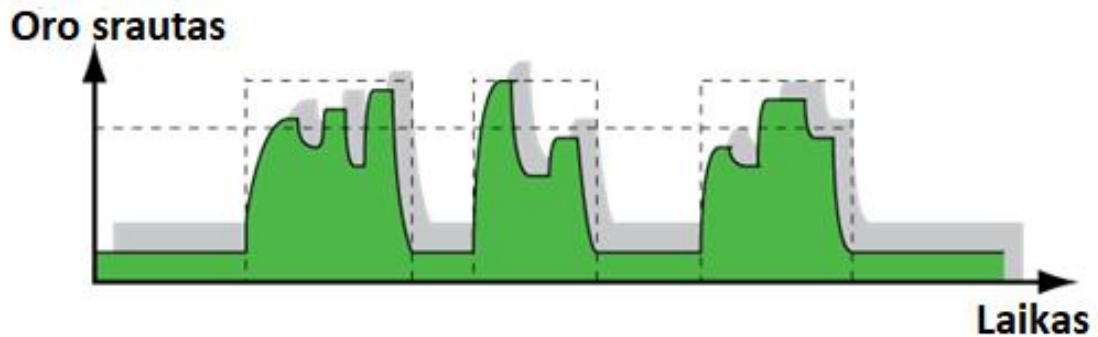
1.11 pav. CO₂ koncentracijos dydžių reikšmės [33]

VAV vėdinimo sistemos valdymas pagal gryno oro kiekį patalpoje yra daug geresnis sprendimas, nes padeda suderinti du dalykus: gerą patalpų mikroklimatą ir mažas energijos sąnaudas. Patalpos yra vėdinamos nepriklausomai nuo to, kiek patalpose yra žmonių, tačiau atsižvelgiama į patį svarbiausią aspektą – oro kokybę. Pats tokios vėdinimo sistemos veikimo principas yra paremtas kiekvienoje patalpoje esančiais CO₂ davikliais. Jie fiksuoja patalpos užterštumą, o vėdinimo sistema, priklausomai nuo užduotos palaikyti (neperžengti) oro kokybės reikšmės, vėdina patalpas tik tiek, kiek reikia [34].

1.2.3. DCV (vėdinimo pagal poreikį) sistema

Labiau automatizuota VAV vėdinimo sistema pati įvertina vėdinimo poreikį, automatiškai prisitaiko ir keičia tiekiamo oro srautą bei temperatūrą. Tokia sistema vadinama vėdinimo pagal poreikį

sistema (toliau – DCV (angl. *demand control ventilation*)). 1.12 pav. iliustruoja pavyzdinį oro srauto priklausomybės nuo laiko grafiką, kuris galėtų būti gaunamas naudojant DCV vėdinimo sistemą [35].



1.12 pav. Oro srauto priklausomybė nuo laiko naudojant DCV vėdinimo sistemos valdymą [35]

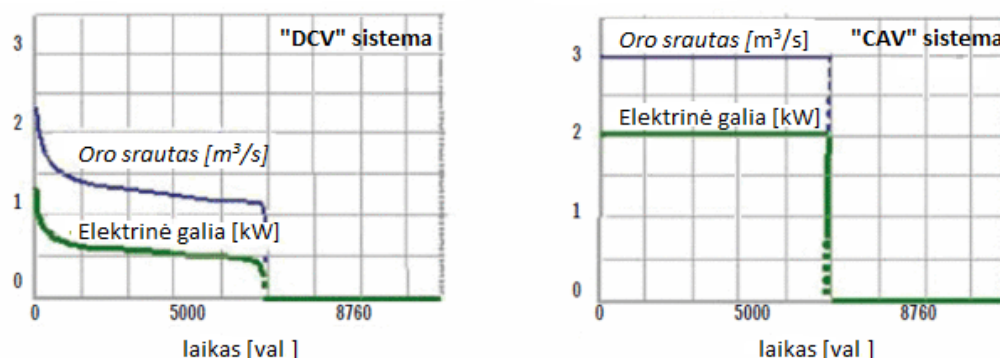
Įvairiuose šaltiniuose galima rasti keletą skirtingų nuomonių apie DCV sistemą. Vienur rašoma, kad DCV sistema veikia VAV sistemos pagrindu, kitur – kad galima taikyti tiek CAV, tiek VAV sistemos pagrindą. Tačiau oficialiame Europos standarte EN13799: 2007 rašoma, kad vėdinimo pagal poreikį sistema yra tokia sistema, kurios vėdinimo intensyvumas yra valdomas pagal oro kokybę patalpose, drėgmę, patalpų užimtumą arba kitus parametrus, reikalingus geram mikroklimatui užtikrinti [36].

DCV sistema yra VAV ir CAV sistemų visuma. Ši visuma surenka parametrus ir poreikius iš visų vėdinamų patalpų, įvertina kiekvienos patalpos poreikį vėdinti, šildyti arba vėsinti ir parenka tiekiamo oro slėgį, srautą, temperatūrą ir darbo režimą, kuriuo veiks centrinė vėdinimo sistema. Pagal poreikį valdomos vėdinimo sistemos buvo įrengtos keliuose skirtingų rūšių komerciniuose pastatuose Švedijoje. Tačiau pastaruoju metu pranešta tik apie keletą energijos ir patalpų klimato rodiklių [37].

Mari-Liis Maripuu (Ph. D.) atliko tyrimus dviejuose administracinės paskirties pastatuose, kuriuose yra įrengtos DCV sistemos. Pirmajame pastate esama CAV vėdinimo sistema buvo pakeista DCV sistema. Antrajame pastate, susidedančiame iš dviejų dalių: naujai pastatytos ir visiškai renovuotos, taip pat buvo įrengta DCV sistema. Kiekvienoje patalpoje esančios VAV sklendės priklausimai nuo temperatūros ir patalpos užimtumo kontroliavo oro srauto greitį [37].

1.13 pav. vaizduojama tiekiamo oro srauto greičio diagrama ir ventiliatorių elektros energijos sąnaudos atlikto bandymo metu. Duomenys buvo matuojami reguliariai kas valandą visus metus vienoje iš antrojo tiriamojo pastato dalių. Šią pastato dalį sudaro 58 biuro patalpos ir daugybė posėdžių salių. Bendras visų patalpų oro srautas yra $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Kaip parodyta paveikslėlyje, DCV sistema niekada nepasiekė tokio oro srauto, koks buvo naudojant CAV sistemą. Didžiausias išmatuotas oro srautas naudojant DCV sistemą buvo maždaug 24 % mažesnis negu naudojant CAV vėdinimo sistemą. Be to,

80 % viso vėdinimo sistemos darbo laiko, t. y. apie 3900 valandų per metus, sistema veikė mažiau nei 45 % pajėgumu. Šias mažas vertes, lyginant su projekcinėmis vertėmis, nulėmė tai, kad patalpomis buvo naudojamos retai [38].



1.13 pav. Oro srauto ir elektros energijos sąnaudų palyginimas naudojant DCV ir CAV sistemas [38]

1.3. SCADA sistemos

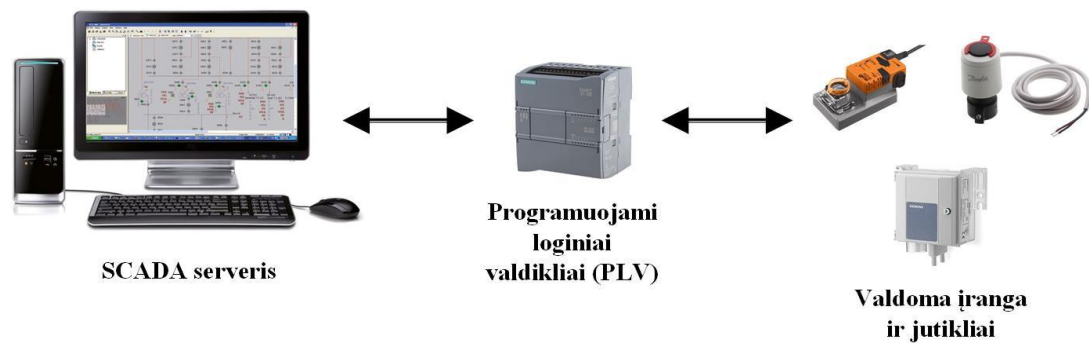
SCADA (angl. *Supervisory Control and Data Acquisition*) sistemos – tai įrenginių valdymo ir duomenų atvaizdavimo sistemos, kurios susideda iš naudojamų kompiuterių, atitinkamų duomenų ryšių, programuojamų loginių valdiklių (toliau – PLV) ir grafinės vartotojų sąsajos aukšto lygio procesų priežiūros valdymui [39].

SCADA sistemos pagrindas – vizualizacijos programa, kuri leidžia operatoriui stebėti ir keisti tam tikrus procesus. Standartinę proceso vizualizaciją sudaro:

- dvimatis scheminis vaizdas. Jo paskirtis yra suprantamai atvaizduoti esmines proceso / objekto dalis ir procese dalyvaujančius įrenginius. Detalumo lygis priklauso nuo vizualizacijos paskirties ir apimties. Schemoje gali būti nurodoma ir papildoma informacija, pvz., įrengimų pavadinimai, matavimo prietaisų kodai, skysčių tekėjimo kryptys ir pan. Schemose, išskyrus išimtines situacijas, nėra vaizduojami objektų dydžiai, tikslios dydžių proporcijos tarp objektų, atstumai tarp jų, tikslios formos, patalpos ar aplinka, kurioje objektai yra, nevaizduojami ir objektai, kurie neturi įtakos proceso vyksmui.
- matavimo prietaisų rodmenys. Dažniausiai atvaizduojami skaičiais, tačiau gali būti naudojama ir tam tikrų fizinių prietaisų imitacija (pvz., skalė su rodyklėmis). Matavimo prietaisai padedami (arba linija nurodoma) toje schemos dalyje, kurioje jie iš tikrųjų yra ir kurios parametrus matuoja.

- įvairūs įrenginių būsenų indikatoriai. Schemoje išdėstomi įrengimų (pvz., variklių, sklendžių ir pan.) simboliai, kurių būsena atvaizduojama keičiant simbolių spalvas arba pridėdant papildomus užrašus, skaičius ir pan [40].

Sistema valdoma valdikliuose sudarytomis loginėmis programomis. SCADA sistema buvo sukurta kaip visuotinė nuotolinės prieigos prie įvairių valdymo modulių priemonė, kurią gali gaminti skirtingi gamintojai, naudojantys skirtingus automatikos protokolus.



1.14 pav. SCADA sistemos struktūra [41, 42, 43, 44]

Pagrindinės SCADA sistemų galimybės:

- stebėti, rinkti ir apdoroti realaus laiko duomenis iš atitinkamų įrenginių;
- realiu laiku matyti jutiklių, vožtuvų, siurblių, variklių būsenas ir darbo režimus;
- įrašyti jutiklių, siurblių, variklių būsenų ir pan. parametrus į įvykių žurnalą ir vėliau stebėti įrenginių darbo kitimą [45].

Pasaulyje SCADA sistemos yra plačiai naudojamos pramonės, pastatų automatikoje, elektros tinkluose. Žinomiausi SCADA sistemų gamintojai: „Siemens“, „Schneider electric“, „Copa-data. Zenon“. Būtent vieno iš šių gamintojų programiniu paketu („Siemens Desigo CC“) buvo naudojamosi atliekant tiriamąjį magistro darbą [45].

1.4. Pagrindiniai automatikoje naudojami ryšio protokolai

Automatika yra skirstoma į tris rūšis:

- pramonės automatiką;
- pastatų automatiką;
- aukštos įtampos tinklų automatiką.

Visoms automatikos rūšims yra labai svarbi valdiklių tarpusavio komunikacija, komunikacija su įrenginiais ir jutikliais. Yra labai daug skirtingų ryšio protokolų, tačiau labiausiai paplitę visose automatinio valdymo sistemų srityse yra šie:

1. „Modbus“;
2. „BacNet“;
3. „M-bus“.

„**Modbus**“ yra „Modicon“ įmonės 1979 metais sukurtas nuosekliojo ryšio protokolas, skirtas naudoti su programuojamais loginiais valdikliais (PLV). „Modbus“ tapo pramonės standartu naudojant komunikacijos protokolus, yra plačiai naudojamas norint susieti pramoninius elektronikos prietaisus. „Modbus“ privalumai:

- jis sukurtas naudoti pramoniniams tikslams;
- jis yra atvirai publikuojamas ir nemokamas;
- lengvai įdiegiamas ir palaikomas;
- perkelia duomenis bitais arba žodžiais neapribodamas įrangos gamintojų [46].

Duomenims perduoti „Modbus“ protokolu naudojamos RS232 arba RS485 sąsajos. Sistemoje dirba vienas vedantysis („host“ arba „master“) valdiklis ir keli vedamieji („slave“) valdikliai. Tik vedantysis valdiklis gali inicijuoti duomenų mainus. Kiti valdikliai tik formuoja atsakymus į užklausas. Vedantysis valdiklis gali individualiai komunikuoti su vedamaisiais valdikliais arba jiems visiems siųsti bendrą pranešimą. Vedamieji valdikliai grąžina atsakymą vedančiajam po to, kai į juos kreipiamasi individualiai [47].

„Modbus“ dažnai naudojamas priežiūros kompiuteriui su nuotoliniu galiniu įrenginiu prijungti prie priežiūros kontrolės ir duomenų rinkimo SCADA sistemų. „Modbus“ protokole gali būti naudojami du mainų režimai – ASCII arba RTU. Derindamas ryšio sistemą vartotojas turi pasirinkti vieną iš jų, kartu nustatydamas vienodus asinchroninių mainų režimus (mainų spartą, lyginumą ir kt.). Pasirinkus ASCII režimą, kiekvienas baitas yra perduodamas dviem ASCII simboliais. Šio darbo režimo pagrindinė ypatybė yra ta, kad tarp simbolių gali būti laiko tarpas iki 1 s [48]. Šiame darbo režime skaičiai koduojami šešioliktainiais simboliais. Kai valdikliai komunikuoja RTU režime, kiekvienas baitas yra koduojamas 2–4 bitų šešioliktainiais simboliais. Taigi šis darbo režimas užtikrina greitesnius duomenų mainus. Abiejuose darbo režimuose pranešimai turi pradžios ir pabaigos taškus. Tai leidžia imtuvui susirasti pranešimo pradžią, nuskaityti adresą ir jį identifikuoti [47].

„**BacNet**“ – tai atviras ir neutralus, nuolat tobulinamas ryšių protokolas, skirtas pastatų automatikos ir valdymo tinklams. Tai visame pasaulyje bendras, nuo gamintojo nepriklausomas, atviro

protokolo standartas [49]. Pirmą kartą jį pristatė Amerikos šildymo, vėsinimo ir oro kondicionavimo inžinierių organizacija „Ashrae“. Dabar „BacNet“ yra pasaulinis ISO standartas ir yra naudojamas daugiau kaip trisdešimtyje šalių [50].

„BacNet“ protokolas naudojamas:

- šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemose;
- apšvietimo valdymo sistemose;
- apsaugos ir priešgaisrinės signalizacijos sistemose;
- liftų kontrolės sistemose;
- įeigos kontrolės sistemose;
- energijos valdymo ir energetikos paslaugų sektoriuje;
- interneto tinkle.

„**M-bus**“ – tai Europos standartas (EN 13757-2) ir ryšio protokolas, skirtas nuotoliniam dujų, skysčių ir elektros skaitiklių duomenų nuskaitymui. „M-bus“ sąsaja yra skirta ryšiui su dviem laidais, taigi yra labai ekonomiška [51]. Šis protokolas atitinka specialius reikalavimus, keliamus nuotoliniu būdu valdomoms sistemoms, įskaitant vartotojų komunalinių paslaugų skaitiklius. Dažniausiai skaitiklių duomenys yra konvertuojami iš „M-bus“ linijos į „Modbus“ sąsają per specialų keitiklį [48].

Esminis „M-bus“ protokolo veikimo principas yra paversti duomenis į loginių diskretinių signalų diagramą. Loginis vienetas atitinka 36 V įtampos dydį, o loginis 0 atitinka 24 V įtampos dydį. Vedantysis („master“) valdiklis siunčia užklausą vedamajam („slave“) valdikliui, kuris atsako siųsdamas duomenis, užkoduotus srovės šuolių diagramoje. Loginis 0 atitinka 1,5 mA, o loginis 1 atitinka 11–20 mA [52].

2. TIRIAMOJI DALIS

Tiriamąojo darbo tikslas – ištirti ir palyginti vėdinimo sistemos ventiliatorių naudojamas elektros energijos sąnaudas, kai vėdinimo sistema veikia dviem skirtingais automatizuoto veikimo principais, esant skirtingai lauko oro temperatūrai. Tyrimui atlikti naudota naujame administraciniame pastate įrengta vėdinimo sistema, išmanioji apskaitos nuskaitymo sistema ir dviejuose vėdinimo sistemos aptarnaujamuose aukštuose įrengta mikroklimato valdymo įranga (valdomos oro tiekimo sklendės, CO₂ jutikliai ir būvio jutikliai).

2.1. Tiriamos vėdinimo sistemos sandara

Tyrimui pasirinktas sukomplektuotas vėdinimo įrenginys 52 mm mineraline vata izoliuotu korpusu, su tiekiamo ir šalinamo oro ventiliatoriais, tiekiamo ir šalinamo oro filtrais, rotaciniu rekuperatoriumi bei oro pritekėjimo ir šalinimo vožtuvais, drėkintuvu. Tiekiamo ir šalinamo oro ventiliatorių bei rekuperatoriaus sukimosi greičiai yra valdomi 0–10 V analoginiu signalu, 0–100 % procentine išraiška. Toliau lentelėse pateikiami jų pagrindiniai parametrai.

2.1 lentelė. Vėdinimo sistemos rotacinio rekuperatoriaus techniniai parametrai

Parametras	Reikšmė	Matavimo vnt.
Galia	0,37	kW
Energetinis efektyvumas	74	%
Įtampa	400	V

Rekuperatoriaus dažnio keitiklis yra integruotas. Įrenginiui valdyti numatomi skaitmeniniai paleidimo ir gedimo signalai, taip pat 0–10 V analoginis valdymo signalas. Rekuperatoriaus dažnio keitiklio modelis yra „ESMD371x2SFA, Lenze“.

2.2 lentelė. Vėdinimo sistemos šalinamo oro ventiliatorių (2 vnt.) techniniai parametrai

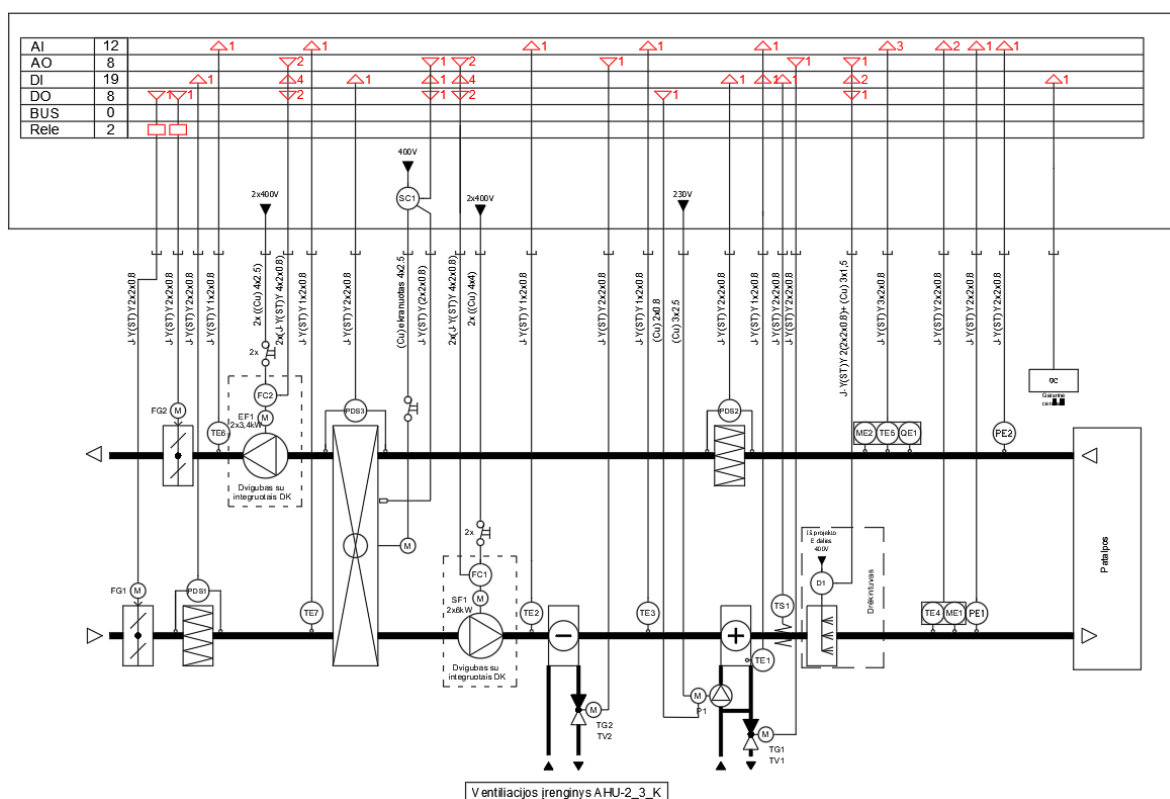
Parametras	Reikšmė	Matavimo vienetas
Galia	3,4	kW
Srovė	2,9	A
Įtampa	400	V
Ventiliatoriaus apsisukimai	1279	1/min.

2.3 lentelė. Vėdinimo sistemos tiekiamo oro ventiliatorių (2 vnt.) techniniai parametrai

Parametras	Reikšmė	Matavimo vnt.
Galia	6	kW
Srovė	4,8	A
Įtampa	400	V
Ventiliatoriaus apsisukimai	1521	1/min.

Dažnio keitikliai yra integruoti kartu su šalinamo oro ventiliatorių varikliais. Ventiliatoriams yra numatyti skaitmeniniai atgalinio ryšio signalai gedimams fiksuoti, taip pat skaitmeniniai signalai varikliams paleisti ir 0–10 V analoginiai signalai varikliams valdyti. Tiekiamo oro ventiliatorių dažnio keitiklių modeliai yra „RH56C-ZID.GG.CR“ ir „RH56C-ZID.GQ.CR“.

Oro pritekėjimo sklendės yra valdomos skaitmeniniu signalu (atidaryta / uždaryta). Šildymo bei šaldymo sekcijose yra numatyti trieigiai vožtuvai, valdomi 0–10 V analoginiu signalu ir skaitmeniniu signalu valdomi cirkuliaciniai siurbliai.



2.1 pav. Tiriamos vėdinimo sistemos valdymo funkcinė schema

Pasirinktai vėdinimo sistemai valdyti buvo sudaryta vėdinimo sistemos valdymo funkcinė schema (žr. 2.1 pav.). Funkcinė schema sudaryta pasirinkus valdiklį ir kiekvienam vėdinimo sistemą

valdančiam įrenginiui parinkus tinkamus valdiklio įėjimus / išėjimus. Kadangi vėdinimo įrenginys yra komplektuojamas be jutiklių, automatinį valdymą kurianti įmonė parenka tinkamus jutiklius.

Oro tiekimo ir šalinimo sklendės (FG1 ir FG2) yra valdomos skaitmeniniais valdiklio išėjimais, per reles. Relės, gavusios iš valdiklio išėjimų signalus, suveikia ir duoda 24 V įtampą į oro pritekėjimo ir šalinimo sklendžių pavaras. Pavaros yra spyruoklinės, todėl, kol joms tiekama įtampa, tol jos yra atsidariusios. Įtampą nutraukus pavara sklendę uždaro.

Vėdinimo sistemos filtrams (PDS1 ir PDS2) yra suprojektuoti skaitmeniniai skirtuminio slėgio jutikliai. Jais signalas yra perduodamas į pastato valdymo sistemą apie užsiteršusį arba švarų filtrą. Slėgio riba, kuriai esant jutiklis suveikia, yra nustatoma ant paties jutiklio.

Vėdinimo sistemoje yra du oro tiekimo ventiliatoriai ir du oro šalinimo ventiliatoriai (FC1 ir FC2). Poros veikia sinchroniškai, tokiu pačiu greičiu, ta pačia kryptimi. Ventiliatoriai yra sukomplektuoti kartu su dažnio keitikliais. Kiekvienam ventiliatoriui, rotaciniam rekuperatoriui ir drėkintuvui yra suprojektuota:

- skaitmeninis valdiklio išėjimas ventiliatoriaus paleidimui;
- skaitmeninis valdiklio įėjimas ventiliatoriaus būsenai fiksuoti (veikia / neveikia);
- skaitmeninis valdiklio įėjimas ventiliatoriaus gedimui fiksuoti;
- analoginis valdiklio išėjimas ventiliatoriaus greičiui keisti;
- 400 V maitinimas.

Rotaciniam rekuperatoriui taip pat yra numatytas skaitmeninis skirtuminio slėgio jutiklis. Pasiėkus jutiklyje nustatytą reikšmę pastato valdymo sistemos operatorius mato, kad rekuperatorius yra užterštas.

Pasirinktoje vėdinimo sistemoje yra numatyti temperatūros, drėgmės, oro taršos bei slėgio jutikliai. Vieni jų yra informaciniai, kiti dalyvauja valdymo algoritmuose. Jeigu būtų poreikis keisti vėdinimo sistemos valdymo veikimo principą, informacinius jutiklius būtų galima naudoti valdymo algoritmuose.

Sistemoje naudojami temperatūros jutikliai:

- TE1 – iš šilumokaičio grąžinamo karšto vandens temperatūra. Ji fiksuoja, kiek karšto vandens šilumos yra perduodama vėdinimo sistemos orui pašildyti;
- TE2 – jutiklis, pagal kurio parametrus galima nusakyti rekuperatoriaus efektyvumą. Jo įrengimo vieta yra tiesiai už rekuperatoriaus. Lyginant TE7, TE5 ir TE2 jutiklių išmatuotas reikšmes galima

apskaičiuoti, kaip efektyviai rekuperatorius dirba – kiek šilumos / šalčio „paima“ iš patalpų šalinamo oro;

- TE3 – jutiklis, esantis iškart už vėsinimo sekcijos. Juo yra fiksuojama atvėsinto oro temperatūra;
- TE4 – tiekiamo į patalpas oro temperatūros jutiklis;
- TE5 – šalinamo iš patalpų oro temperatūros jutiklis;
- TE6 – išmetamo į lauką oro temperatūros jutiklis;
- TE7 – tiekiamo iš lauko oro temperatūros jutiklis.

Sistemoje naudojami slėgio jutikliai:

- PE1 – tiekiamo į patalpas oro slėgio jutiklis;
- PE2 – šalinamo iš patalpų oro slėgio jutiklis.

Šie jutikliai atlieka labai svarbų vaidmenį valdant vėdinimo sistemas. Valdymo programa, naudodama jutiklių užfiksuotas reikšmes, valdo tiekiamo ir šalinamo oro ventiliatorių sūkius. Yra nustatytos tam tikros slėgių reikšmės. Vėdinimo sistemos užduotis yra palaikyti tokius slėgius sistemoje. Taigi, programa lygina nustatytą slėgio reikšmę su PE1 jutiklio išmatuota reikšme ir tokiu būdu didina / mažina ventiliatoriaus sūkius PID reguliatoriumi, bandydama palaikyti reikiamą slėgį. Atitinkama priklausomybė yra ir tarp šalinamo oro ventiliatorių sukimosi greičio, nustatytos palaikyti slėgio reikšmės ir PE2 jutiklio išmatuotų parametrų.

Sistemoje naudojami drėgmės jutikliai:

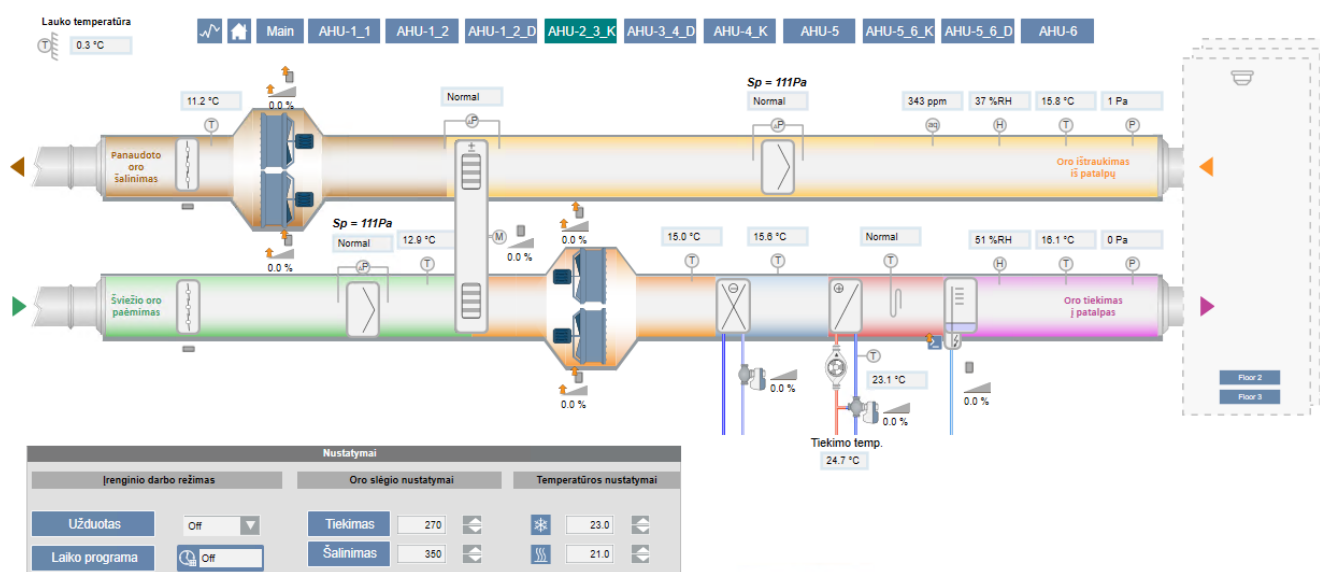
- ME1 – tiekiamo į patalpas oro drėgmės jutiklis;
- ME2 – šalinamo iš patalpų oro drėgmės jutiklis.

Valdant svarbiausias yra šalinamo iš patalpų oro drėgmės jutiklis (ME2). Pastato valdymo sistemos (PVS) operatorius nustato atitinkamą drėgmės reikšmę, kuri turėtų būti palaikoma patalpose. Jeigu ME2 jutiklio išmatuota drėgmė yra mažesnė, įjungiamas drėkintuvas ir po truputį didinant jo darbo intensyvumą į patalpas yra tiekiamas drėgnesnis oras. Jeigu ME2 jutiklio išmatuota drėgmė yra didesnė už nustatytąją, drėkintuvas išjungiamas, oras yra atvėsinamas šaldymo sekcijoje ir tokiu būdu išsausinamas. Kadangi šildymo sekcija yra už vėsinimo sekcijos, atvėsintas ir tokiu būdu išsausintas oras yra pašildomas iki nustatytos temperatūros ir tiekiamas į patalpas, taip sausinant patalpų orą.

QE1 – šalinamo iš patalpų oro kokybės jutiklis. Šiuo atveju vėdinimo sistemoje jis yra informacinis, tačiau ateityje yra sudaryta galimybė vėdinimo sistemą valdyti pagal patalpose esančio oro kokybę.

2.2. Vėdinimo sistemos vizualizacija naudojant „Siemens Desigo CC“ programinį paketą

Remdamiesi pateikta vėdinimo sistemos funkcinė schema ir panaudoję analitinėje dalyje aprašytą „Siemens“ gamintojo „Desigo CC“ programinį paketą sudarėme vėdinimo sistemos vizualizaciją, kurią naudojant galima stebėti bei valdyti vėdinimo sistemos darbą ir peržiūrėti visos įrangos darbo istoriją. Vizualizacija skirta stebėti sistemos darbą ir, esant poreikiui, jai valdyti. Sistemos vaizdas yra kuriamas priskiriant prie tam tikrų dydžių programos kintamuosius, kuriant simbolius, kurie judėtų, keistų spalvą ir pan., pakitus kintamojo dydžiui. Sudarytą vėdinimo sistemos vizualizaciją galima matyti 2.2 pav.

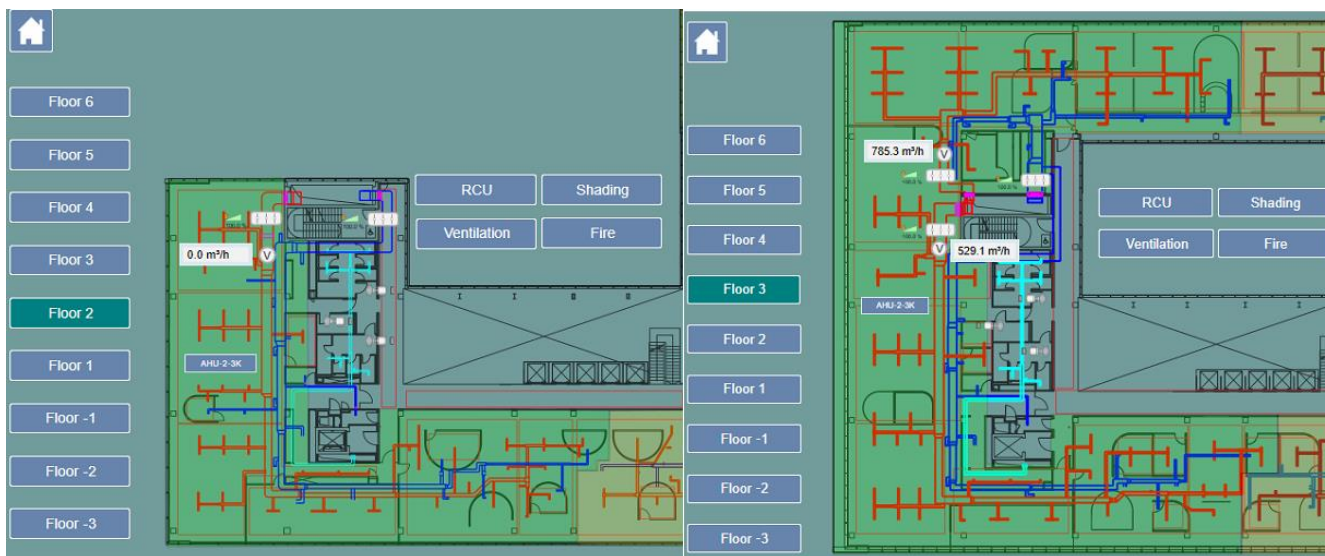


2.2 pav. Sudaryta tiriamos vėdinimo sistemos vizualizacija naudojant „Desigo CC“ programinį paketą

Naudojant šią programą galima keisti vėdinimo sistemos darbo režimą, keisti nustatytąsias palaikyti slėgių bei temperatūrų reikšmes, nustatyti laiko programą, pagal kurią keisis vėdinimo sistemos darbo režimas. Sistema fiksuoja kiekvieno vizualizacijoje pavaizduoto įrenginio darbo istoriją, jutiklio rodmenų pasikeitimo istoriją ir darbo režimo kaitą. Visus šiuos duomenis galima matyti grafike ar lentelėje.

2.3. Tyrimui atlikti pasirinktose patalpose sumontuota automatikos įranga

Iš viso tiriamajame pastate yra šeši administracinės paskirties aukštai ir trys aukštai po žeme – automobilių stovėjimo aikštelė. Pasirinkta tirti vėdinimo sistema vėdina pusę antro ir pusę trečio aukšto (žr. 2.3 pav.).



2.3 pav. Tyrimui atlikti pasirinktų patalpų planai

Kiekvienoje patalpoje yra įrengtos tiekiamo ir šalinamo oro sklendės su valdomomis pavaromis ir oro kokybės jutikliai, kurie yra integruoti į mikroklimato valdymo pultelius (žr. 2.4 pav.)



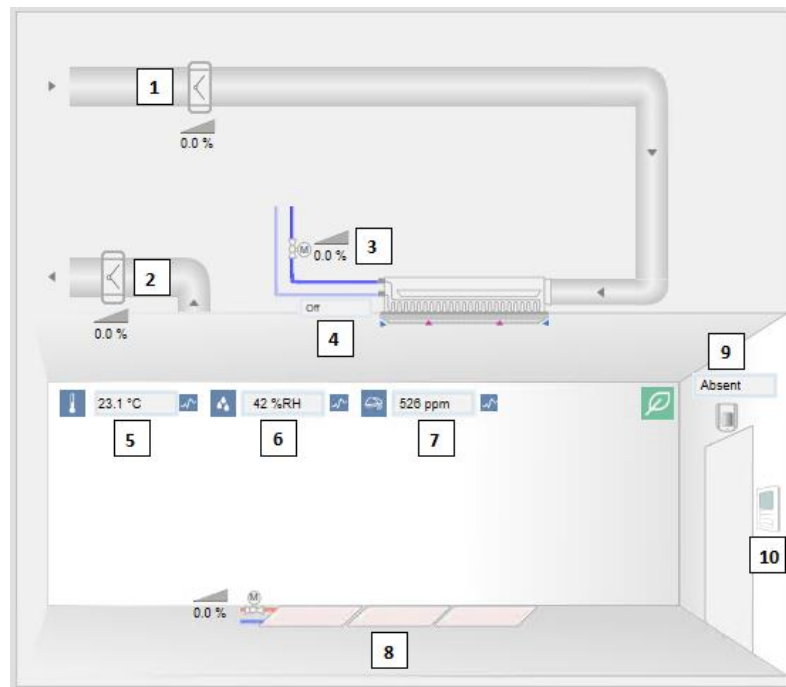
2.4 pav. Temperatūros valdymo pultelis QMX3. P74 su integruotais temperatūros, drėgmės ir oro kokybės jutikliais

Naudojant šią įrangą galima keisti tiekiamo oro kiekį patalpose, atsižvelgiant į poreikį vėdinti. Aukštuose didžioji dalis vietų yra atviros erdvės, kurios yra suskirstytos į atskiras mikroklimato valdymo zonas. Kiekvienoje zonoje yra įrengtas mikroklimato valdymo pultelis, kurio viduje sumontuoti

oro kokybės, temperatūros ir drėgmės jutikliai. Oro kokybės jutikliai atlieka svarbų vaidmenį, kai vėdinimo sistema dirba vėdinimo pagal poreikį (DCV) valdymo režimu. Naudodamiesi pulteliais, darbuotojai gali stebėti lauko oro temperatūrą, vidaus oro temperatūrą, koreguoti nustatytą palaikyti temperatūrą ir matyti oro kokybę patalpoje.

Už vidaus mikroklimato valdymą yra atsakinga vidaus automatika, kuri susideda iš temperatūros, drėgmės, oro kokybės jutiklių, rasos taško ir būvio jutiklių, tiekiamo bei šalinamo oro pavarų, šalčio sijose esančių, šaltnešio cirkuliaciją valdančių, pavarų bei grindinių konvektorių šilumą reguliuojančių (ribojant karšto vandens cirkuliaciją) pavarų. Visa ši įranga yra gerą patalpų mikroklimatą užtikrinanti automatika, kuri yra pagalbinė priemonė centrinėms vėdinimo, šildymo ir oro kondicionavimo sistemoms, padedanti koreguoti tiekiamo oro, šaltnešio arba karšto vandens temperatūrą bei kiekį.

Kiekvienos patalpos mikroklimatą valdanti įranga yra pavaizduota pastatų valdymo SCADA sistemoje, kurią naudodamas operatorius gali stebėti įrangos darbą ir, esant poreikiui, jį koreguoti. 2.5 pav. yra pateiktas pastatų valdymo sistemoje matomas patalpos įrangos medis.



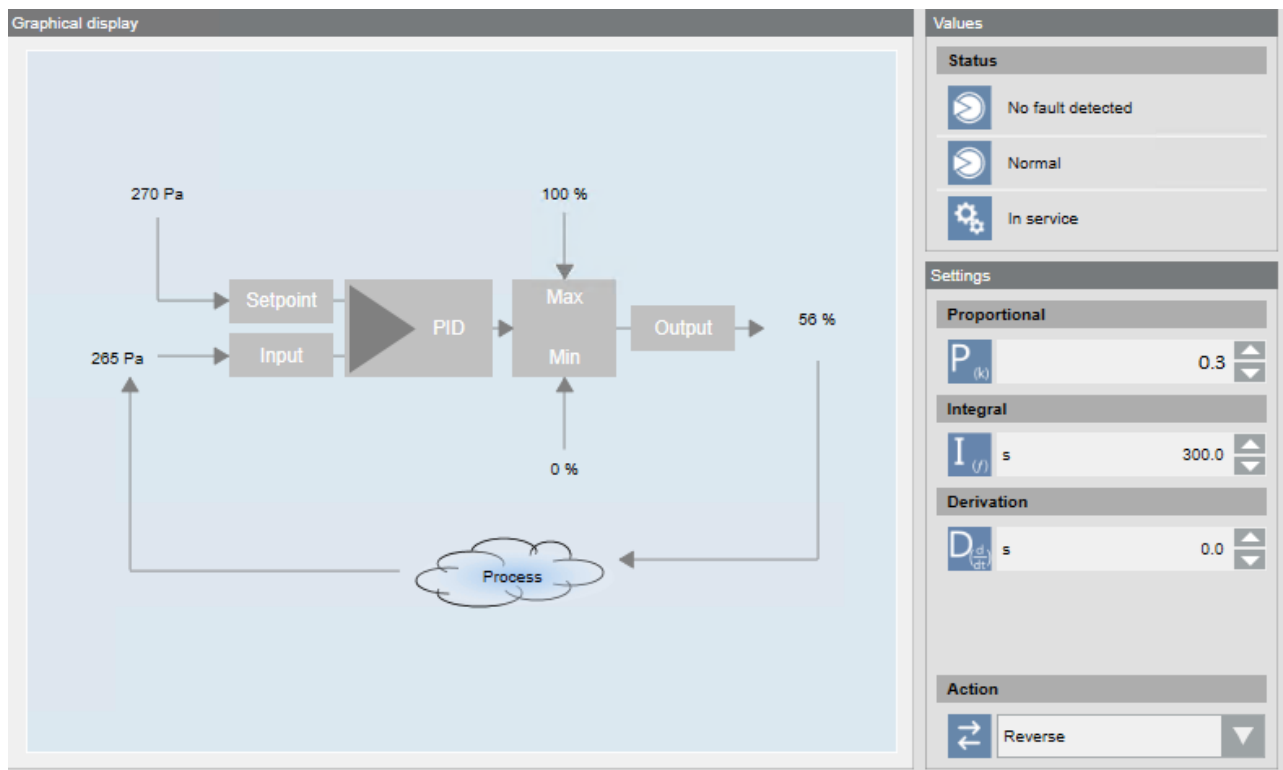
2.5 pav. Tyrimui atlikti pasirinktose patalpose sumontuota įranga

Toliau pateikti 2.5 pav. pavaizduotos įrangos paaiškinimai:

1. Tiekiamo oro pavara;
2. Šalinamo oro pavara;
3. Šaltnešio pavara;

4. Rasos taško jutiklis;
5. Patalpos oro temperatūra;
6. Patalpos oro drėgmė;
7. Patalpos oro kokybė;
8. Grindinis konvektorius;
9. Būvio jutiklis;
10. Mikroklimato valdymo pultelis su integruotais temperatūros, drėgmės ir oro kokybės jutikliais.

Didžioji dalis pastate naudojamos už mikroklimato parametrų valdymą atsakingos įrangos yra valdoma PID reguliatoriais. Nuo PID reguliatorių parametrų priklauso, kaip greitai kinta valdomos įrangos greitis, atsidarymo / užsidarymo kampas ir pan. 2.6 pav. yra pateiktas „Desigo CC“ pastatų valdymo sistemoje pavaizduotas vėdinimo sistemos ventiliatorių darbą valdantis PID reguliatorius ir jo pagrindiniai parametrai.



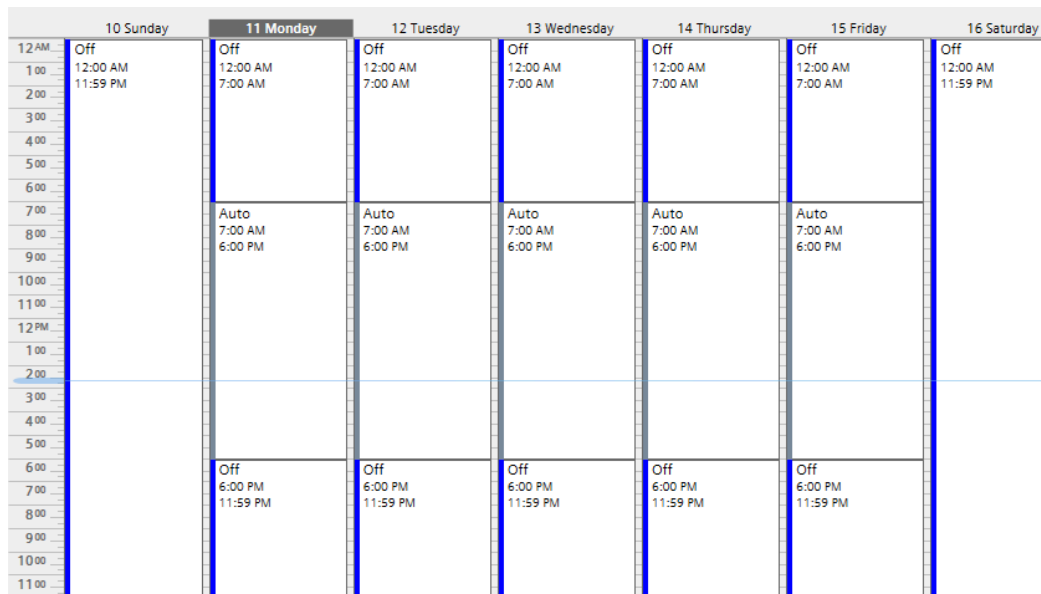
2.6 pav. Tiriamos vėdinimo sistemos ventiliatorių darbą reguliuojančio PID reguliatoriaus parametrai

Dažniausiai visi PID reguliatorių parametrai yra nustatomi pagal standartines, gamintojo nurodytas rekomendacijas ir yra koreguojami projekto metu, eksperimentiniu būdu. 2.6 pav. pavaizduoto PID reguliatoriaus parametrai yra nustatyti lėtam ventiliatorių darbui. Taip yra todėl, kad slėgis vėdinimo sistemoje yra labai inertiškas ir jam suvaldyti reikalingi lėti pereinamieji procesai.

2.4. Vėdinimo sistemos, veikiančios CAV valdymo principu, pagal nustatytą laiko programą, tyrimas

Visa vėdinimo sistema valdoma per PLV (programuojamus loginius valdiklius) ir SCADA vaizdavimo sistemą. Naudodami „Desigo CC“ vizualizacinę sistemą nustatėme vėdinimo sistemos darbo laiko programą, pagal kurią vėdinimo sistema nustatyto paros laiku dirba užtikrindama projekcinį slėgį vėdinimo sistemoje, tuo pačiu ir tinkamą oro kiekį patalpose. Visos VAV (reguliuojamo oro kiekio) sklendės patalpose bandymo metu buvo laikomos atidarytos, taip imituojant paprastą vėdinimo sistemos CAV (pastovaus oro kiekio) valdymą.

Vėdinimo sistemos laiko programa buvo nustatyta taip, kad kiekvieną rytą, 7.00 val., sistema įsijungtų ir veiktų pagal jai nustatytą, projekcinį, slėgį ir kiekvieną vakarą, 18.00 val., po patalpose dirbančių žmonių darbo valandų, vėdinimo sistema išjungiamą. 2.7 pav. yra pateiktas „Desigo CC“ pastato valdymo sistemoje nustatytas laiko grafikas.



2.7 pav. Vėdinimo sistemos laiko programos nustatymai

Bendradarbiaujant su vėdinimo sistemų projektuotojais ir balansuotojais, vėdinimo sistemai buvo nustatytos palaikyti slėgių reikšmės, užtikrinančios atitinkamą slėgį, kuriam esant kiekvienoje patalpoje būtų tinkamas oro kiekis, sąlygojantis gerą mikroklimatą. Taigi, tiekiamo oro slėgis buvo parinktas 270 Pa, šalinamo oro slėgis – 350 Pa.

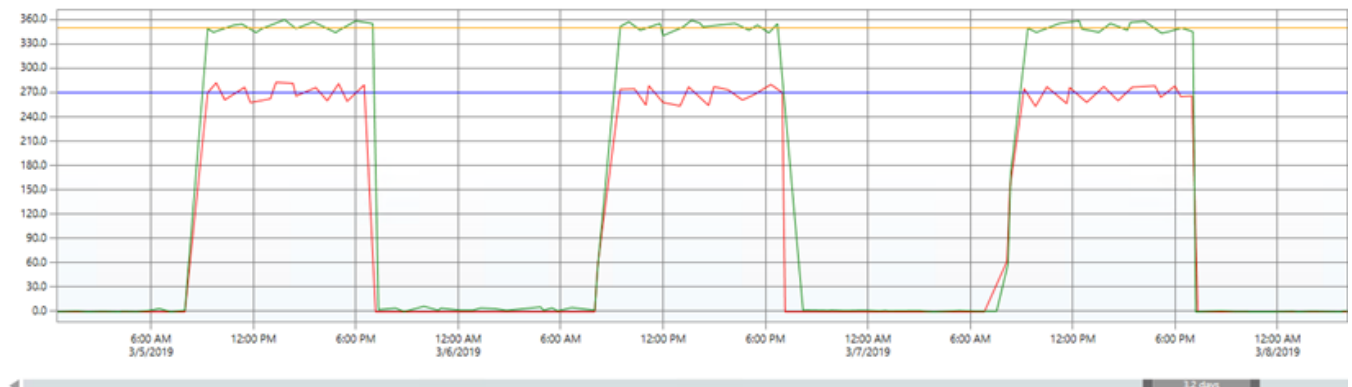
Tiekiamo oro temperatūra šildyti buvo nustatyta 21 °C, temperatūra vėsinti – 23 °C. Kiekvienoje šildymo ir vėsinimo sistemoje privalo būti nustatomos dvi temperatūrų reikšmės: šildymo temperatūra ir vėsinimo temperatūra, kad vienu metu neįsijungtų ir šildymas, ir vėsinimas. Vėdinimo

sistemai tai ypač aktualu, nes oras ir pašildomas, ir vėsinamas tame pačiame ortakyje. Tiesa, esant poreikiui patalpas sausinti, oras pirmiausia yra atšaldomas ir tokiu būdu išsausinamas, o tada pašildomas iki reikiamos tiekti į patalpas temperatūros. Pastato valdymo vizualizacinėje programoje pavaizduotą vėdinimo sistemos valdymo lentelę galima matyti 2.8 pav.

2.8 pav. Vėdinimo sistemos nustatymų lentelė

Vėdinimo sistemos, veikiančios pagal tokią laiko programą, tyrimas buvo atliekamas ne vieną kartą, tačiau dėl įvairių kliūčių: priešgaisrinių sistemų bandymų, vėdinimo sistemų testavimų ir panašių aplinkybių, bandymo nepavyko atlikti iš pirmo karto. Tiksliausias duomenis be jokių trikdžių pavyko gauti sistemą tiriant nuo kovo 5 dienos ryto iki kovo 7 dienos vakaro.

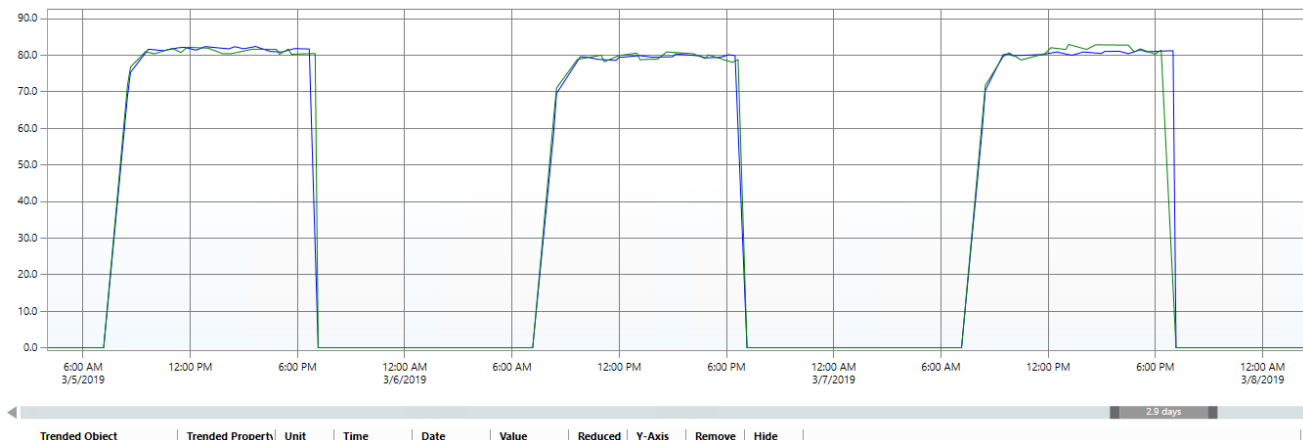
Naudodami „Siemens Desigo CC“ programinį paketą gavome vėdinimo sistemos šalinamo ir tiekiamo oro slėgių slėgių kaitos grafiką (žr. 2.9 pav.). Kintančios oro slėgių reikšmės yra įrašinėjamos kas 10 min ir tokiu būdu gaunamos kreivės.



2.9 pav. Slėgių kaita sistemai veikiant CAV valdymo režimu, pagal laiko programą

Mėlyna spalva yra pavaizduota tiekiamo oro slėgio nustatyta palaikyti reikšmė, raudona spalva – tiekiamo oro slėgio kitimo kreivė. Oranžinė spalva – šalinamo oro slėgio nustatyta palaikyti reikšmė, žalia – šalinamo oro slėgio kitimo kreivė. Kaip matoma grafike – sistemai nepavyksta išlaikyti visiškai pastovaus slėgio, nes vėdinimo sistema yra didelė, vėdina dviejų aukštų patalpas ir yra pakankamai inertiška. Taip pat įtakos galėjo turėti netinkama daviklių montavimo vieta (per arti ventiliatorių ir pan.). Tačiau slėgiai yra gana dideli, todėl ir jų paklaida kiek didesnė, negu būtų mažesnėse vėdinimo sistemose.

Tyrimo metu taip pat buvo užfiksuota ir ventiliatorių sukimosi intensyvumo kaita atitinkamu tyrimo laikotarpiu. Ventiliatorių sukimosi intensyvumo istorija grafiškai pavaizduota 2.10 pav.



2.10 pav. Vėdinimo sistemos ventiliatorių greičių kaita sistemai veikiant CAV valdymo režimu, pagal nustatytą laiko programą

Iš grafiko galima daryti išvadas, kad ventiliatoriai, esant praviroms visoms patalpų oro tiekimo ir šalinimo sklendėms, palaikydami pastovų slėgį sistemoje nustatytu laiko grafiku veikia vidutiniškai 80 % pajėgumu.

Panaudodami pastate įrengtą išmaniąją apskaitos duomenų nuskaitymo sistemą ir „Siemens Desigo CC“ vizualizacijos programinį paketą, sukūrėme logiką, kuri kiekvienos dienos pabaigoje, 23.00 val., generuotų elektros energijos apskaitos duomenis. Tyrimo laikotarpio duomenys pateikiami 2.4 lentelėje.

2.4 lentelė. Elektros energijos sąnaudos sistemai veikiant CAV režimu, pagal nustatytą laiko programą

Pavadinimas	Reikšmė	Dydis
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 1 dieną	10862,0498	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 2 dieną	10972,54004	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 3 dieną	11079,29004	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 4 dieną	11190,15039	kWh
Elektros energijos sąnaudos per pirmą parą	110,4902344	kWh
Elektros energijos sąnaudos per antrą parą	106,75	kWh
Elektros energijos sąnaudos per trečią parą	110,8603516	kWh
Bendras elektros energijos sunaudojimas per 3 d. d.	328,1005859	kWh

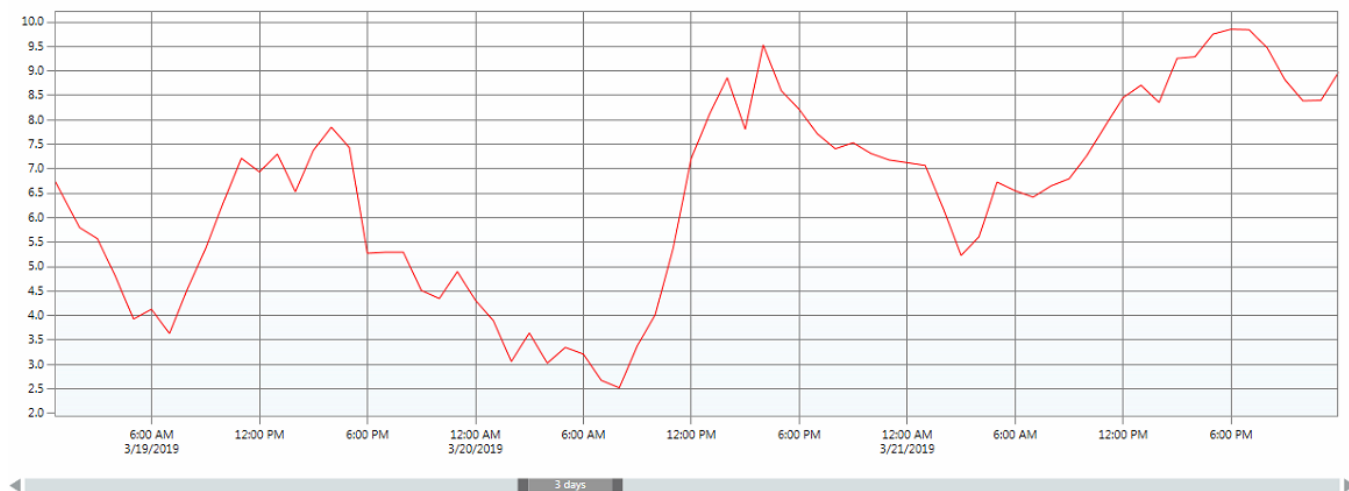
Iš elektros energijos sunaudojimo duomenų matome, kad vėdinimo sistemai veikiant pagal nustatytą laiko programą (nuo 7.00 val. ryto iki 18.00 val. vakaro) per parą vėdinimo sistema sunaudoja apie 110 kWh elektros energijos.

2.5. Vėdinimo sistemos, veikiančios DCV valdymo principu, esant žemesnei nei 10 °C lauko oro temperatūrai, tyrimas

Tyrimui atlikti buvo pasirinktos kovo 19–21 dienos. Pagrindiniai datos pasirinkimo kriterijai:

- lauko oro temperatūra dienos metu turėjo būti žemesnė, bet labai artima 10 °C (siekiant įrodyti, kad esant tokiai laiko oro temperatūrai pastate vis dar nėra poreikio vėsinti patalpas);
- turėjo būti darbo diena, t. y., pirmadienis–penktadienis.

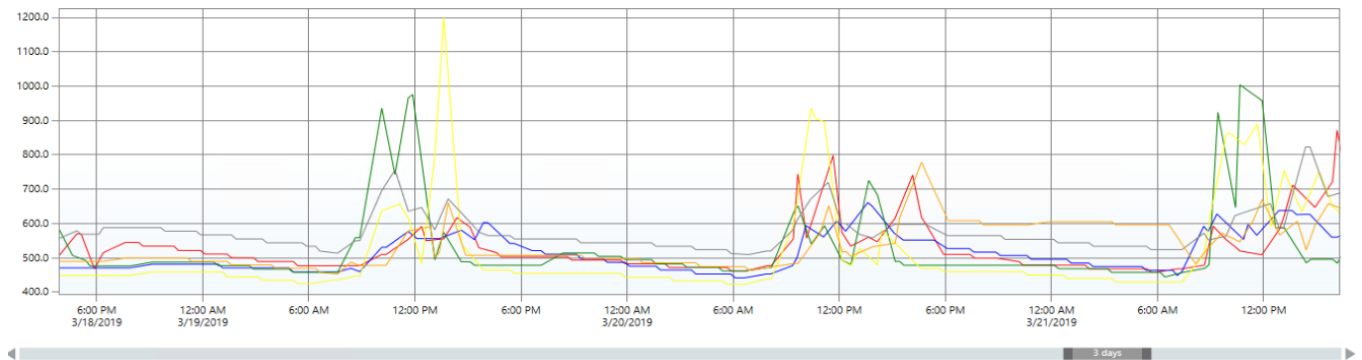
Atliekant šį tyrimą lauko oro temperatūra dieną siekė iki 9,5 °C. Tai galima matyti iš užfiksuotos lauko oro temperatūros istorijos (žr. 2.11 pav.).



2.11 pav. Lauko oro temperatūra 2019 m. kovo 19–21 dienomis

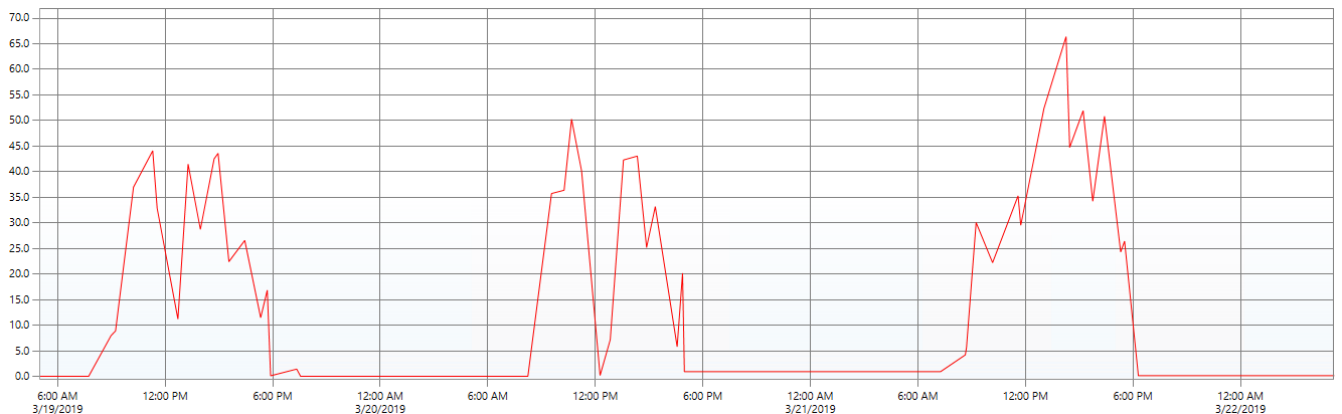
Atliekant šį bandymą visas VAV sklendes grąžiname į automatinio valdymo režimą. Bandymo metu kiekvienoje patalpoje nustatyta vėdinimui palaikyti reikšmė buvo 700 ppm. Kai patalpoje nėra judėjimo, nustatytoji reikšmė pakyla iki 900 ppm. Patalpoje pasiekus nustatytą patalpos oro taršos ribą, PID reguliatorius, priklausomai nuo to, kaip greitai patalpos oro tarša didėja, atidaro VAV sklendes. Reikia nepamiršti, kad patalpose, kurias vėdina pasirinkta tirti sistema, yra įrengtos šaltčio sijos. Tai reiškia, kad vėsinant patalpas taip pat atsidarinėja ir VAV sklendės. Nustatyta palaikyti temperatūros vėsinti reikšmė bandymo metu buvo 24 °C. Kadangi pastate yra įrengtos 0–10 V valdomos VAV sklendės, jos gali būti atidaromos 0–100 %, priklausomai nuo poreikio. Kiekvienoje VAV sklendėje yra integruoti valdikliai ir jutikliai. Jutikliai matuoja oro kiekį, pratekantį pro VAV sklendę. Valdiklyje yra nustatomi minimalus ir maksimalus oro kiekiai. Priklausomai nuo iš mikroklimato valdymo sistemos valdiklio gaunamo signalo (0–10 V), VAV sklendės yra atidaromos tiek, kad pratekantis oro kiekis neviršytų balansavimo metu nustatytų ribų. Kuo daugiau VAV sklendžių atsidaro, tuo labiau centrinėje vėdinimo sistemoje nukrenta slėgis. Dėl to vėdinimo sistema didina ventiliatorių sūkius.

Kaip ir pirmuoju atveju, kai vėdinimo sistema veikė pagal laiko programą, bandymas buvo atliekamas tris paras (kovo 19–21 dienomis). Naudodami „Desigo CC“ programinį paketą gavome tyrimui atlikti pasirinktų patalpų oro kokybės kaitos grafinį vaizdą (žr. 2.12 pav.).



2.12 pav. Tyrimui atlikti pasirinktų patalpų oro kokybės kaita sistemai veikiant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C

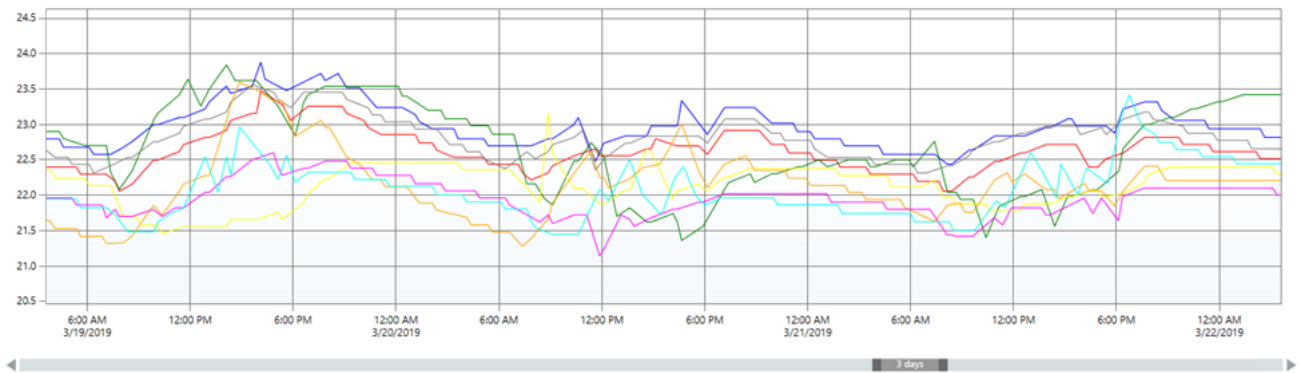
Iš gautos oro kokybės istorijos grafiko galime matyti, kad patalpų, kuriose būna daugiausia darbuotojų, oro tarša padidėja apie 11.00 val., sumažėja, kai darbuotojai pietauja, ir vėl ženkliai padidėja po pietų, apie 13–15 val. Oro taršos reikšmė nukrenta pasibaigus darbo valandoms, t. y. apie 18 val. Rezultatą aiškiau galima matyti 2.13 pav. pateiktame vėdinimo poreikio grafike.



2.13 pav. Vėdinimo poreikio kaita sistemai veikiant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C

Grafike užfiksuotas oro tiekimo poreikis, kuris nurodo, kiek procentų patalpų bandymo metu reikėjo vėdinti. Tai nulėmė vėdinimo sistemos darbo grafiką ir patalpų vėdinimo efektyvumą.

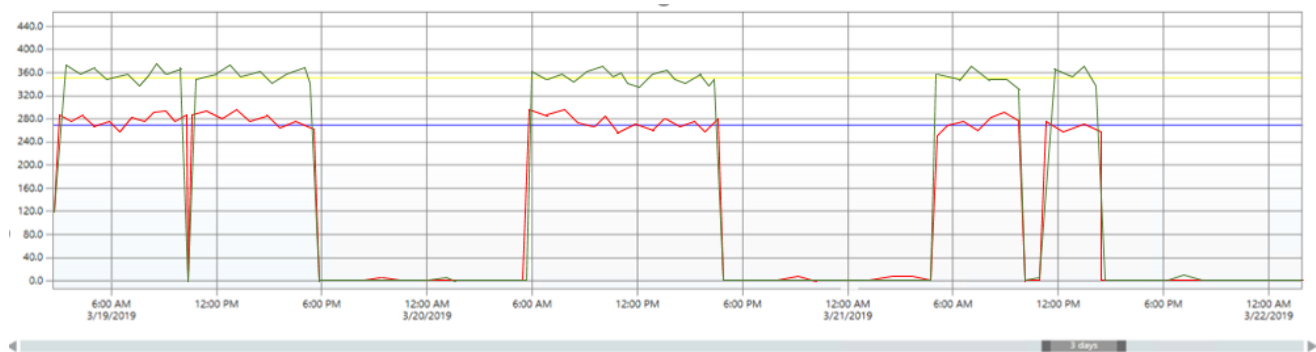
Kadangi VAV sklendės taip pat reikalingos vėsinant patalpas, 2.14 pav. pateikta tyrimui atlikti pasirinktų patalpų temperatūrų kaitos istorija tyrimo laikotarpiu.



2.14 pav. Tyrimui atlikti pasirinktų patalpų temperatūrų kaita sistemai veikiant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C

Iš grafiko matome, kad temperatūra niekada nebuvo pasiekusi nustatytos reikšmės, todėl tyrimo metu vėsinimo poreikio nebuvo. Tai reiškia, kad VAV sklendės buvo naudojamos tik patalpoms vėdinti.

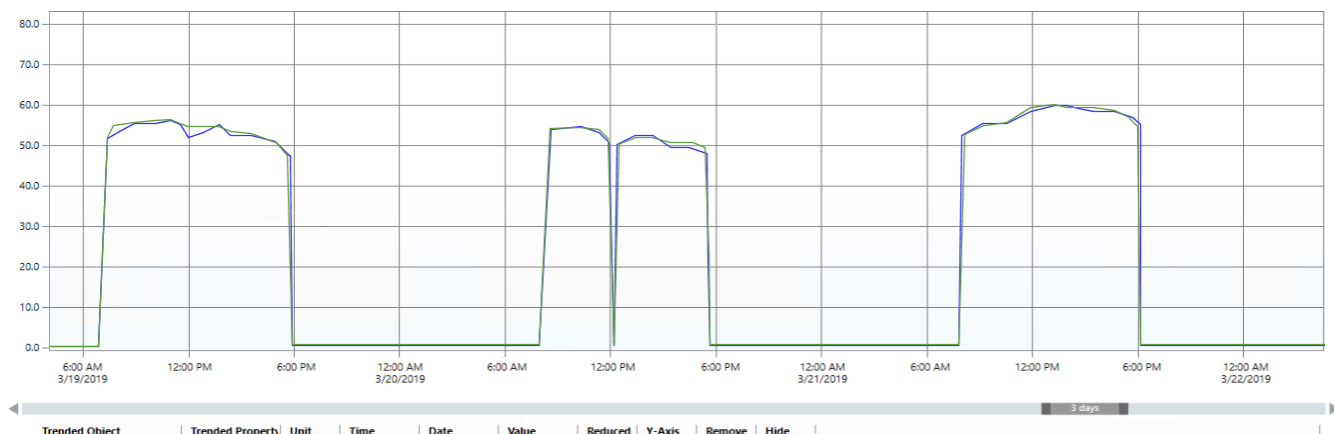
Naudojant DCV (vėdinimo pagal poreikį) valdymo būdą didesnių slėgio šuolių centrinėje vėdinimo sistemoje nebuvo. Buvo matomi nedideli slėgio nuokrypiai, kurie užfiksuoti ir tada, kai vėdinimo sistema veikia pagal laiko programą. Slėgių kaitos istorija tyrimo atlikimo metu iliustruojama 2.15 pav.



2.15 pav. Slėgių kaita sistemai veikiant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C

Kadangi kiekvienoje patalpoje buvo naudojamos VAV sklendės, dėl jų kintančios padėties galėjo kisti slėgis centrinėje vėdinimo sistemoje. Tačiau iš grafiko matyti, kad vėdinimo sistema puikiai susitvarkė stabilizuodama slėgius. Tam turėjo įtakos ir tai, kad VAV sklendės yra valdomos 0–10 V įtampa. Tokiu būdu jos nėra iškart atidaromos arba uždaromos. Visa tai vyksta palaipsniui, nesukeliant centrinėje sistemoje didelių slėgio pokyčių.

Šio tyrimo metu, kaip ir pirmuoju atveju, kai vėdinimo sistema veikė pagal nustatytą laiko programą, buvo fiksuojama vėdinimo sistemos ventiliatorių darbo istorija (žr. 2.16 pav.).



2.16 pav. Vėdinimo sistemos ventiliatorių sukimosi intensyvumo kaita naudojant DCV sistemą, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C

Iš grafiko matome, kad bandymo metu ventiliatorių sukimosi intensyvumas svyravo tarp 50 % ir 60 %. Tai yra 20–30 % mažesnis sukimosi greitis, negu sistemai veikiant pagal laiko programą. Tiesa, poreikis vėdinti patalpas padidėja praktiškai tuo pačiu metu, kaip ir valdant vėdinimo sistemą pagal nustatytą laiko programą. Tai įrodo, kad vėdinimo sistemai nustatyta laiko programa buvo pasirinkta teisingai. Naudojant tokį vėdinimo sistemos valdymo būdą aiškiai matoma, kad ventiliatorių sukimosi greitis yra sumažinamas nuo 80 % iki 55 %. Tai puikiai atsispindi ir gautose elektros energijos sąnaudos, kurios yra pateiktos 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė. Elektros energijos sąnaudos sistemai dirbant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C

Pavadinimas	Reikšmė	Dydis
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 1 dieną	12036,42969	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 2 dieną	12098,74593	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 3 dieną	12160,22387	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 4 dieną	12223,02827	kWh
Elektros energijos sąnaudos per pirmą parą	62,31623906	kWh
Elektros energijos sąnaudos per antrą parą	61,47794344	kWh
Elektros energijos sąnaudos per trečią parą	62,80440344	kWh
Bendras elektros energijos sunaudojimas per 3 d. d.	186,5985859	kWh

Analizuodami elektros energijos apskaitos duomenis matome, kad vėdinimo sistemai veikiant DCV (vėdinimo pagal poreikį) principu, per parą vėdinimo sistema sunaudoja apie 62 kWh

elektros energijos. Lyginant su vėdinimo sistema, veikiančia pagal nustatytą laiko programą, DCV sistema sutaupo vidutiniškai 47,17 kWh per parą. Vadinas, jeigu per mėnesį yra 21 darbo diena, naudojant tokį vėdinimo sistemos valdymo būdą, yra sutaupoma apie 990,57 kWh.

Tyrimas buvo atliktas pereinamuoju metų laikotarpiu, kai pastato patalpų nereikėjo vėsinti ir lauko oro temperatūra nesiekė 10 °C. Administraciniuose pastatuose patalpos pradedamos vėsinti tada, kai lauko oro temperatūra pasiekia aukštesnę nei 10 °C ribą. Tai reiškia, kad teoriškai patalpų vėsinti nereikia mažiausiai keturis mėnesius per metus. Taigi, netgi neatsižvelgiant į šiltąjį metų periodą, kurio metu vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudos taip pat būtų mažesnės, nes vėsinti ir vėdinti reikia ne kiekvieną patalpą, būtent su šia vėdinimo sistema, veikiančia DCV valdymo principu, šio tyrimo rezultatai galėtų mažiausiai keturis mėnesius per metus. Taigi, vien tik per šį laikotarpį galima būtų sutaupyti iki 4000 kWh.

Tiriamajame pastate iš viso yra šešios vėdinimo sistemos su panašaus galingumo ventiliatoriais. Darant prielaidą, kad visose patalpose vėdinimo poreikis šaltuoju metų laiku (apie keturis mėnesius) būtų panašus ir, kad visų vėdinimo sistemų įranga yra identiška, galima būtų sutaupyti iki 24000 kWh per metus.

2.6. Vėdinimo sistemos, veikiančios DCV valdymo principu, esant 10–20 °C lauko oro temperatūrai, tyrimas

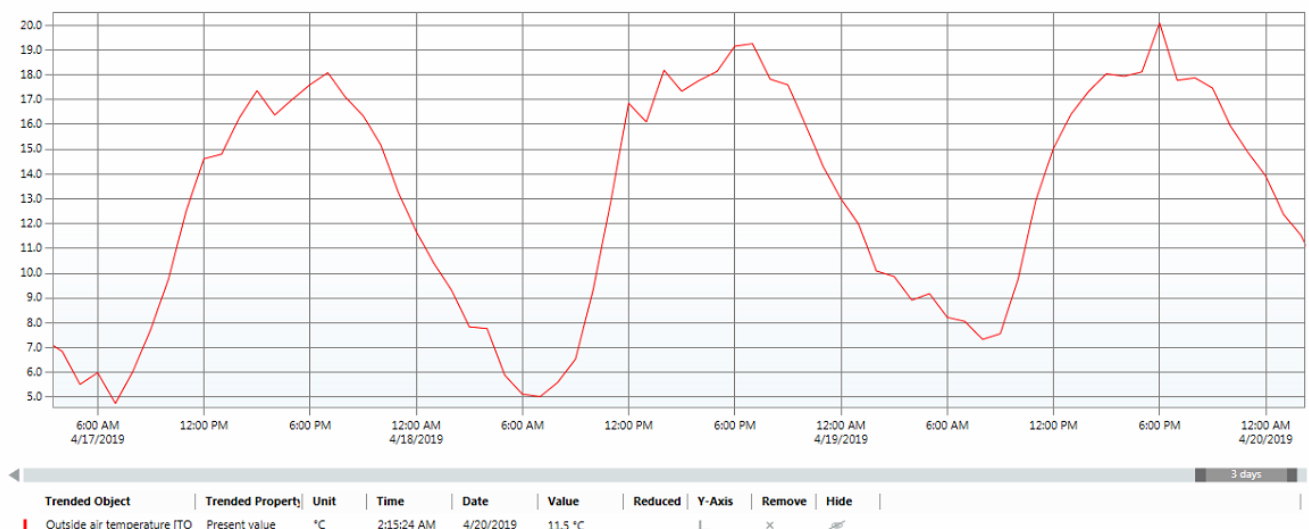
Pirmasis DCV principu veikiančios vėdinimo sistemos tyrimas buvo atliktas šaltuoju metų periodu, kai patalpose nebuvo vėsinimo poreikio. Šiame skyriuje pateikiami tyrimo rezultatai apie poreikį patalpas vėsinti ir vėdinti, ventiliatorių sūkių sistemoje kaitą ir elektros energijos sąnaudas, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C. Tyrimui atlikti buvo pasirinktos 2019 m. balandžio 17–19 dienos. Pagrindiniai datos pasirinkimo kriterijai:

- lauko oro temperatūra dienos metu turėjo būti aukštesnė už 10 °C;
- turėjo būti darbo diena, t. y., pirmadienis–penktadienis.

Kai lauko oro temperatūra yra aukštesnė už 10 °C, patalpas reikia vėsinti ir vėdinti. Programa atidaro VAV oro tiekimo ir šalinimo sklendes tokiu būdu sumažindama slėgį centrinėje vėdinimo sistemoje. Slėgiui mažėjant vėdinimo sistema didina tiekiamo ir šalinamo oro ventiliatorių sūkius, o dėl to didėja elektros energijos sąnaudos.

Kaip ir ankstesnių tyrimų metu, šiuo atveju vėdinimo sistemos darbą stebėjome tris darbo dienas, kai patalpose buvo darbuotojų. Atliekant šį tyrimą lauko oro temperatūra dienos metu siekė iki

15–20 °C. Tai matoma lauko oro temperatūros kaitos grafike (žr. 2.17 pav.), kurį gavome naudodami „Siemens Desigo CC“ programinį paketą.



2.17 pav. Lauko oro temperatūra 2019 m. balandžio 17–19 dienomis

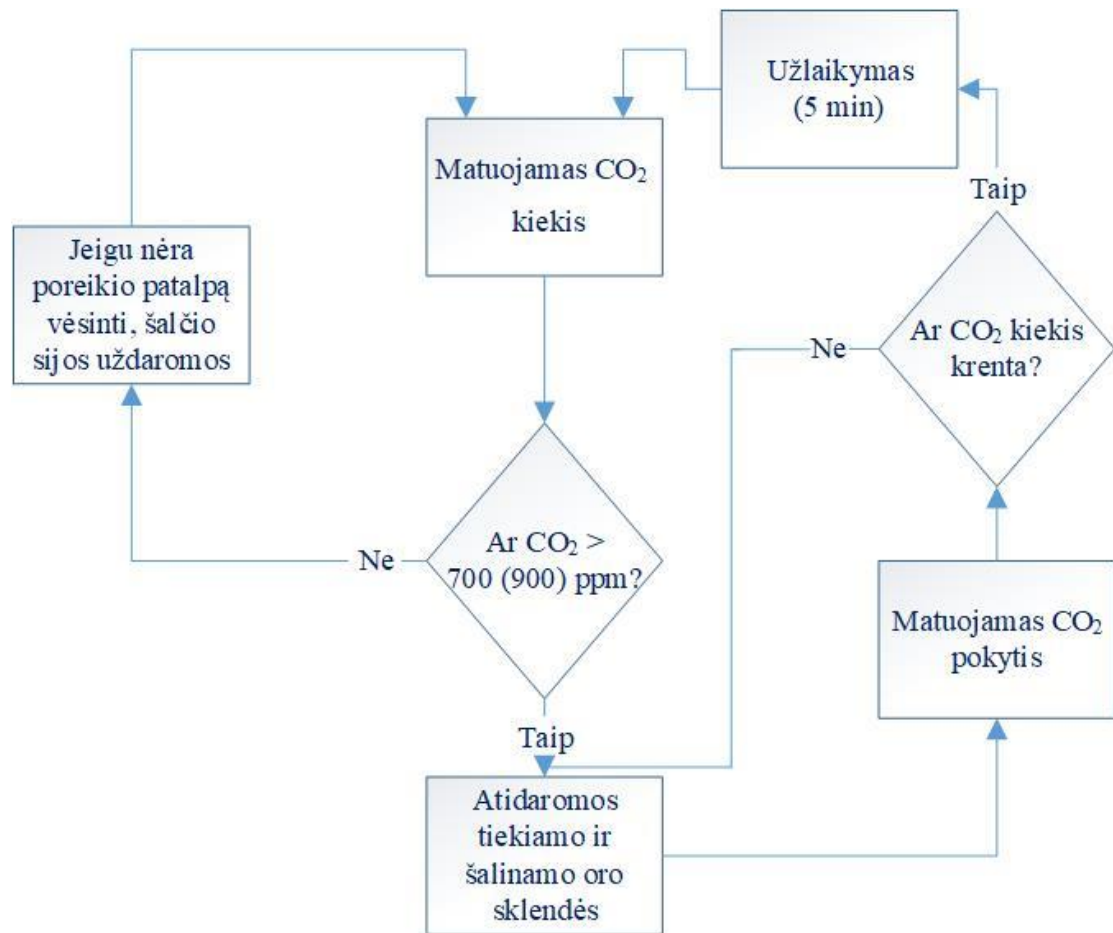
Pastato mikroklimato valdymo sistemos programa yra sudaryta įvertinus pastato energijos sąnaudas ir darbuotojų komfortą. Tokiu būdu kiekvienos patalpos mikroklimato programa gali veikti „Comfort“ režimu arba „Pre-comfort“ režimu. „Comfort“ režimas yra natūralus sistemos darbo režimas, kai patalpose yra darbuotojų. „Pre-comfort“ darbo režimas taip pat yra skirtas palaikyti tinkamą mikroklimatą patalpose, tačiau šiam režimui yra nustatomi žemesni rodikliai ir jis veikia mikroklimato programą, kai patalpoje nėra darbuotojų. Taigi, šių darbo režimų skirtumas yra nustatytosios palaikyti temperatūrų ir oro kokybės reikšmės. Darbo režimas yra valdomas pagal būvio jutiklių, įrengtų kiekvienoje patalpoje, būseną.

„Comfort“ režimas patalpose yra įjungiamas, kai atitinkamos patalpos būvio jutiklis užfiksuoja judesį. Jeigu jutiklis nefiksuoja judesio daugiau kaip 10 min., patalpos mikroklimato sistema perjungiama į „Pre-comfort“ darbo režimą ir tokiu būdu pasikeičia nustatytoji palaikyti oro kokybės reikšmė. Reikšmės yra įprogramuojamos, tačiau pagrindinis mikroklimato valdymo programos tikslas yra daryti viską, kad oro tarša patalpose būtų žemesnė už 1000 ppm. Nustatytosios palaikyti oro kokybės reikšmės yra tokios:

- „Comfort“ – 700 ppm;
- „Pre-comfort“ – 900 ppm.

Tai reiškia, kad, kai oro tarša patalpoje pasiekia 700 ppm ir patalpoje yra darbuotojų, VAV oro sklendei iš valdiklio yra siunčiama komanda atsidaryti. Jeigu patalpoje nėra žmonių, šis procesas vyksta oro taršai pasiekus 900 ppm.

Tam, kad lengviau būtų suprasti oro kokybės patalpose valdymą, 2.18 pav. pateikiamas paprastesnis oro kokybės valdymo algoritmas.



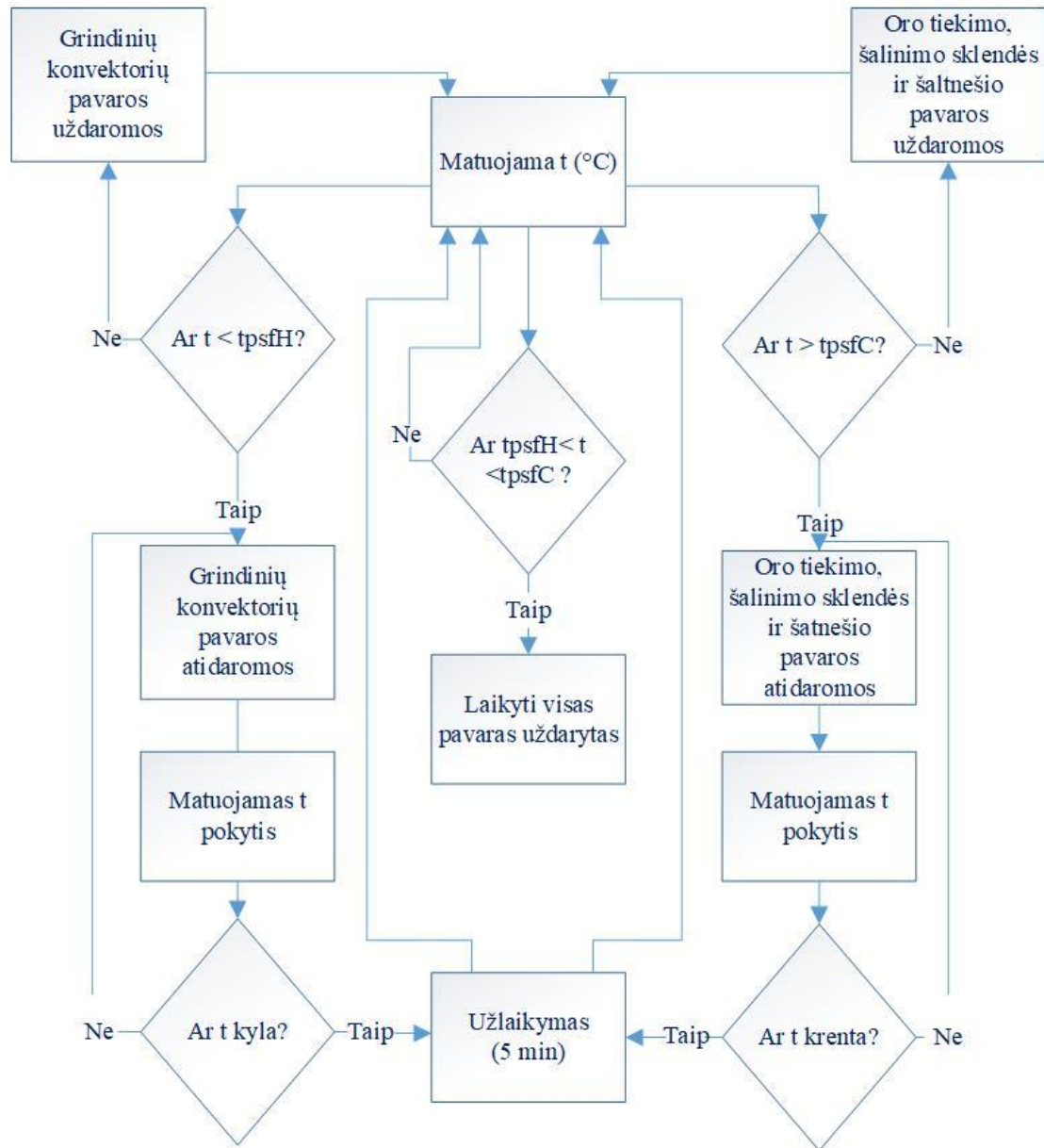
2.18 pav. Oro kokybės patalpose valdymo algoritmas

Kiekvienoje patalpoje yra matuojama oro kokybė. Jeigu oro kokybė viršija nustatytąją ribą, kuri „Comfort“ režime yra 700 ppm, o „Pre-comfort“ režime – 900 ppm, sistema atidaro tiekiamo bei šalinamo oro sklendes. Jeigu patalpoje oro kokybė nukrenta žemiau nustatytosios – tiekiamo ir šalinamo oro sklendės užsidaro.

Labai panašus valdymo algoritmas galioja ir temperatūros valdymui. Yra nustatytos tam tikros nustatytųjų palaikyti temperatūrų reikšmės tiek „Comfort“ darbo režimui, tiek „Pre-comfort“ darbo režimui. Jeigu oro temperatūra nukrenta žemiau nustatytosios šildyti temperatūros – sistema atidaro grindinių konvektorių pavaras. Jeigu oro temperatūra pakyla aukščiau vėsinimo

temperatūros – atidaromos šalčio pavaros, oro tiekimo ir šalinimo sklendės. Kai patalpoje pasiekama nustatytoji temperatūra – pavaros uždaromos.

Tam, kad lengviau būtų suprasti temperatūros patalpose valdymo principą, 2.19 pav. pateikiamas paprastesnis temperatūros valdymo algoritmas.



2.19 pav. Temperatūros valdymo algoritmas

Algoritme :

- t – patalpos temperatūra;
- $tpsH$ – temperatūra šildyti;
- $tpsC$ – temperatūra vėsinti.

„Comfort“ režimui nustatytos palaikyti temperatūrų reikšmės šiltuoju metų laiku (kai lauko oro temperatūra yra aukštesnė nei 10 °C):

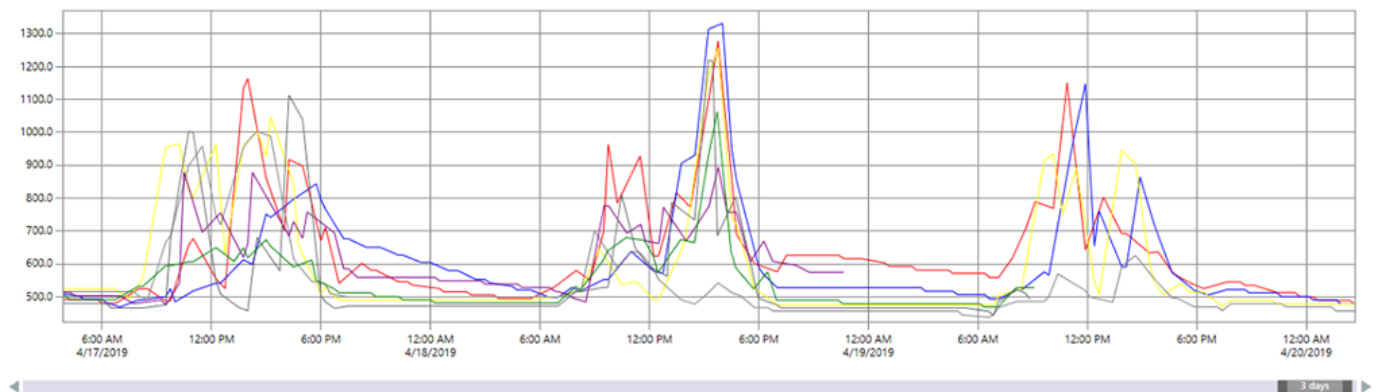
- temperatūra šildyti – 21 °C;
- temperatūra vėsinti – 23 °C.

„Pre-comfort“ režimui nustatytos palaikyti temperatūrų reikšmės šiltuoju metų laiku (kai lauko oro temperatūra yra aukštesnė nei 10 °C):

- temperatūra šildyti – 20 °C;
- temperatūra vėsinti – 24 °C.

Iš pateiktų oro kokybės ir temperatūros valdymo algoritmų matome, kad tiekiamo ir šalinamo oro sklendės atsidaro prireikus tiek vėdinti, tiek vėsinti. Žinant veikimo algoritmus galima lengviau suprasti, kodėl pasibaigus darbo valandoms (kai patalpose nebelieka darbuotojų) patalpas reikia vėsinti mažiau.

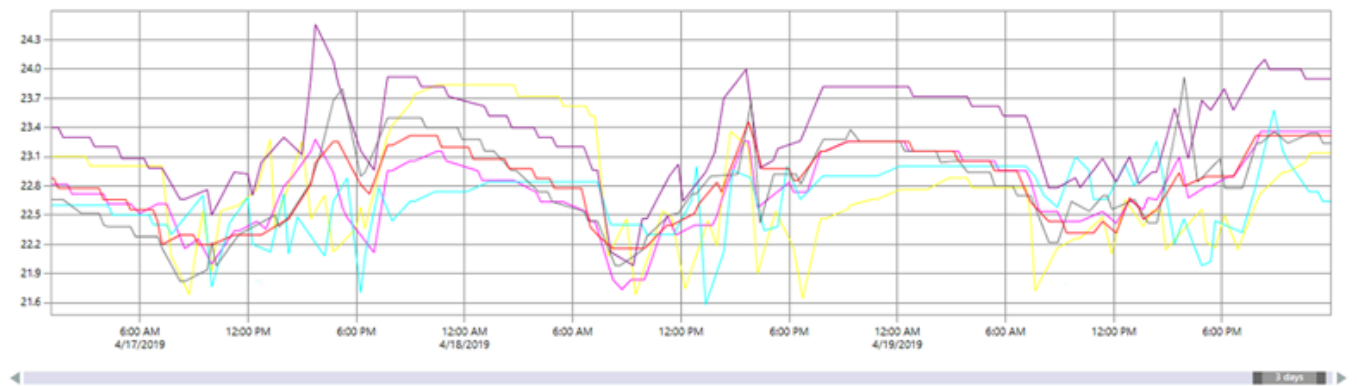
Taigi, tyrimas buvo atliktas 2019 m. balandžio 17–19 dienomis, kai lauko oro temperatūra siekė 15–20 °C. Panaudoję pastato valdymo sistema grafiškai užfiksavome oro kokybės kaitos duomenis (žr. 2.20 pav.).



2.20 pav. Tyrimui atlikti pasirinktų patalpų oro kokybės kaita sistemai veikiant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C

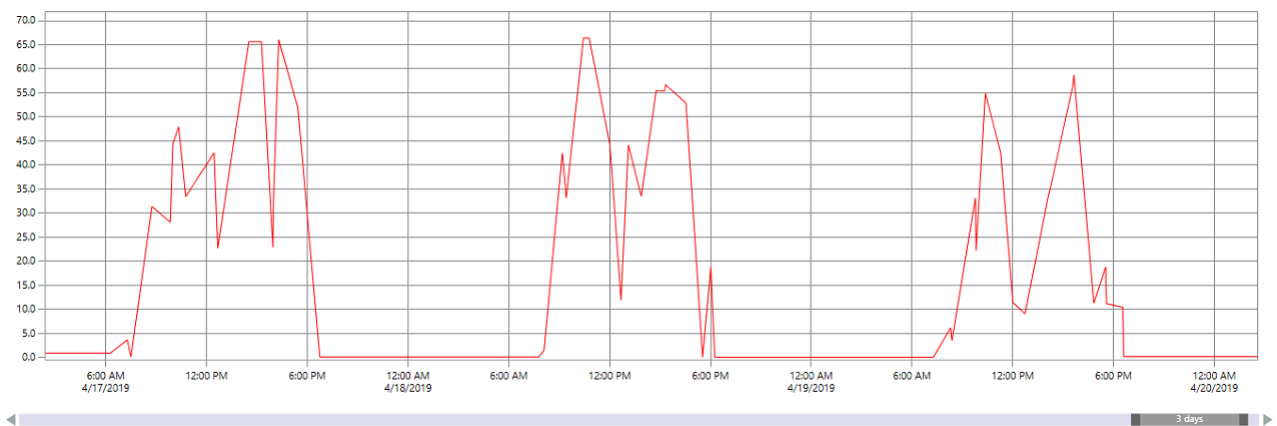
Iš grafiko matome, kad tyrimo atlikimo dienomis patalpose oro kokybė buvo ganėtinai aukšta. Tai galėjo nulemti didesnis negu įprastai darbuotojų kiekis, didelė darbuotojų kaita, aukšta patalpų oro temperatūra ir pan.

2.21 pav. grafiškai pateikiama vėdinamų patalpų oro temperatūros kaita, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C.



2.21 pav. Tyrimui atlikti pasirinktų patalpų temperatūrų kaita sistemai veikiant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C

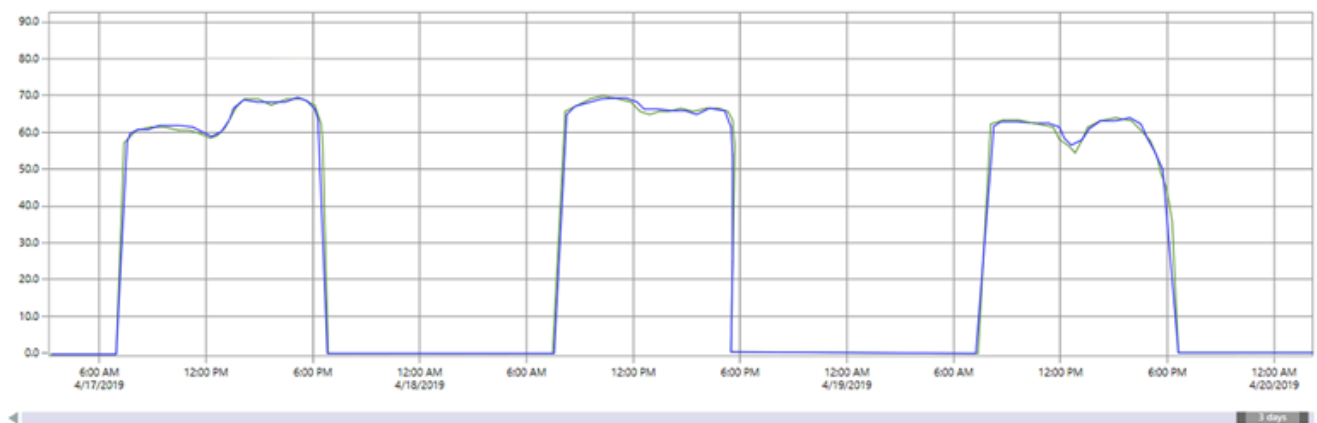
Iš grafiko matome, kad patalpų oro temperatūra tyrimo metu svyravo tarp 22 ir 24 °C. Kai patalpose nėra darbuotojų (po darbo valandų), nustatyta palaikyti temperatūros reikšmė yra 24 °C. Tai reiškia, kad nakties metu vėdinimo sistema neįsijungtė ir nevėsino patalpų, nes nebuvo tam poreikio. Darbo valandomis oro temperatūra tam tikrose patalpose pakildavo aukščiau 23 °C. Dėl tos priežasties tiekiamo ir šalinamo oro sklendės turėjo atsidaryti, tokiu būdu sumažindamos slėgį centrinėje vėdinimo sistemoje ir priversdamos vėdinimo sistemos ventiliatorius sukis greičiau. Poreikį patalpas vėsinti ir vėdinti tyrimo atlikimo metu iliustruoja 2.22 pav.



2.22 pav. Vėdinimo poreikio kaita sistemai veikiant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C

Lyginant šiuos duomenis su kovo 19–21 dienomis gautais duomenimis, kai patalpų vėsinti nereikėjo, matome, kad poreikio skirtumas, kai lauko oro temperatūra nesiekia 10 °C ir, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C, yra apie 20 %.

Kovo 19–21 dienomis, atliekant tyrimą, kai lauko oro temperatūra buvo žemesnė negu 10 °C, pastato patalpų vėsinti nereikėjo ir poreikis vėdinti nukrito iki 50 %, vidutinis ventiliatorių sukimosi intensyvumas buvo apie 45 %. Atliekant tyrimą balandžio 17–19 dienomis, kai lauko oro temperatūra siekė iki 20 °C ir poreikis vėdinti siekė iki 65 %, ventiliatorių sukimosi intensyvumas buvo 60–70 %. Tai iliustruoja 2.23 pav. pateiktas ventiliatorių sukimosi intensyvumo kaitos grafikas.



2.23 pav. Vėdinimo sistemos ventiliatorių sukimosi intensyvumo kaita naudojant DCV sistemą, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C

Analizuojant elektros energijos apskaitos duomenis galima daryti preliminarį išvadą apie rudenį ir pavasarį galimas sutaupyti elektros energijos sąnaudas naudojant DCV (vėdinimo pagal poreikį) vėdinimo sistemos valdymą. Surinkti elektros energijos apskaitos duomenys pateikti 2.6 lentelėje.

2.6 lentelė. Elektros energijos sąnaudos sistemai dirbant DCV valdymo režimu, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C

Pavadinimas	Reikšmė	Dydis
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 1 dieną	14385,03027	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 2 dieną	14473,08857	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 3 dieną	14561,50147	kWh
AHU-2-3-K elektros energijos apskaitos duomenys 4 dieną	14648,67972	kWh
Elektros energijos sąnaudos per pirmą parą	88,05829656	kWh
Elektros energijos sąnaudos per antrą parą	88,4129	kWh
Elektros energijos sąnaudos per trečią parą	87,17825	kWh
Bendras elektros energijos sunaudojimas per 3 d. d.	263,6494466	kWh

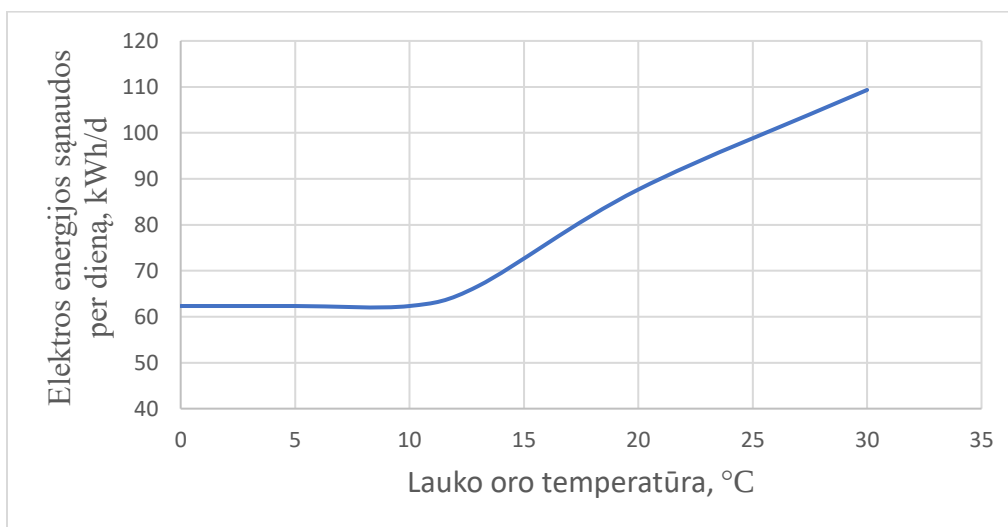
Iš gautų duomenų matome, kad esant 10–20 °C lauko oro temperatūrai, vėdinimo sistema elektros energijos net 40 % daugiau negu tada, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė už 10 °C, nes poreikis vėsinti patalpas yra didesnis.

2.7. Lauko oro temperatūros įtaka vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudoms

Atlikome vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudų tyrimus esant lauko oro temperatūrai žemesnei nei 10 °C, taip pat esant 10–20 °C. Ištirti vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudų, kai lauko oro temperatūra yra aukštesnė (20–30 °C), neturėjome galimybės, todėl darome prielaidą, kad esant aukštai lauko oro temperatūrai visas patalpas darbo valandomis reikėtų vėsinti arba vėdinti, visos oro tiekimo ir šalinimo sklendės patalpose būtų atidarytos ir vėdinimo sistema veiktų tokiu pajėgumu, kaip atliekant pirmąjį tyrimą, kai vėdinimo sistema veikė pagal laiko programą.

Esant lauko oro temperatūrai žemesnei nei 10 °C, elektros energijos sąnaudos išlieka labai panašios. Poreikis vėdinti priklauso tik nuo patalpų oro kokybės, darbuotojų kaitos ir patalpų užimtumo. Administraciniame pastate, įstaigos tipo patalpose darbuotojų kiekit turėtų išlikti pastovus, todėl žymių pasikeitimų poreikio vėdinti ir elektros energijos sąnaudų kreivėse neturėtų būti.

Lauko oro temperatūrai pasiekus 10 °C ribą, didėjant lauko oro temperatūrai, patalpas reikia vėdinti ir vėsinti intensyviau, todėl intensyviau dirba ir vėdinimo sistemų ventiliatoriai. Dėl šios priežasties išauga elektros energijos sąnaudos. Kuo lauko oro temperatūra aukštesnė, tuo labiau didėja poreikis vėsinti patalpas, todėl vėdinimo sistemos ventiliatoriai sunaudoja daugiau elektros energijos.



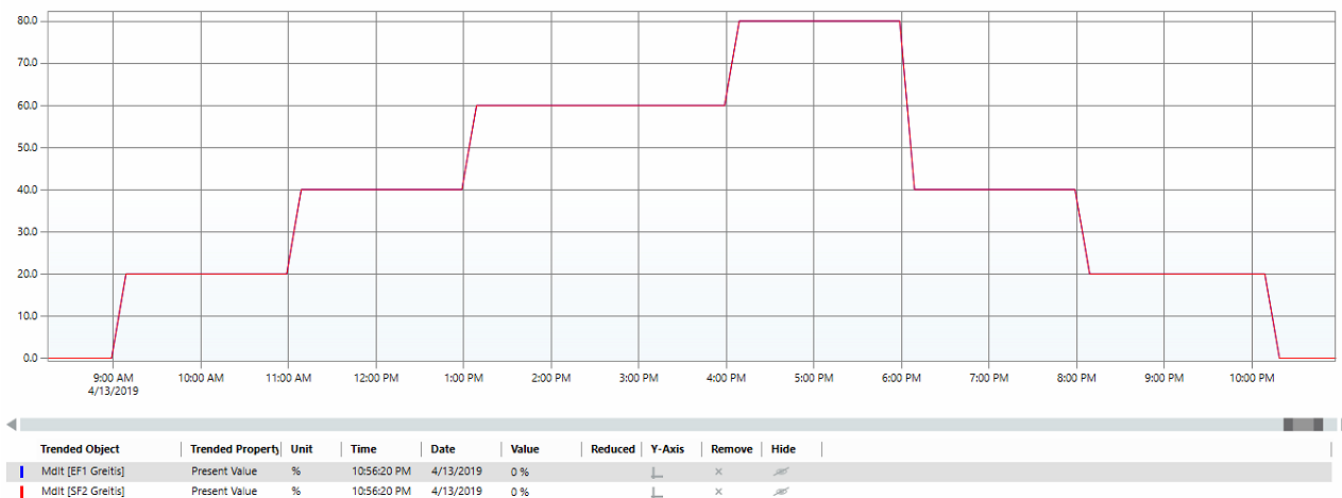
2.24 pav. Vėdinimo sistemos ventiliatorių naudojamos elektros energijos sąnaudų priklausomybė nuo lauko oro temperatūros

Taigi, analizuodami elektros energijos sąnaudas esant lauko oro temperatūrai mažesnei už 10 °C, esant lauko oro temperatūrai 10–20 °C ir darydami prielaidą, kad esant lauko oro temperatūrai 20–30 °C darbo valandomis vėdinimo poreikis yra maksimalus, sudarėme vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudų priklausomybės nuo lauko oro temperatūros grafiką (žr. 2.24 pav.).

2.8. Vėdinimo sistemos ventiliatorių sukimosi intensyvumo įtakos elektros energijos sąnaudoms tyrimas

Norėdami išsiaiškinti, kaip ventiliatorių sukimosi greitis veikia elektros energijos sąnaudas, atlikome tyrimą, kurio metu kas dvi valandas keitėme ventiliatorių sukimosi greitį ir fiksavome elektros energijos skaitiklių duomenis, naudodami pastate įrengtą išmaniąją apskaitos sistemą. Vėdinimo sistemos ventiliatorių sukimosi greitį dviem valandoms nustatėme 20 %, 40 %, 60 % ir 80 %. Mažiausią ventiliatorių sukimosi reikšmę pasirinkome 20 %, nes per lėtas ventiliatorių sukimosi greitis kenkia ventiliatorių variklių apvijoms, o didžiausią sukimosi greitį pasirinkome 80 %, kad vėdinimo sistemoje nebūtų viršytos nustatytosios palaikyti slėgių reikšmės.

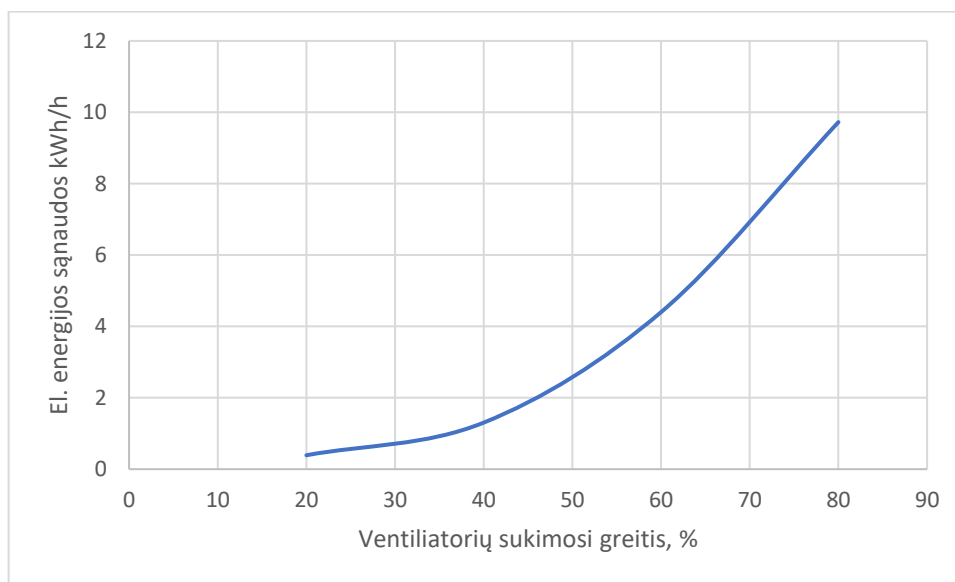
Iš pirmo karto bandymo atlikti nepavyko, nes elektros energijos apskaita nebuvo tinkamai užfiksuota. Visais atvejais elektros energijos apskaitos duomenys buvo vienodi. Taip įvyko todėl, kad įprastai elektros energijos apskaita yra fiksuojama vieną kartą per parą, nes taip suprogramuoti „M-bus“ apskaitos duomenų nuskaitymo valdikliai. Perprogramavome valdiklius taip, kad būtų galimybė elektros energijos apskaitą fiksuoti bet kuriuo metu rankiniu būdu. Tokiu būdu tyrimą atlikome sėkmingai. Tyrimo eigą iliustruoja 2.25 pav. pavaizduotas ventiliatorių greičių kitimo grafikas.



2.25 pav. Vėdinimo sistemos ventiliatorių greičių kaitos grafikas atliekant elektros energijos sąnaudų priklausomybės nuo ventiliatorių sukimosi intensyvumo bandymą

Atlikę tyrimą gavome elektros energijos skaitiklių duomenis ir juos lygindami gavome reikšmes, kiek elektros energijos sunaudoja keturi vėdinimo sistemoje įrengti ventiliatoriai, sukdami skirtingu intensyvumu. Atsižvelgdami į tyrimo rezultatus nubraižėme elektros energijos sąnaudų priklausomybės nuo ventiliatoriaus sukimosi intensyvumo kreivę (žr. 2.26 pav.). Elektros energijos

sąnaudas perskaičiavome į „per valandą“ norėdami pateikti grafiką lengviau suprantamais matavimo vienetais.



2.26 pav. Elektros energijos sąnaudų priklausomybė nuo ventiliatorių sukimosi intensyvumo

Iš pateikto grafiko matome, kad didėjant ventiliatorių sukimosi intensyvumui elektros energijos sąnaudos auga eksponentiškai.

IŠVADOS

- Vėdinimo sistemai veikiant CAV (pastovaus tiekiamo oro kiekio) principu pagal nustatytą laiko programą, kuri nurodo sistemai įsijungti 7.00 val. ryte ir išsijungti 18.00 val. vakare, vėdinimo sistemos ventiliatoriai sukasi 80 % intensyvumu ir sunaudoja 328,1 kWh elektros energijos per tris darbo dienas.
- Vėdinimo sistemai veikiant DCV (vėdinimo pagal poreikį) valdymo principu, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C ir pastate nėra vėsinimo poreikio, ventiliatoriai sukasi vidutiniškai 55 % intensyvumu ir vėdinimo sistema per tris darbo dienas sunaudoja 186,6 kWh elektros energijos.
- Vėdinimo sistemai veikiant DCV valdymo principu, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C ir pastate yra ir vėdinimo, ir vėsinimo poreikiai, vėdinimo sistemos ventiliatoriai sukasi vidutiniškai 65 % intensyvumu ir vėdinimo sistema per tris darbo dienas sunaudoja 263,6 kWh elektros energijos.
- Vėdinimo sistemai veikiant DCV valdymo principu, kai lauko oro temperatūra yra žemesnė nei 10 °C, sistema sunaudoja iki 43 % mažiau elektros energijos negu sistemai veikiant CAV valdymo principu.
- Vėdinimo sistemai veikiant DCV valdymo principu, kai lauko oro temperatūra yra 10–20 °C, sistema sunaudoja iki 20 % mažiau elektros energijos negu sistemai veikiant CAV valdymo principu.
- Esant lauko oro temperatūrai žemesnei nei 10 °C, lauko oro temperatūros pokyčiai neturi jokios įtakos elektros energijos sąnaudoms. Esant lauko oro temperatūrai aukštesnei nei 10 °C, vėdinimo sistemos elektros energijos sąnaudos didėja kylant lauko oro temperatūrai. Elektros energijos sąnaudų priklausomybė nuo lauko oro temperatūros yra tiesinė.

LITERATŪRA

1. *Types of ventilation systems* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 19 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.hometips.com/how-it-works/ventilation-systems-exhaust.html>>;
2. *Ventiliatoriai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 19 d.]. Prieiga per internetą: <<https://nit.lt/produktai/ventiliatoriai/>>;
3. *Asiniai ventiliatoriai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 19 d.]. Prieiga per internetą: <<https://nit.lt/produktai/ventiliatoriai/asiniai-ventiliatoriai/asiniai-ventiliatoriai/>>;
4. *Išcentriniai ventiliatoriai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 21 d.]. Prieiga per internetą: <<https://nit.lt/produktai/ventiliatoriai/iscentriniai-ventiliatoriai/iscentriniai-ventiliatoriai/>>;
5. *Ašinių ir išcentrinių ventiliatorių skirtumai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 21 d.]. Prieiga per internetą: <<https://homeair.lt/kuo-skiriasi-asiniai-ir-iscentriniai-ventiliatoriai/>>;
6. *Pramoniniai ventiliatoriai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. balandžio 25 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.axair-fans.co.uk/all-technical-information/industrial-fan-types/>>;
7. *Vėdinimo sistemų filtrai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.ekoventum.lt/vedinimas/misrus-vedinimas/vedinimo-sistemu-filtrai/>>;
8. *Air filtration: Air filters for balanced ventilation systems* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.filtsep.com/hvac/features/air-filtration-air-filters-for-balanced/>>;
9. *Rekuperatoriai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <<http://vedinimomeistrai.lt/produktai/rekuperatoriai>>;
10. *Plokštelinio rekuperatoriaus atvaizdas* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.katiluturgus.lt/lt/naujienos/rekuperacija.-kaip-rekuperatorius-veikia-ir-koki-pasirinkti.html?product_currency=EUR>;
11. *Rekuperatoriai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. rugsėjo 11 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.indexkryptis.lt/lt/rekuperatoriai/>>;
12. *Rekuperatorių tipai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. rugsėjo 15 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.kondista.lt/vedinimas/#prettyPhoto>>;
13. *Rotacinis rekuperatorius* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. rugsėjo 18 d.]. Prieiga per internetą: <<http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/148/1/0/1/product/28706/rotaciniai-rekuperatoriai>>;

14. *Cirkuliacinis siurblys* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. rugsėjo 19 d.]. Prieiga per internetą: [<http://www.e-aquajazz.lt/cirkuliacinis-siurblys-wilo-yonos-pico-25-1-4-180/>](http://www.e-aquajazz.lt/cirkuliacinis-siurblys-wilo-yonos-pico-25-1-4-180/);
15. *Trieigis vožtuvas* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. rugsėjo 21 d.]. Prieiga per internetą: [<https://www.van2o.lt/santehnikos-dalys/saules-kolektoriu-priedai/trieigis-voztuvas-su-pavara-or-zonny-sun-0-160-c-1-m-16bar.html>](https://www.van2o.lt/santehnikos-dalys/saules-kolektoriu-priedai/trieigis-voztuvas-su-pavara-or-zonny-sun-0-160-c-1-m-16bar.html);
16. *Fizikiniai jutiklių pagrindai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. rugsėjo 21 d.]. Prieiga per internetą: [<https://ktu.edu/uploads/files/fakultetai/Matematikos%20ir%20gamtos%20moksl%C5%B3%20fakultetas/files/images/Fizikos%20katedra/Jutiklio%20pagrindai.pdf>](https://ktu.edu/uploads/files/fakultetai/Matematikos%20ir%20gamtos%20moksl%C5%B3%20fakultetas/files/images/Fizikos%20katedra/Jutiklio%20pagrindai.pdf);
17. *Most common types of temperature sensors* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. rugsėjo 22 d.]. Prieiga per internetą: [<https://www.ametherm.com/blog/thermistors/temperature-sensor-types>](https://www.ametherm.com/blog/thermistors/temperature-sensor-types);
18. *Temperature sensors – types, working and operation* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. rugsėjo 24 d.]. Prieiga per internetą: [<https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/>](https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/);
19. *Basic types of temperature measuring sensors* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 20 d.]. Prieiga per internetą: [<https://www.wwdmag.com/water/7-basic-types-temperature-measuring-sensors>](https://www.wwdmag.com/water/7-basic-types-temperature-measuring-sensors);
20. *Pressure sensors* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 20 d.]. Prieiga per internetą: [<http://www.iste.co.uk/data/doc_zyxkztsuofok.pdf>](http://www.iste.co.uk/data/doc_zyxkztsuofok.pdf);
21. *Pressure sensors* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 21 d.]. Prieiga per internetą: [<https://www.engineersgarage.com/articles/pressure-sensors-types-working>](https://www.engineersgarage.com/articles/pressure-sensors-types-working);
22. *Pressure sensors information* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 22 d.]. Prieiga per internetą: [<https://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/pressure_sensing/pressure_sensors_instruments>](https://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/pressure_sensing/pressure_sensors_instruments);
23. *Piezoelectric pressure sensor* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 25 d.]. Prieiga per internetą: [<https://www.omega.co.uk/literature/transactions/volume3/pressure2.html>](https://www.omega.co.uk/literature/transactions/volume3/pressure2.html);
24. *Humidity sensor: basics, usage, parameters and applications* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 26 d.]. Prieiga per internetą: [<https://electronicsforu.com/resources/electronics-components/humidity-sensor-basic-usage-parameter>](https://electronicsforu.com/resources/electronics-components/humidity-sensor-basic-usage-parameter);
25. *Resistive humidity sensors* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. lapkričio 12 d.]. Prieiga per internetą: [<http://www.bristolwatch.com/ele/hs1/hs1.htm>](http://www.bristolwatch.com/ele/hs1/hs1.htm);
26. *Demand controlled ventilation case study on comfort and energy* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. lapkričio 15 d.]. Prieiga per internetą:

- https://www.swegonairacademy.com/wp-content/uploads/2014/10/Thesis_Demand-controlled-ventilation-case-study-on-comfort-and-energy.pdf>;
27. CAV – *constant air volume* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gruodžio 1 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.exhausto.com/design/Working%20-%20Kontorventilation/Design%20af%20system/Styringsprincipper/CAV>>;
 28. VAV – *variable air volume* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gruodžio 1 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.exhausto.com/design/Working%20-%20Kontorventilation/Design%20af%20system/Styringsprincipper/VAV>>;
 29. *Occupancy - based system for efficient reduction of HVAC energy* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: https://www.vs.inf.ethz.ch/edu/HS2011/CPS/papers/erickson11_observe.pdf>;
 30. *Energiškai efektyvaus namo statybos* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gruodžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://eenamas.wordpress.com/vedinimas/>>;
 31. *Oro drėgnio, temperatūros ir CO₂ koncentracijos kaita studentų auditorijoje* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gruodžio 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.mtp.lt/files/MTP-2.pdf>>;
 32. *Anglies dvideginio įtaka sveikatai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gruodžio 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.gudrussildymas.lt/co2/>>;
 33. VAV and CAV ventilation [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gruodžio 29 d.]. Prieiga per internetą: https://designbuilder.co.uk/helpv4.2/Content/VAV_CAV_Outside_Air.htm>;
 34. DCV – *demand control ventilation* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. gruodžio 30 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.exhausto.com/design/Working%20-%20Kontorventilation/Design%20af%20system/Styringsprincipper/DCV>>;
 35. *Ventilation for non - residential buildings — performance requirements for ventilation and room - conditioning systems* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set4/WI_25_Pre-FV_version_prEN_13779_Ventilation_for_non-residential_buildings.pdf>;
 36. *Demand controlled ventilation (DCV) for better IAQ and energy efficiency* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2011/022011/demand-controlled-ventilation-dcv-for-better-iaq-and-energy-efficiency.html>>;

37. Johansson, D., 2010. Measured occupancy levels in twelve Swedish school class rooms. Clima 2010 Conference, Antalya;
38. *Envision of an integrated information system for projectdriven production in construction* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 12 d.]. Prieiga per internetą: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1807/1807.04966.pdf>;
39. *What is scada?* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-SCADA>;
40. *VAV solutions for comfort applications* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: https://www.belimo.ch/pdf/e/VAV-Compact-D3_2_0_en.pdf;
41. *Siemens S7-1200 PLC CPU, ethernet networking profinet interface, 50 kB program capacity* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://il.rsdelivers.com/product/siemens/6es7212-1be40-0xb0/siemens-s7-1200-plc-cpu-ethernet-networking/8624461>;
42. *TWA-A actuator for danfoss RA zone valves (24V, Normally closed)* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.supplyhouse.com/Danfoss-088H3110-TWA-A-Actuator-for-Danfoss-RA-Zone-Valves-24V-Normally-Closed>;
43. *Envision of an integrated information system for projectdriven production in construction* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1807/1807.04966.pdf>;
44. *SCADA systems* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-SCADA>;
45. *Simply Modbus* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.simplymodbus.ca/FAQ.htm>;
46. *Modbus protocol* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. vasario 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.tinklusaugumas.lt/Modbus%20protocol>;
47. *M-bus vs Modbus. What is the difference ?* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. vasario 25 d.]. Prieiga per internetą: <https://meters.co.uk/m-bus-vs-Modbus-difference/>;
48. *BacNet* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. kovo 2 d.]. Prieiga per internetą: <https://wilo.com/lt/lt/Gaminiai-ir-kompetencijos/Pastat%C5%B3-automatika/BACnet/>;
49. *BacNet basics* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://dms.hvacpartners.com/docs/1000/Public/04/11-808-417-01.pdf>;

50. *Communication systems for meters* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/ict-and-communication/data/en-13757_en>;
51. *The M-Bus: A documentation* [interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.m-bus.com/mbusdoc/md5.php>>;