

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪRŲ TECHNIKOS FAKULTETAS
ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA

TVIRTINU_____

Katedros vedėja: prof. dr. Eleonora Guseinoviėnė
2013

ELEKTROS INŽINERIJOS MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ PROGRAMOS
„LAIVŲ ELEKTROS ĮRANGA IR AUTOMATIKA“
(Studijų kodas 621H62003)
MAGISTRO TEZĖS

PRIEKRANTĖS GAMYBINIŲ PATALPŲ
KLIMATO KONTROLĖS IR ORO KOKYBĖS
SISTEMŲ ENERGETINIŲ SAŅAUDŲ
MINIMIZAVIMAS

Recenzentas: lekt. Valdas Jankūnas
2013

Vadovas: prof. dr. Eleonora Guseinoviėnė
2013

Recenzentas: lekt. Audrius Senulis
2013

Rengė: TMLE-11, Julius Valantiejus
2013

Klaipėda, 2013

BAKALAURO IR MAGISTRO BAIGIAMŪJŲ DARBŲ LYDRAŠČIO FORMA

Pildo bakalauro/magistro baigiamojo darbo autorius

Julius Valantiejus

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Priekrantės gamybinių patalpų oro kokybės ir kondicionavimo energetinių sąnaudų minimizavimas

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis bakalauro/magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

Julius Valantiejus

(bakalauro/ magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Sutinku, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

Julius Valantiejus

(bakalauro/ magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo bakalauro/magistro baigiamojo darbo vadovas

Bakalauro/magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2013 05 27

(data)

prof. dr. Eleonora Guseinoviėnė

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

.....
(data)

Sigita Kasparaviėienė

(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, vedėjas

Bakalauro/magistro baigiamąjį darbą ginti

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2013 05 27

(data)

prof. dr. Eleonora Guseinoviėnė

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentu(-ais) skiriu

lekt. Valdas Jankūnas.....

lekt. Audrius Senulis.....

(įrašyti recenzento(u) vardą, pavardę)

2013 05 27

(data)

prof. dr. Eleonora Guseinoviėnė

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETO
JŪRŲ TECHNIKOS FAKULTETO
ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA**

TVIRTINU.....

2013-...-...

Katedros vedėja
Prof.dr. Eleonora Guseinoviėnė

MAGISTRO TEZIŲ UŽDUOTIS

Magistrantui

Tezių tema:

Patvirtinta: KU Rektoriaus 2005-05 -23 įsakymu Nr. 1-194

Atidavimo terminas: 2013-....-....

Duomenys:.....

.....

Turinys:

1. Darbo tikslas

.....

..

.....

..

2. Tyrimo metodas:

.....

3. Uždaviniai:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Išvados

5. Literatūra

6. Priedai

Užduoties gavimo data: 2013-....-....

Vadovas:.....

(vardas, pavardė, parašas)

Užduotį gavau: magistrantas

(vardas, pavardė, parašas)

SANTRAUKA

Pirmoje ir antroje magistrinio darbo dalyse apžvelgiami penki moksliniuose straipsniuose aprašyti ir keturi UAB „Amalva“ gaminamo ŠVOK įrenginiai. Apžvalgoje išsamiai išnagrinėjami ŠVOK įrenginių struktūriniai ir valdymo algoritmų ypatumai, bei jų privalumai ir trūkumai. Paskutinėje magistrinio darbo dalyje išanalizavus visus apžvelgtų ŠVOK įrenginių privalumus ir trūkumus sukuriama ir aprašoma modernizuoto naujo ŠVOK įrenginio konstrukcija ir suprojektuojami įrenginio valdymo algoritmai. Šioje dalyje taip pat aprašomi suprojektuotų valdymo algoritmų tam tikrų blokų poveikis visam valdymo algoritmui ir energetinių sąnaudų mažinimui.

SUMMARY

The first and second part of the master's work explores 5 different types of machinery described in scientific articles and four types of HVAC machinery produced by JSC „Amalva“. The review comprehensively examines structural and control algorithms of HVAC equipment and their advantages and disadvantages. After analysis of all HVAC machinery advantages and disadvantages, a modernized and new HVAC machinery unit construction is designed and device management algorithms are created in the last part of master's work. This section also describes the impact of designed control algorithms certain blocks for the on the control algorithm and energy cost reduction.

TURINYS

SANTRAUKA.....	4
SUMMARY	5
TURINYS.....	6
TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNĖLIS.....	7
ĮVADAS.....	10
1. STRAIPSNIŲ APŽVALGA.....	11
1.1 Standaus valdymo strategija apjungianti reguliuojamo pagal poreikį vėdinimo valdymą ir ekonomizerio valdymą [1].....	11
1.2 Dinaminis pastatų vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų energijos valdymo kontrolės funkcijų simuliacija [2].....	14
1.3 Šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų optimizavimas naudojant anglies dvideginio koncentracijos valdymo algoritmą [3].....	16
1.4 Dinaminis šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos valdymo modelis [4]	17
1.5 ŠVOK valdymo sistemos strategijos optimizavimas, panaudojant dvitikslių genetinį algoritmą [5].....	18
2. SKIRTINGŲ KLIMATO KONTROLĖS IR ORO KOKYBĖS ĮRENGINIŲ APŽVALGA...22	
2.1 KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 [6].....	22
2.2 VERSO-P ir VERSO-R [6]	32
3. NAUJO ŠVOK ĮRENGINIO PROJEKTAVIMAS	40
4. EKSPERIMENTINIAI BANDYMAI	51
IŠVADOS.....	55
LITERATŪRA	56

TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNĖLIS

- ΔT – tiekiamo ir šalinamo oro temperatūros skirtumas °C;
- AB – automatikos blokas;
- B1 – tiekiamo oro temperatūros jutiklis;
- B2 – šalinamo oro temperatūros jutiklis;
- B3 – lauko oro temperatūros jutiklis;
- B4 – šilumokaičio temperatūros jutiklis;
- B5 – grįžtamojo vandens temperatūros jutiklis;
- B6, B7 – išoriniai slėgio jutikliai;
- B8 – oro kokybės jutiklis;
- CAV [angl. constant air volume] – pastovaus oro tūrio;
- CC – šaldymo šilumokaitis;
- CO₂ Sensor – anglies dvideginio jutiklis;
- Cooling Coil – šaldymo šilumokaitis;
- Cooling coil control – šaldymo šilumokaičio valdymas;
- CW – vandeninis aušintuvas;
- D1 – rotoriaus sukimosi jutiklis;
- Damper Motor – oro sklendžių pavara;
- DCV based fresh air damper control – reguliavimo pagal poreikį oro sklendžių valdymas;
- DCV based fresh airflow set-point reset strategy – reguliuojamo pagal poreikį valdymo oro kokybės nustatyto taško atstatymas;
- DK1, DK2, DK3 – dažnio keitiklis;
- dP1, dP2 – slėgio skirtumo relė filtrui;
- DX1, DX2 – tiesioginio išgarinimo aušintuvo valdymas;
- EA – šalinamas oro srautas;
- Ekonomaizeris [angl. ekonomizer < economize – taupyti];
- Enthalpy/temperature based fresh air damper control – oro sklendžių valdymas pagal entalpiją/temperatūrą;
- Exhaust Air Damper – šalinamo oro sklendė;
- Feedback Transition Region – grįžtamojo ryšio perėjimo sritis;
- FG1 – tiekiamo oro sklendės pavara;
- FG2 – šalinamo oro sklendės pavara;
- FG3 – šalinamo oro sklendės pavara;

FG4 – oro recirkuliacijos sklendės pavara;
Filter – oro filtras;
Flow Station – triukšmo slopintuvas;
Fresh air set-point – gryno oro nustatyta vertė;
HE1 – elektrinis šildytuvas;
HE2 – papildomas elektrinis šildytuvas;
Heating Coil – šildymo šilumokaitis;
Heating coil control – šildymo šilumokaičio valdymas;
 h_{fr} – tiekiamo oro entalpija;
HP – šilumos siurblys;
 h_{rtm} – šalinamo oro entalpija;
HW – vandeninis šildytuvas;
M1 – rotacinio šilumokaičio variklis;
MB – oro srautų maišytuvas;
Mix Air Plenum – oro maišymo kamera;
 M_{fr} – tikrasis gryno tiekiamo oro srautas;
 M_{setDCV} – DCV valdymo nustatytas gryno tiekiamo oro srautas;
MS – oro recirkuliacijos sekcija;
OA – lauko oro srautas;
Outdoor Sensor – tiekiamo oro sklendė;
PD1, PD2 – prijungimo dėžutė;
PF – oro filtras;
PR – plokštelinis šilumokaitis;
QS1 – įvadinis kirtiklis;
RA – recirkuliuoto oro srautas;
Re-circulation Air Damper – recirkuliacijos sklendė;
Return Fan – oro šalinimo ventiliatorius;
RT – rotacinis šilumokaitis;
S1 – cirkuliacinis siurblys;
SA – tiekiamo oro srautas;
ST – sandėliavimo talpa;
Supply Fan – oro tiekimo ventiliatorius;
ŠVOK – (angl. HVAC) šildymas vėdinimas ir oro kondicionavimas;
Temp. & Humidity Sensor – temperatūros ir drėgmės jutiklis;

Temperature set-point – nustatyta temperatūros vertė;

TG1 – šildymo sklendės pavara;

TG2 – aušinimo sklendės pavara;

T_L – lauko temperatūra °C;

T_{SP} – nustatyta temperatūros reikšmė °C;

T_s – patalpos temperatūra °C;

V1 – tiekiamo oro ventiliatorius;

V2 – šalinamo oro ventiliatorius;

VAV [angl. variable air volume] – kintamo oro tūrio;

VP – valdymo pultas;

IVADAS

Pasaulyje griežtėjant sanitariniams reikalavimams ir brangstant šilumos bei elektros energijai, šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo įrenginiams pradedami taikyti vis griežtesni reikalavimai. Dėl šios priežasties senieji ŠVOK įrenginiai yra keičiami naujais, kur kas mažesnes šilumos ir elektros energijos sąnaudas turinčiais įrenginiais. Kaip taisyklė, šie naujieji šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo įrenginiai skleidžia mažesnę triukšmą, sugeba geriau sureguliuoti patalpos temperatūrą ir užtikrina didesnę komfortą.

Šiame magistriniame darbe bus aprašomi tam tikrų įrenginių konstrukciniai, struktūriniai ir valdymo algoritmų ypatumai. Taip pat bus išnagrinėta, kokie faktoriai lemia vienos ar kitos sistemos panaudojimo galimybes ir energetines sąnaudas. Taip pat bus pateiktas naujas ŠVOK įrenginio modelis.

Pagrindinis magistrinio darbo tikslas – ištirti devynis šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo įrenginių techninius ir energetinius parametrus bei pasiūlyti jų modernizavimo būdus.

Darbo uždaviniai:

1. Skirtingų ŠVOK įrenginių konstrukcijų, struktūrų ir valdymo algoritmų apžvalga, nustatant jų privalumus ir trūkumus;
2. Sukurti valdymo algoritmą, kuris pašalina apžvelgtų valdymo algoritmų trūkumus;
3. Sukurto valdymo algoritmo analizė ir sistemos palyginimas su prieš tai apžvelgtais algoritmais.

Tyrimo metodai:

1. Literatūros analizė;
2. Valdymo algoritmų projektavimas;
3. Gautų rezultatų analizė.

Eksperimentui naudotos priemonės:

1. VERSO-P ŠVOK įrenginys;
2. VERSO-R ŠVOK įrenginys.

1. STRAIPSNŲ APŽVALGA

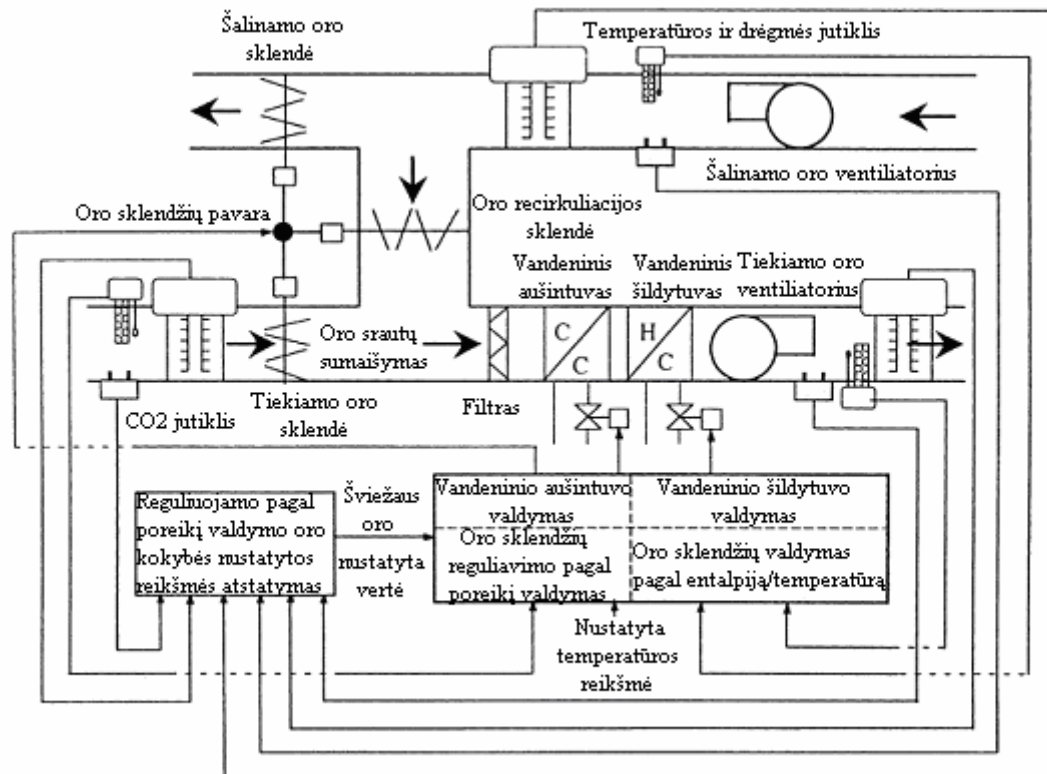
1.1 Standaus valdymo strategija apjungianti reguliuojamo pagal poreikį vėdinimo valdymą ir ekonomizaicijos valdymą [1]

Apjungiant vėdinimo pagal poreikį valdymo (toliau – DCV) ir ekonomizaicijos valdymo sistemas gali būti pasiekama ne tik geresnė oro kokybė, tačiau ir mažesnės energetinės sąnaudos. Siekiant išvengti valdymo nestabilumo dėl abiejų sistemų procesų valdymo vienu metu yra panaudojama standaus valdymo strategija. Ši strategija paremta procesų eiliškumo ir prioritetų nustatymu.

Toks valdymas pasižymi ypač dideliu efektyvumu, kuomet yra naudojama „free cooling“ sistema. Esant dideliam temperatūrų skirtumui tarp lauko ir ventiliuojamos patalpos, bei tuomet, kai aptarnaujamoje patalpoje yra nedidelis anglies dvideginio kiekis ši sistema taip pat pasižymi energetinių sąnaudų taupymu.

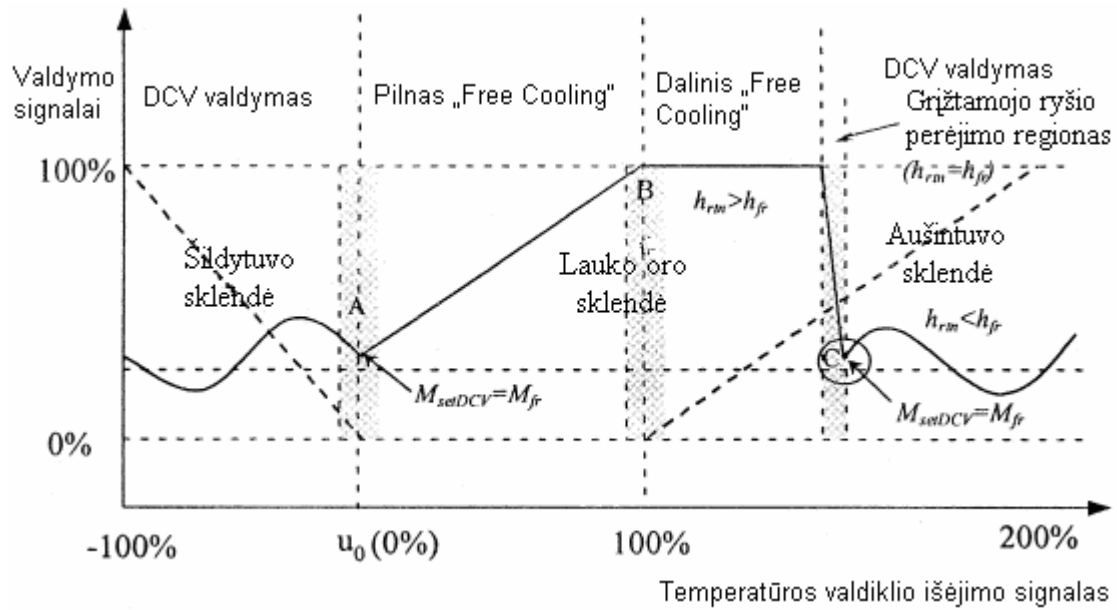
Šiuose įrenginiuose įvykdomi keli konstrukciniai pakeitimai (1.1 pav.):

- sumontuojamas recirkuliacijos ortakis;
- sumontuojamos reguliuojamos oro sklendės;
- sumontuojami anglies dvideginio jutikliai.



1.1 pav. Vėdinimo įrenginio su standžiai apjungtais reguliuojamo pagal poreikį vėdinimo ir ekonomiaizerio valdymais struktūrinė schema [1].

Suderinus šias dvi valdymo sistemas yra užtikrinama tiekiamo oro kokybė esant mažiausiam energijos suvartojimui. Žemiau pateiktame 1.2 pav. paveikslėlyje yra pavaizduota šiame straipsnyje tiriama vėdinimo įrenginių valdymui sukurta strategija. Šiai valdymo strategijai yra panaudotos 4 PID (parametriškai optimizuojami reguliatoriai) kontūrų grandžių. Trys iš jų yra skirtos temperatūros valdymui, ketvirta gryo oro srauto valdymui.



1.2 pav. Straipsnyje nagrinėjama valdymo strategija vėdinimo įrenginiui [1].

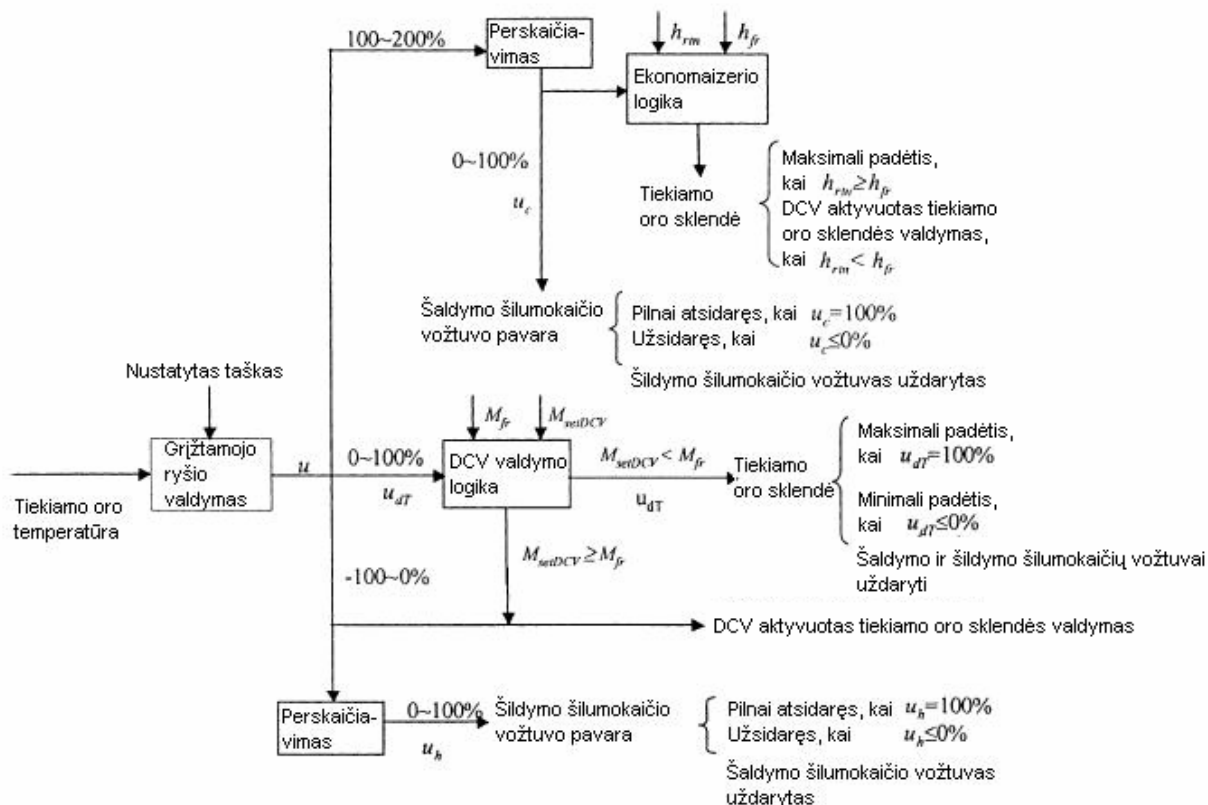
Feedback Transition Region – grįžtamojo ryšio perėjimo sritis;

h_{rtm} – šalinamo oro entalpija;

h_{fr} – tiekiamo oro entalpija;

M_{setDCV} – DCV valdymo nustatytas gryno tiekiamo oro srautas;

M_{fr} – tikrasis gryno tiekiamo oro srautas;



1.3 pav. Straipsnyje nagrinėjama valdymo strategijos logika

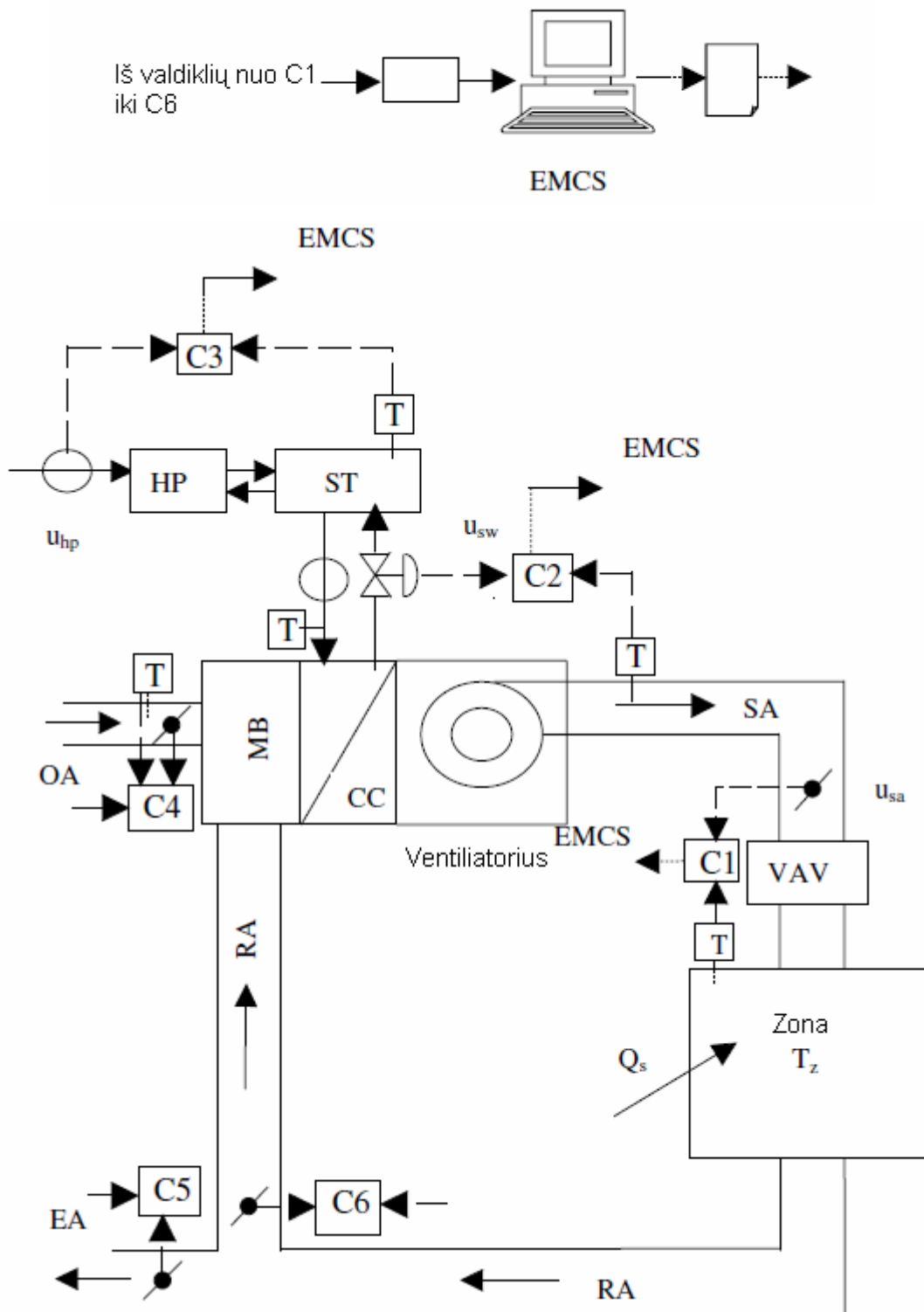
Aukščiau esančiame paveikslėlyje (1.3 pav.) yra pateikiami ryšiai tarp temperatūros valdymo grįžtamojo ryšio u ir valdymo signalų u_c , u_h ir u_{DT} (šaldymo šilumokaičio sklendės pavaros, šildymo šilumokaičio sklendės pavaros, tiekiamo oro sklendės) bei ryšiai tarp temperatūros valdymo kontūro ir DCV tiekiamo oro sklendės valdymo kontūro.

1.2 Dinaminis pastatų vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų energijos valdymo kontrolės funkcijų simuliacija [2]

Šiame straipsnyje yra nagrinėjamos penkios energijos valdymo kontrolės (toliau – EMC) strategijos:

1. lauko oro ekonomizerio grandinės paprasto pastovaus valdymo strategija;
2. užprogramuoto paleidimo laiko;
3. užprogramuoto stabdymo laiko;
4. apkrovos atstatymo;
5. adaptyvi, pagal darbo laiko valandas, valdymo strategija;

Tyrimams buvo pasirinkta sistema tik su šaldymo šilumokaičiu bei oro srauto recirkuliacija (1.4 pav.). Tokios sistemos iš esmės yra labai retai (daugiausiai naudojami serverinių ir kitų techninių vėdinimui ir kondicionavimui), kada naudojamos, nes jos nestebi oro kokybės, neturi oro valymo filtrų ir esant šildymo poreikiui neturi galimybės pašildyti orą. Dėl šių priežasčių tokių įrenginių negalima lyginti su kituose straipsniuose analizuojamais įrenginiais.



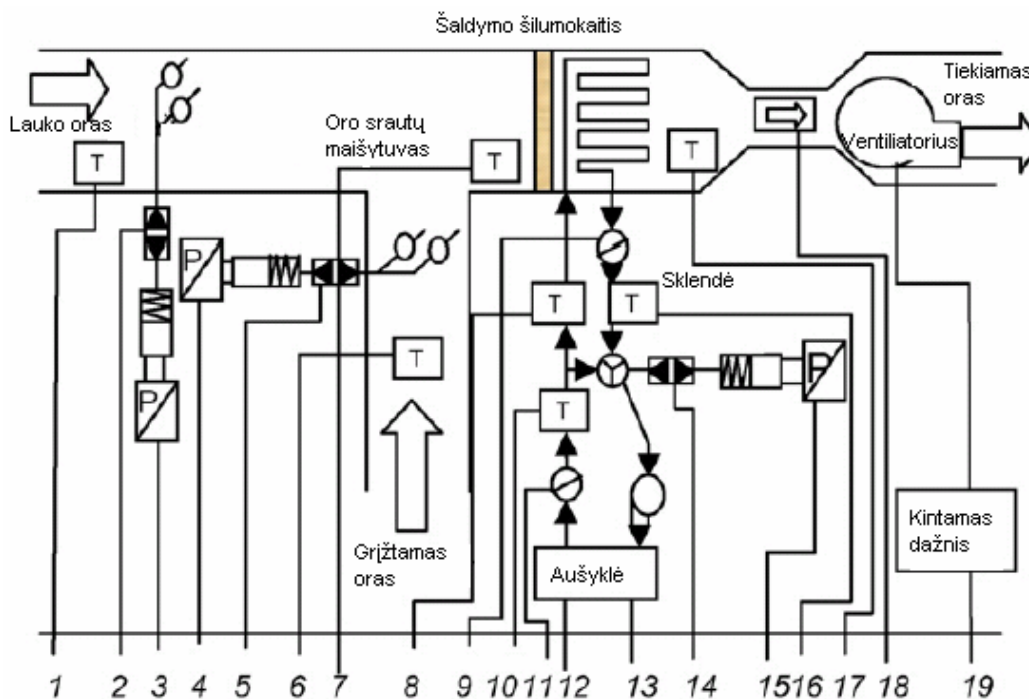
1.4 pav. Tyrimams pasirinktas vėdinimo įrenginys su EMC sistema [2]

- EA – šalinamas oro srautas;
- RA – recirkuliuoto oro srautas;
- SA – tiekiamo oro srautas;
- OA – lauko oro srautas;
- CC – šaldymo šilumokaitis;
- HP – šilumos siurblys;
- ST – sandėliavimo talpa;
- MB – oro srautų maišytuvas.

Iš straipsnyje pateiktų išvadų galime spręsti naudojant paprastą pastovaus valdymo strategiją galime sutaupyti iki 14% energijos lyginant su įprasta pastovaus minimalaus lauko oro srauto strategija. Tyrimų metu taip pat nustatyta, kad panaudojus ECM funkcijas ir optimalius nustatytus taškus galima sutaupyti tuos pačius 14% energijos.

1.3 Šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų optimizavimas naudojant anglies dvideginio koncentracijos valdymo algoritmą [3]

Šiame straipsnyje tyrinėjimams buvo pasirinktas panašios konstrukcijos vėdinimo įrenginys (1.5 pav.) kaip ir antrame apžvelgtame straipsnyje, tik šiuo atveju valdymui yra naudojami lauko anglies dvideginio kiekį matuojančio jutiklio parodymai.



1.5 pav. Tyrimui pasirinkto vėdinimo įrenginio struktūrinė schema [3].

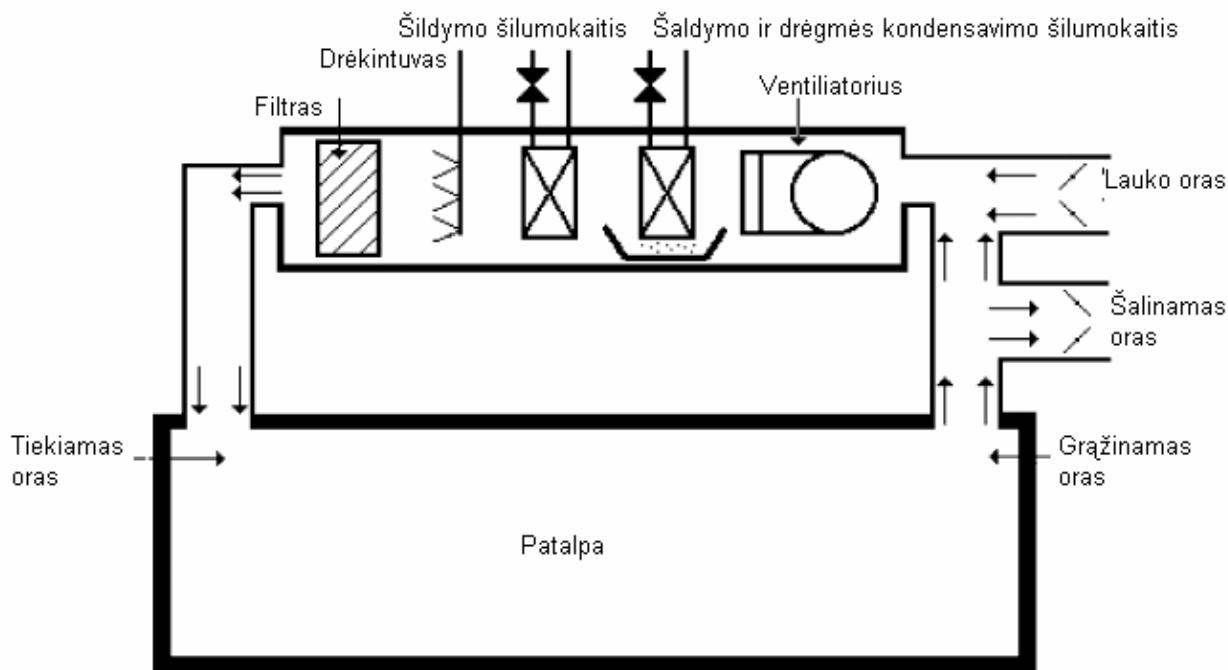
- 1 – lauko oro temperatūra;
- 2 – lauko oro sklendės vožtuvo signalas;
- 3 – lauko oro sklendės valdymas;
- 4 – grįžtamo oro sklendės valdymas;
- 5 – grįžtamo oro sklendės vožtuvo valdymas;
- 6 – grįžtamo oro temperatūros daviklis;
- 7 – tiekiamo oro prieš šaldymo šilumokaitį temperatūros daviklis;
- 8 – paduodamo šilumnešio temperatūros daviklis;
- 9 – šilumnešio srautas;
- 10 – paruošto šilumnešio temperatūros daviklis;
- 11 – šaldymo šilumokaitį apeinančio šilumnešio srauto daviklis;
- 12 – aušintuvo valdymas;
- 13 – aušintuvo maitinimas;
- 14 - šaldymo šilumokaitį apeinančio šilumnešio vožtuvas;
- 15 - šaldymo šilumokaitį apeinančio šilumnešio vožtuvo valdymas;
- 16 – grįžtamo šilumnešio temperatūros daviklis;
- 17 – tiekiamo oro už šaldymo šilumokaičio temperatūros daviklis;
- 18 – tiekiamo oro srautas;
- 19 – ventiliatoriaus greičio valdymas.

Šiame moksliniame straipsnyje buvo tiriama energijos sąnaudų priklausomybė nuo šaldymo šilumokaitį apeinančio šilumnešio apėjimo vožtuvo padėties. Ši padėtis buvo nustatoma priklausomai nuo anglies dvideginio koncentracijos lauke, kuo ji didesnė, tuo mažiau atsidaręs vožtuvas.

Tyrimo metu, kaip ir buvo tikėtasi, nustatyta, kad kuo daugiau atsidaręs šilumokaičio apėjimo vožtuvas, tuo didesnės energetinės aušintuvo sąnaudos šilumnešio paruošimui.

1.4 Dinaminis šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos valdymo modelis [4]

Šiame moksliniame straipsnyje tyrimams yra panaudota šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (toliau – ŠVOK) sistema (1.6 pav.) sudaryta iš šildymo, šaldymo ir drėgmės kondensavimo šilumokaičių, drėkintuvo, ventiliatoriaus ir oro srautų maišytuvo.



1.6 pav. Dinaminiam ŠVOK sistemos valdymo modelio tyrimui panaudoto įrenginio struktūrinė schema [4].

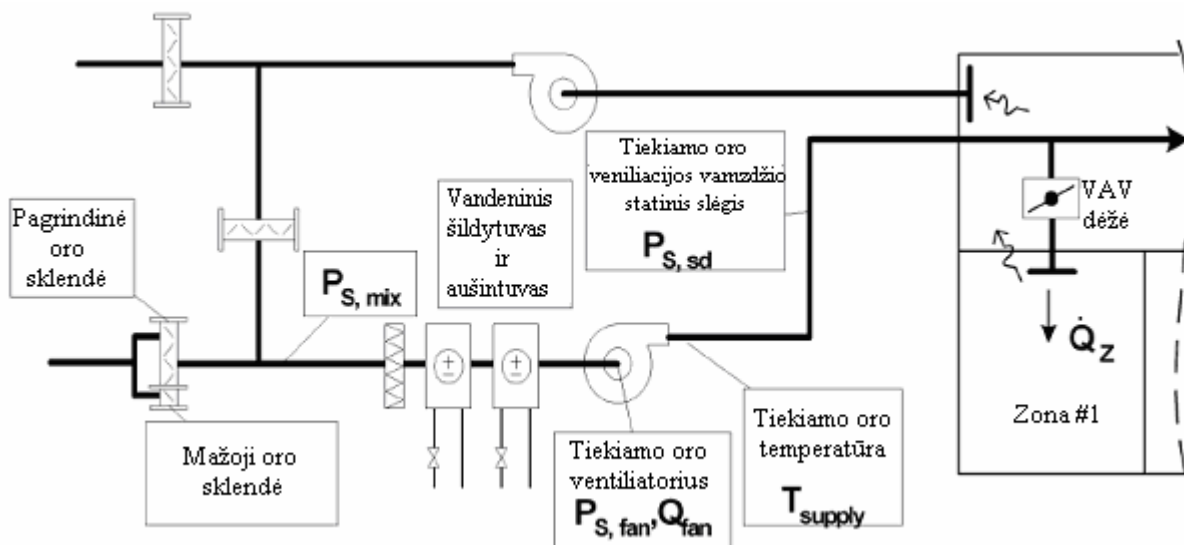
Tyrimo tikslas buvo sumažinti energetines sąnaudas ir pagerinti tiekiamo oro kokybę. Kaip pagrindinis oro kokybės rodiklis buvo pasirinktas tiekiamo oro pastovaus drėgnumo palaikymas. Šiam tikslui straipsnio autorius pasirinko Ziegler-Nichols PID valdymo nustatytų taškų nustatymo taisyklę. Straipsnyje yra aprašomas ŠVOK sistemos veikimo modeliavimas panaudojant ir nenaudojant oro recirkuliaciją.

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad ŠVOK sistema su dinaminio valdymo modeliu nesunkiai susitvarkė su oro temperatūros ir drėgnumo pokyčiais per labai trumpą laiką. Taip pat buvo padaryta tokia išvada, kad tokia valdymo strategija yra lengvai pritaikoma, kai reikia žinoti visas ŠVOK sistemos dinamines charakteristikas.

1.5 ŠVOK valdymo sistemos strategijos optimizavimas, panaudojant dvitiksli genetinį algoritmą [5]

Autorius savo tyrimams pasitelkė Monrealio mieste įsikūrusioje École de technologie supérieure (ÉTS) įstaigoje sumontuotą ŠVOK sistemą (1.7 pav.). Savo darbe jis tyrinėjo ŠVOK su dažniausiai pasitaikančią dviejų lygių valdymo struktūrą, t.y. žemo lygio vietinės valdymo

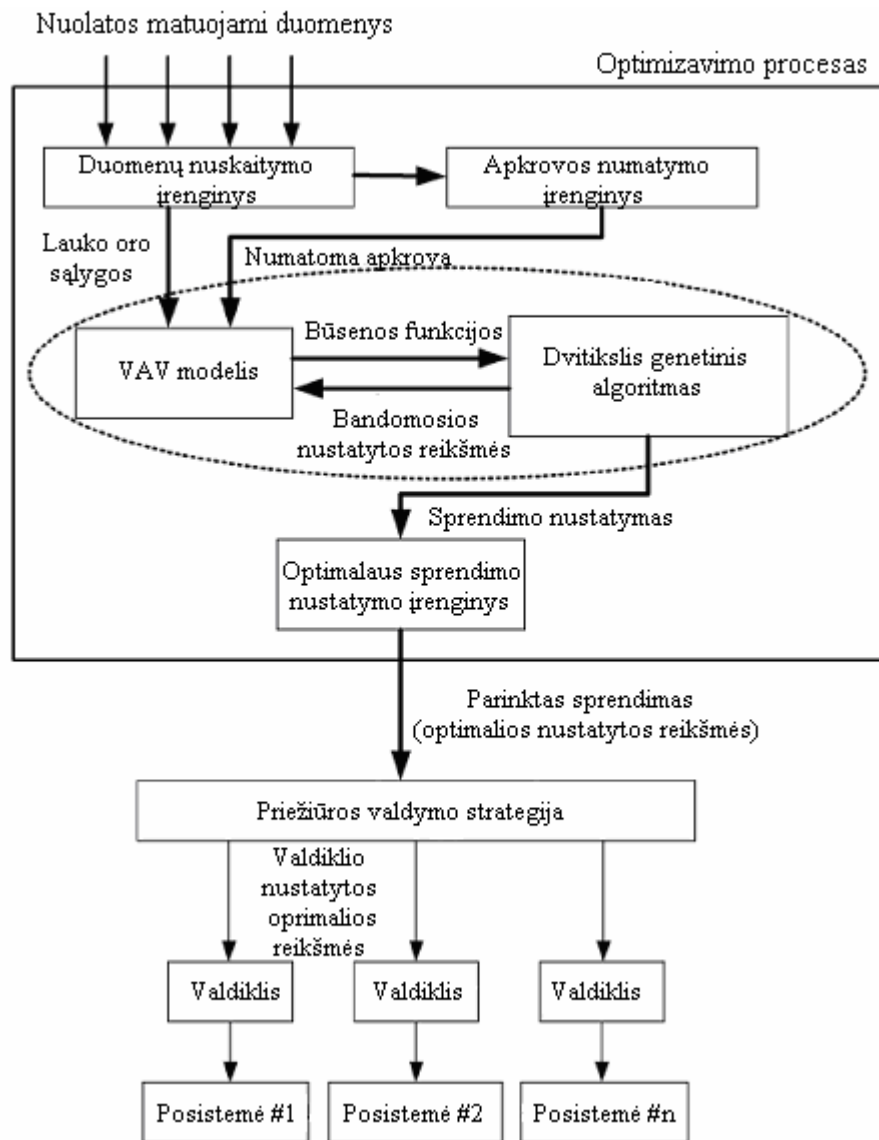
grandinės valdymas pagal nustatytas vertes relėmis ar kontaktoriais, ir aukštesnio lygio nustatantis vertes darbo režimams valdymas.



1.7 pav. 1.5 dalyje nagrinėjamos ŠVOK sistemos struktūrinė schema [5].

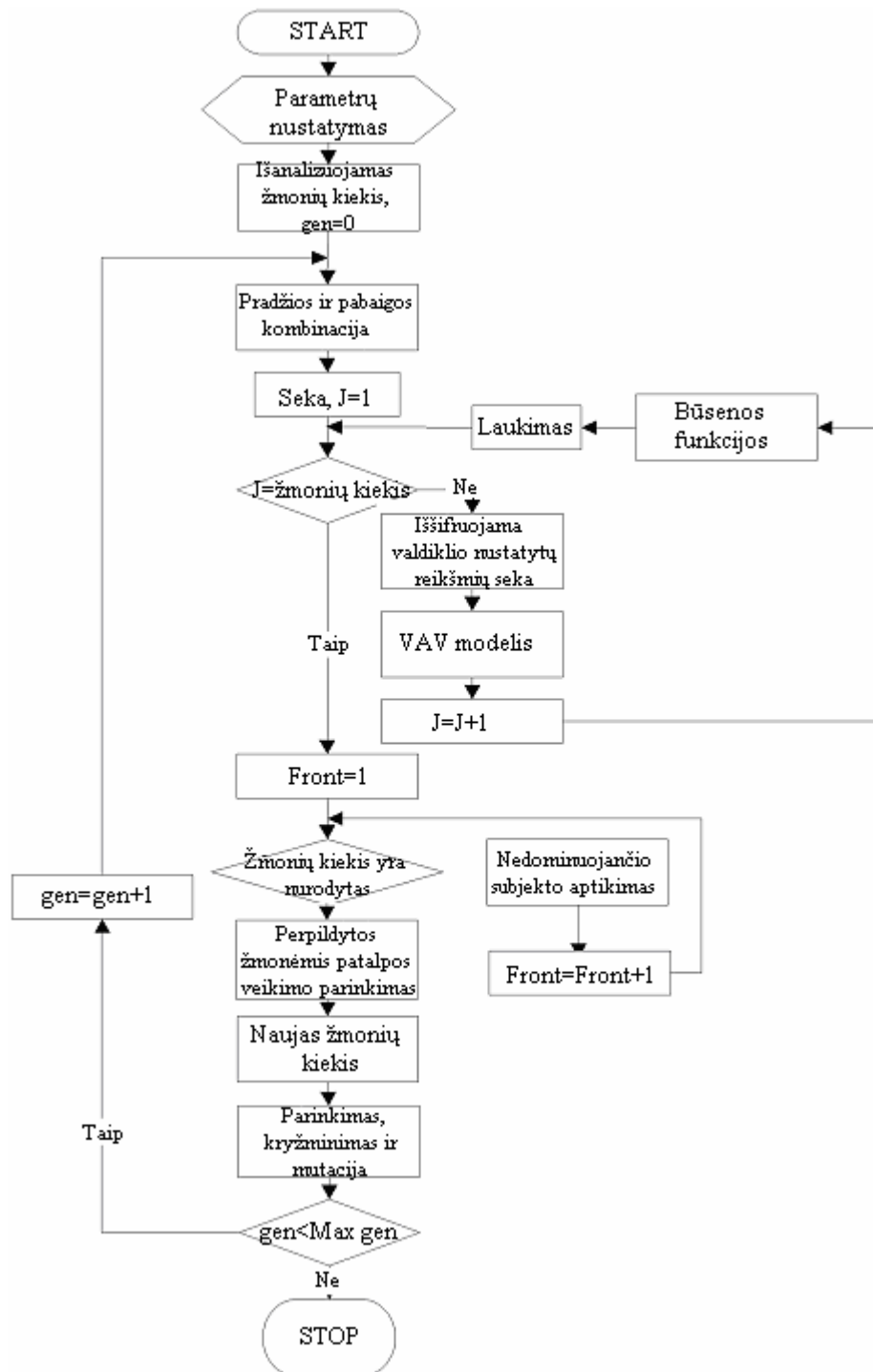
Pagrindinis tyrimo tikslas buvo energetinių sąnaudų mažinimas nesumažinant temperatūrinio komforto. Šiam tikslui įgyvendinti autorius pasirinko kontrolės valdymo strategijos optimizavimą. Pasinaudojus 1.8 pav. pateiktu optimizavimo proceso schema, apimančia kintamo oro tūrio (VAV) modelio, dvitikslio genetinio algoritmo optimizavimo programos, vidaus prognozuojamą apkrovimo, duomenų atnaujinimo „online“ režimu bei apdorojimo, ir optimalaus sprendimo pasirinkimo blokus.

Kiekvienu optimizacijos periodu (kas 15 min.), genetinio algoritmo programa (GAP) siunčia bandomąjį kontrolės signalą į VAV sistemos modelį, kuriame yra simuliuojamos energijos sąnaudos ir temperatūrinis komfortas. VAV modelis nustato energijos sąnaudų ir šiluminio komforto priklausomybę nuo lauko meteorologinių sąlygų, vidaus apkrovimo ir valdiklio nustatytų verčių. Po simuliacijos yra nuskaitomi visi VAV sistemos modelyje gauti duomenys ir siunčiami atgal į GAP.



1.8 pav. Tyrimui pasirinktas optimizavimo procesas [5].

Paskutiniame pateiktame paveikslėlyje (1.9 pav.) yra pristatytas tiriamas optimizuotas ŠVOK įrenginio dvitiksliis nedominuojančio rūšiavimo genetinis algoritmas (NSGA-II).



1.9 pav. Valdymo algoritmo schema [5]

2. SKIRTINGŲ KLIMATO KONTROLĖS IR ORO KOKYBĖS ĮRENGINIŲ APŽVALGA

Šioje dalyje apžvelgiami keturi skirtingi UAB „Amalva“ šildymo vėdinimo ir oro kondicionavimo įrenginiai. Bus išnagrinėtos ir palygintos jų konstrukcijų ypatybės bei valdymo algoritmai.

2.1 KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 [6]

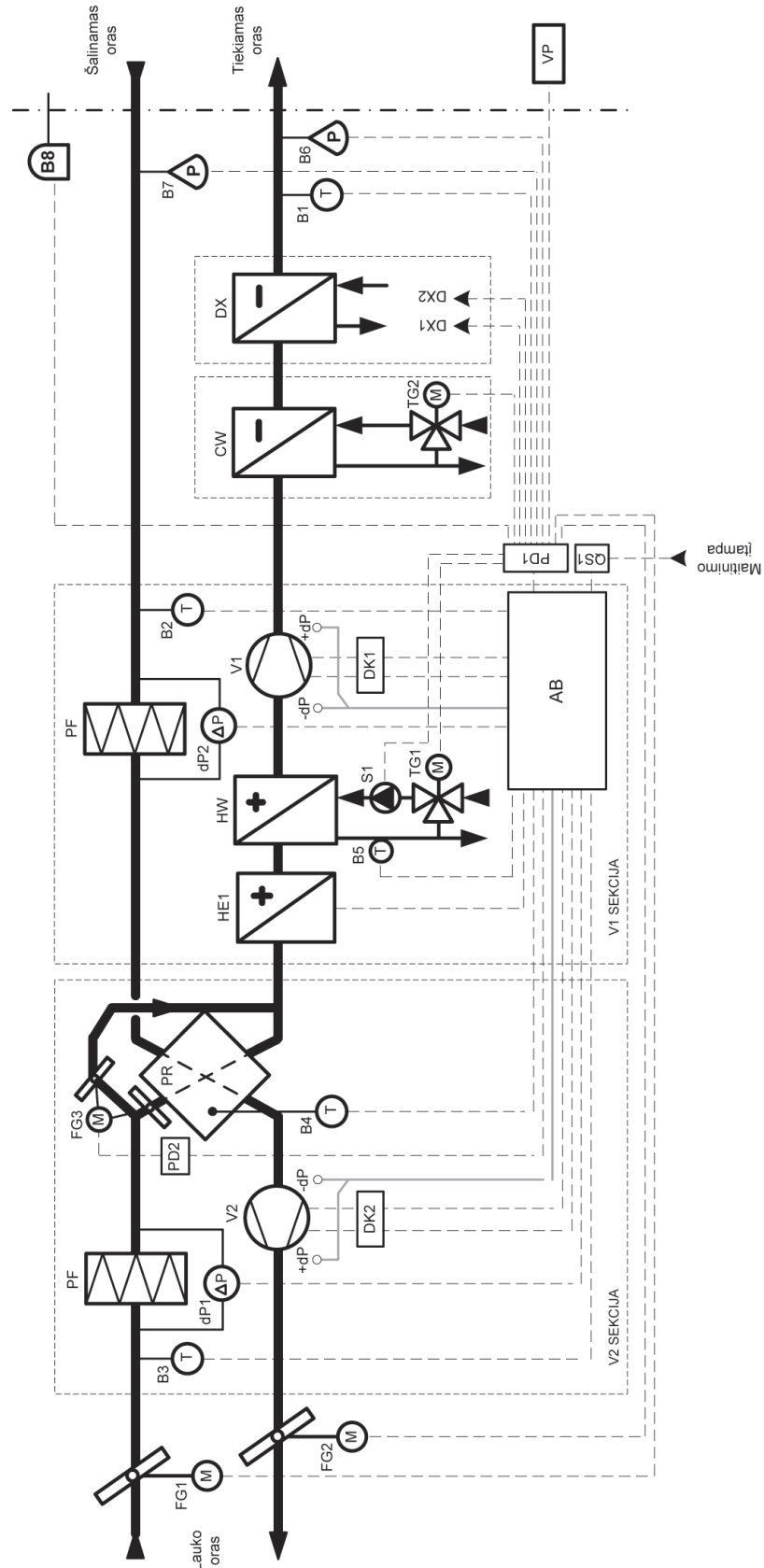
Šių modelių ŠVOK įrenginiai (2.1 pav. ir 2.2 pav.) yra skirti aptarnauti nedideles patalpas tokias kaip, sandėliai, nedideli cechai, nedidelės parduotuvės ar kitos viešosios įstaigos, kuriose būtina didelė oro kaita. Šie įrenginiai susideda iš keturių pagrindinių sekcijų, kurios atitinkamai sudarytos iš daugelio smulkesnių komponentų (2.1 lentelė).

Įrenginio veikimas paremtas tuo, kad tiekiamo oro ventiliatorius (V1) įtraukia gryną lauko orą, kuris pereina per filtrus (PF), plokštiniame arba rotaciniame šilumokaityje (PR/RT) iš šalinamo oro pasiima ar atiduoda dalį šilumos ir yra išpučiamas į patalpą. Jeigu oro temperatūra yra žemesnė išstatytos reikšmės, tiekiamas oras yra pašildomas elektriniu šildytuvu (HE1 ir HE2) arba vandeniniu šildytuvu (HW). Esant aušinimo poreikiui, yra panaudojamas vandeninis aušintuvas (CW). Šalinamo oro ventiliatorius iš patalpos per oro filtrus (PF) ištraukia užterštą orą.

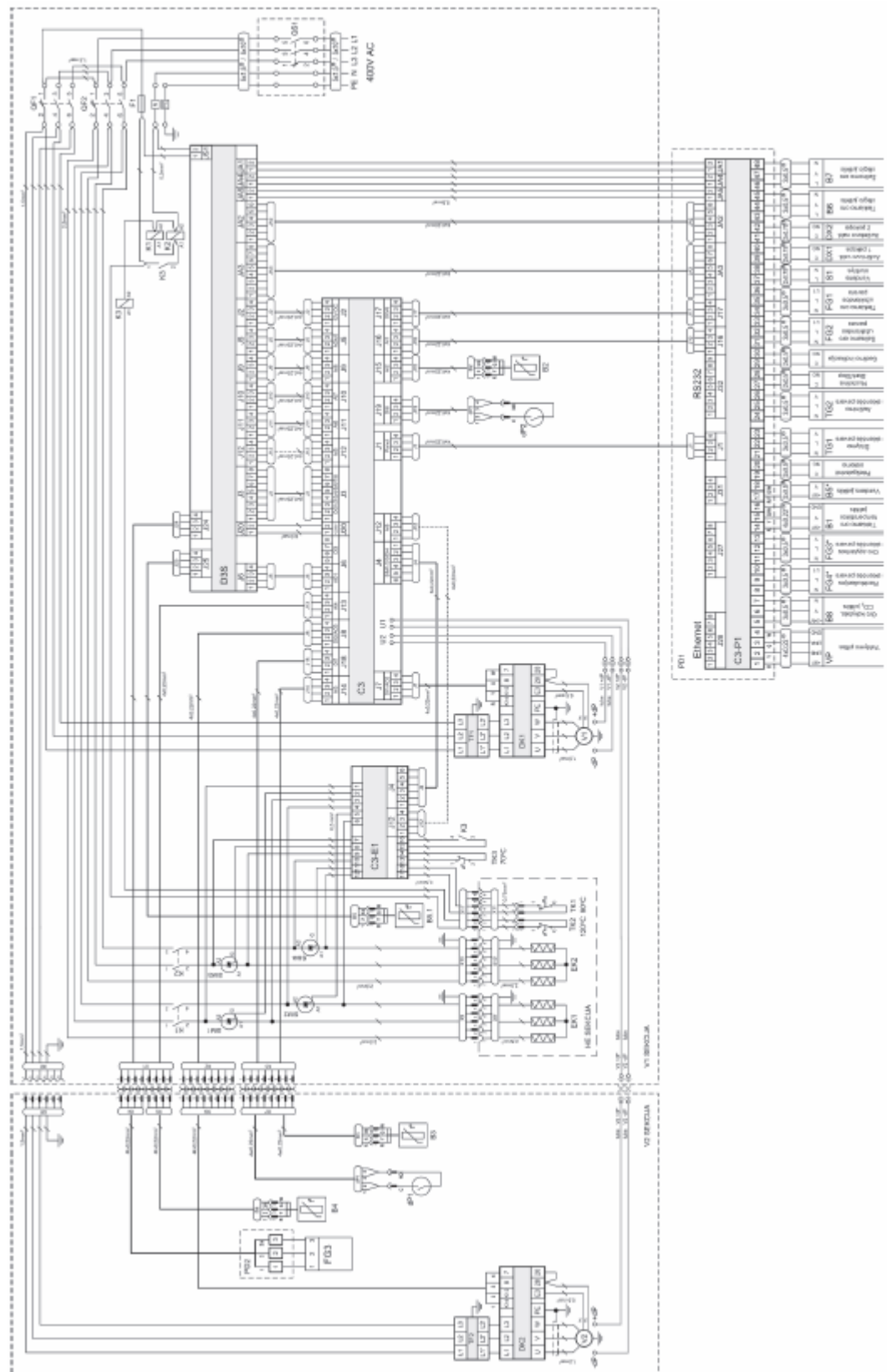
2.1 lentelė. KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 sudarantys komponentai.

AB	Automatikos blokas	VP	Valdymo pultas
B1	Tiekiamo oro temperatūros jutiklis	HE1	Elektrinis šildytuvas
B2	Šalinamo oro temperatūros jutiklis	HE2	Papildomas elektrinis šildytuvas
B3	Lauko oro temperatūros jutiklis	HW	Vandeninis šildytuvas
B4	Šilumokaičio temperatūros jutiklis	M1	Rotacinio šilumokaičio variklis
B5	Grįžtamojo vandens temperatūros jutiklis	PF	Oro filtras
B6, B7	Išoriniai slėgio jutikliai	PR	Plokštelinis šilumokaitis
B8	Oro kokybės jutiklis	PD1, PD2	Prijungimo dėžutė
CW	Vandeninis aušintuvas	QS1	Įvadinis kirtiklis
D1	Rotoriaus sukimosi jutiklis	RT	Rotacinis šilumokaitis
DK1, DK2	Dažnio keitiklis	S1	Cirkuliacinis siurblys
DX1, DX2	Tiesioginio išgarinimo aušintuvo valdymas	TG1	Šildymo sklendės pavara
dP1, dP2	Slėgio skirtumo relė filtrui	TG2	Aušinimo sklendės pavara
FG1	Tiekiamo oro sklendės pavara	V1	Tiekiamo oro ventiliatorius
FG2	Šalinamo oro sklendės pavara	V2	Šalinamo oro ventiliatorius
FG3	Šilumokaičio oro apylankos sklendės pavara		

Įrenginio valdymui yra panaudojamas UAB „Amalva“ gamybos C3 programuojamas valdiklis. Tai yra specializuotas vėdinimo sistemoms valdyti sukurtas valdiklis, kuris pasižymi dideliu patikimumu. Tokie valdikliai yra lengvai perprogramuojami ir sukalibruojami. 2.3 paveikslėlyje atvaizduota KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 principinė schema ir C3 valdiklio pajungimas į schemą.

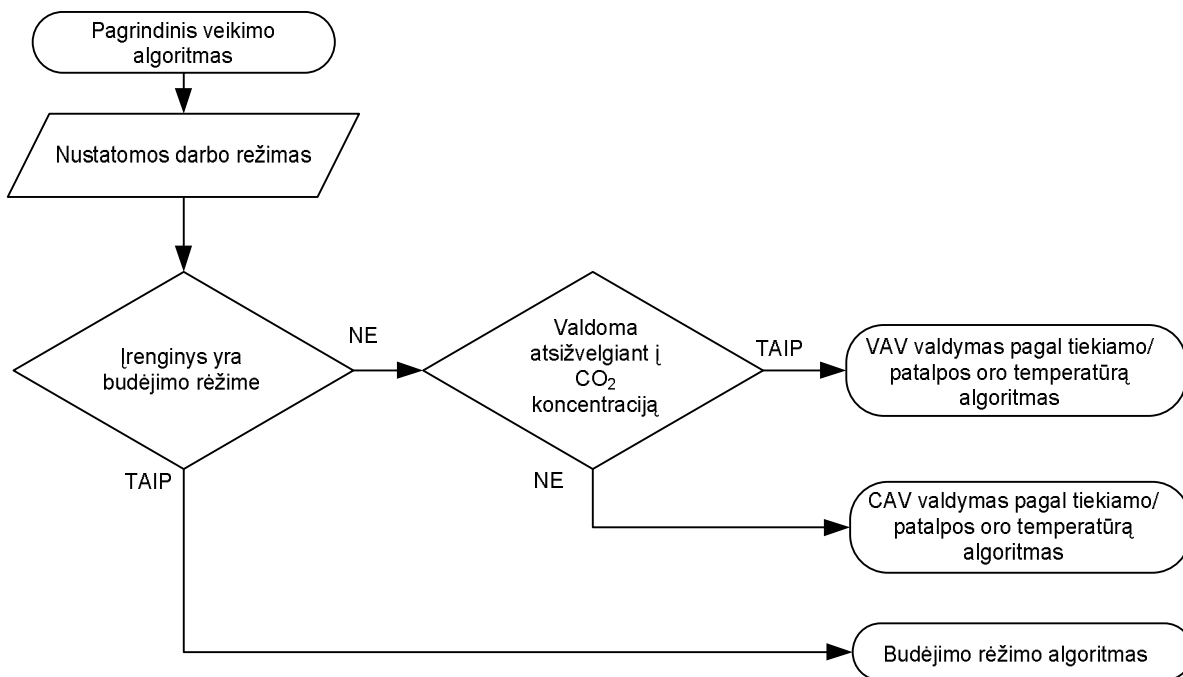


2.1 pav. KOMPACT RECU 4000 funkcinė schema.



2.3 pav. KOMPACT RECU 4000 ir KOMPACT REGO 4000 principinė elektrinė schema.

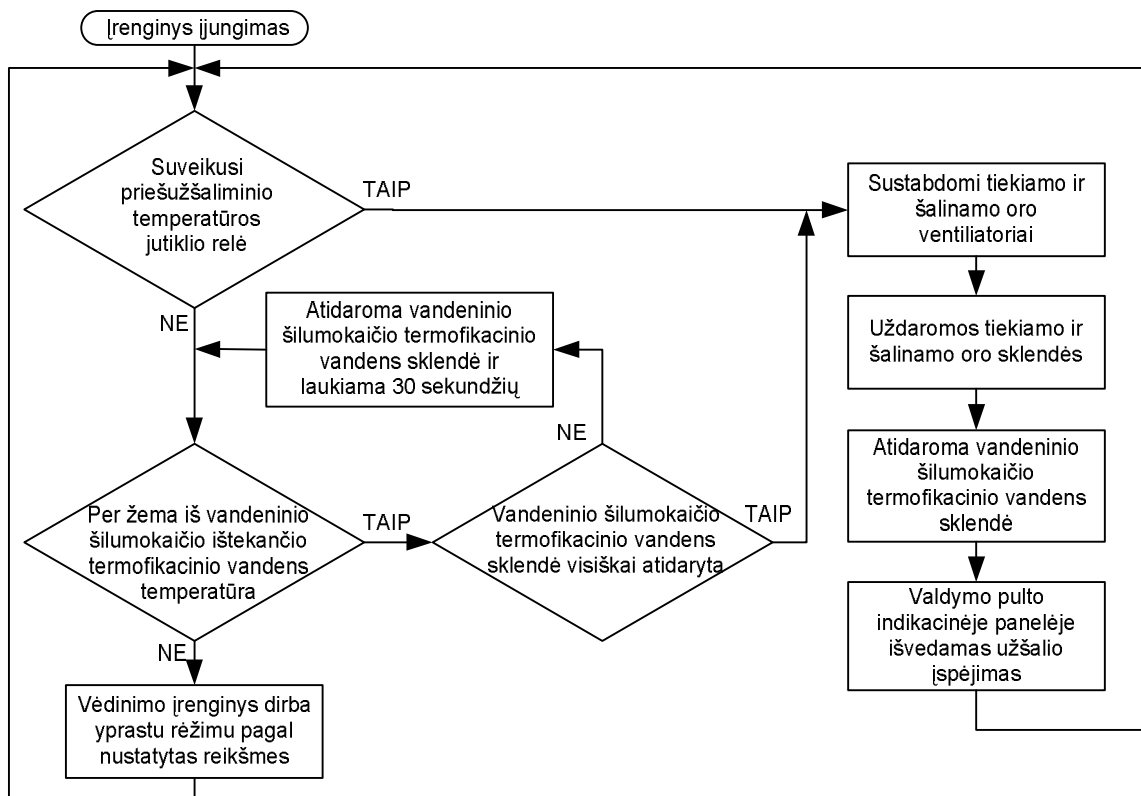
Tokie ŠVOK įrenginiai turi kelis valdymo lygius. Pagrindiniame veikimo algoritme (2.4 pav.) įrenginys pagal operatoriaus užduotus parametrus pasirenka atitinkamą žemesnio lygio valdymo algoritmą. KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 įrenginiai turi tris normalaus veikimo algoritmus.



2.4 pav. KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 pagrindinis valdymo algoritmas.

ŠVOK įrenginių modifikacijose su vandeniniu šildymo šilumokaičiu (retais atvejais ir su elektriniu šildytuvu) yra įvedamas priešužšaliminis algoritmas (2.5 pav.). Jis yra skirtas apsaugoti vandeninį šilumokaitį nuo galimo suplaišymo dėl viduje susidariusio ledo.

Pagal prioritetą šis algoritmas turi pirmumo teisę, t.y. jeigu jame bent viena algoritmo tikrinimo sąlyga yra teigiama, jis sustabdo algoritmą pagal kurį įrenginys tuo metu veikia ir pradeda pats valdyti įrenginį. Kai algoritmo tikrinimo sąlyga vėl pasidaro neigiama, priešužšaliminis algoritmas perduoda ŠVOK valdymą atgal prieš tai veikusiam valdymo algoritmui.

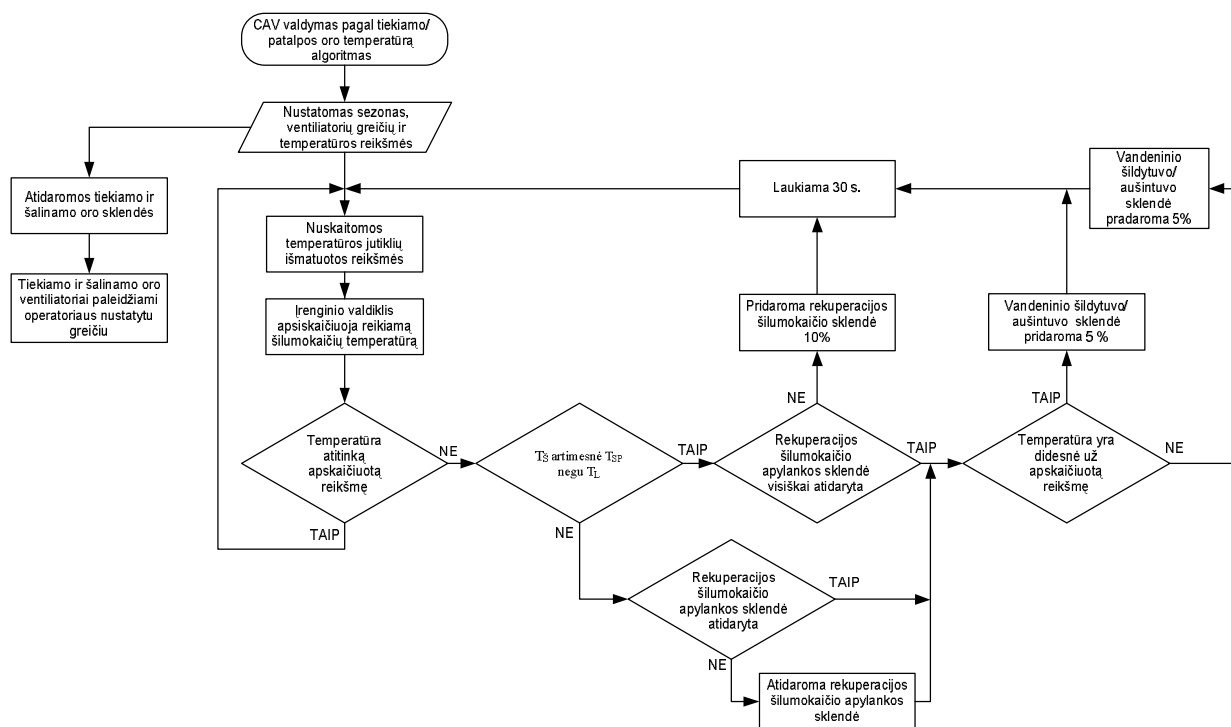


2.5 pav. KOMPACT RECU 4000 priešužšaliminis valdymo algoritmas.

Vienas iš normalaus veikimo algoritmų yra VAV (angl. variable air volume – kintamo oro srauto) valdymo algoritmas (2.6 pav.). Jis dažniausiai būna naudojamas tuomet, kai žmonių skaičius ventiliuojamoje patalpoje yra nepastovus. Patalpoje padidėjus žmonių skaičiui kartu padidėja ir išskiriamo anglies dvideginio kiekis. Anglies dvideginio jutiklio pagalba išmatavus CO₂ koncentraciją ir nustatčius, kad ji viršija operatoriaus nustatytą reikšmę, ŠVOK įrenginys palaipsniui pradeda didinti tiekiamo bei šalinamo oro ventiliatorių greičius iki maksimalios leistinos ribos. Šaliname ore anglies dvideginio koncentracijai sumažėjus tiekiamo bei šalinamo oro ventiliatorių greičiai yra vėl sumažinami.

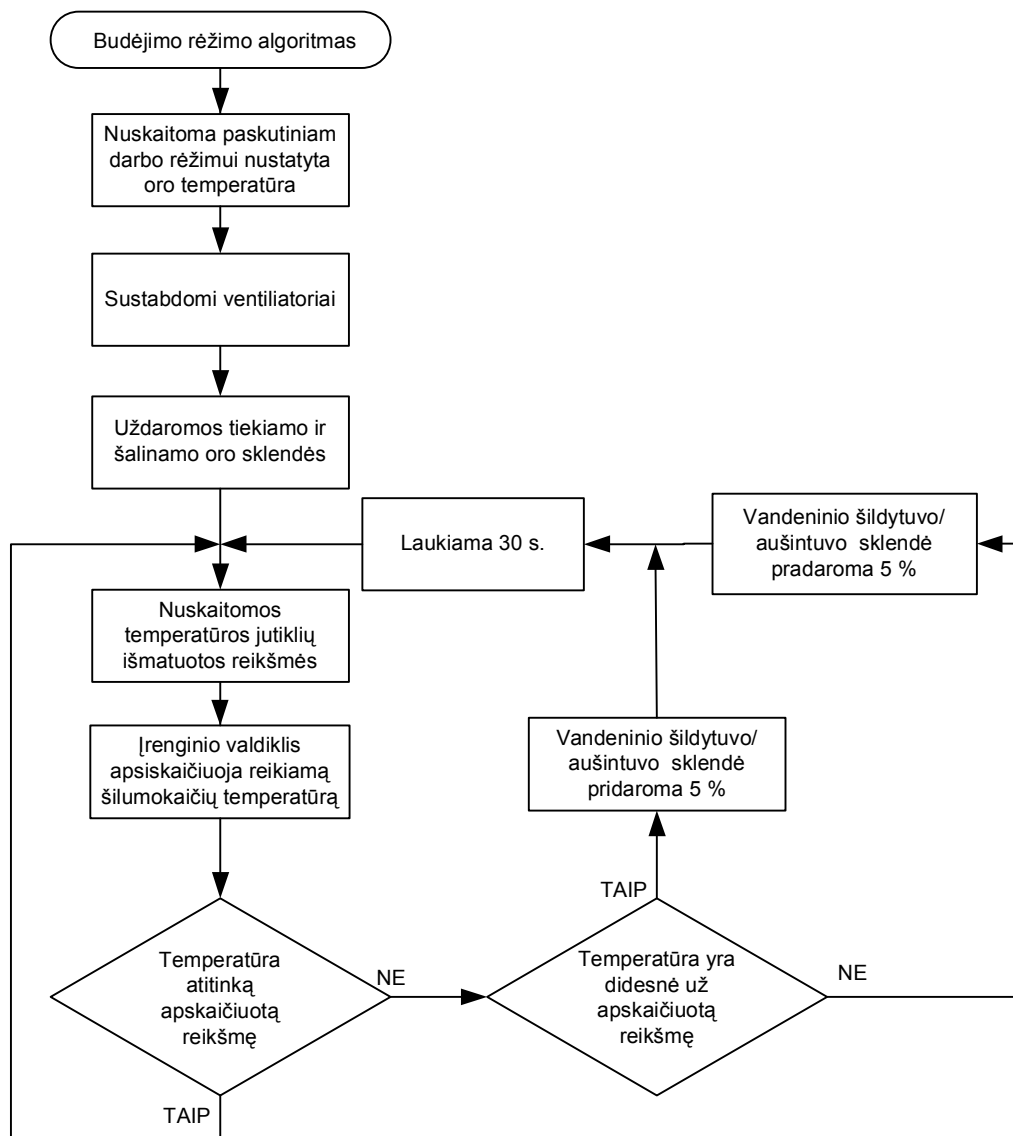
Kitas parametras pagal kurį valdosi įrenginys yra tiekiamo arba patalpos oro temperatūra. Pirmuoju atveju nustatyta tiekiamo oro temperatūra yra pastovi ir nėra įtakojama nuo patalpoje esančio oro temperatūros. Tuo tarpu, antruoju atveju tiekiamo oro srauto temperatūra gali kardinaliai skirtis nuo nustatytos patalpos oro temperatūros, t.y. kiek patalpoje esančio oro temperatūra bus aukštesnė už nustatytą, tiek pat laipsnių žemesnės temperatūros oras bus paduodamas ir atvirkščiai. Kad ŠVOK įrenginys nepaduotų per daug šalto ar karšto oro yra nustatomos ribinės paduodamo oro temperatūros reikšmės.

Šiuo atveju parametras, pagal kurį valdosi ŠVOK, yra tiekiamo arba patalpos oro temperatūra. Visa tai vyksta identiška VAV veikimo algoritme aprašytame oro temperatūros valdyme.



2.7 pav. CAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmas.

Paskutinis KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 normalaus veikimo algoritmas – budėjimo režimo algoritmas (2.8 pav.). Šis algoritmas yra naudojamas tuomet, kai nebelieka poreikio patalpų toliau vėdinti. Vienas iš galimų tokio algoritmo panaudojimų yra naktimis, kuomet cechuose ir administracinėse patalpose niekas nedirba. Budėjimo režimo algoritmo veikimo metu yra sustabdomi tiekiamo ir šalinamo oro ventiliatoriai, uždaromos tiekiamo ir šalinamo oro sklendės, ir vandeniniame šilumokaityje palaikomas paskutiniojo, prieš tai veikimo algoritme nustatytos temperatūros termofikacinis vanduo. Jei ŠVOK įrenginio modifikacija yra su elektriniu šilumokaičiu, tuomet paskutiniajam darbo režimui nustatyta temperatūra nėra palaikoma.



2.8 pav. Budėjimo režimo algoritmas.

KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 įrenginiai yra gaminami dviejų skirtingų modifikacijų, t.y. su vandeniniu arba elektriniu šilumokaičiu.

Pirmasis šilumokaičio tipas yra sutinkamas dažniau, nes turi didesnę inerciją, kas sąlygoja tolygesnį oro temperatūros pokytį bei didesnę komfortą, ir geresnį naudingumo koeficientą. Vandeniniai šilumokaičiai dėl žemesnės šiluminės energijos kainos pasižymi ir pigesne eksploatacija.

Nors elektriniai šilumokaičiai daugeliu parametru nusileidžia vandeniniams šilumokaičiams, tačiau yra visuomet montuojami į ŠVOK įrenginį, kai šis stovi ant stogo. Tai įtakoja šaltuoju metų laiku esantys didesni termofikacinio vandens šiluminiai nuostoliai bei didelis

šilumokaičio užšalimo pavojus, staiga dėl kokio nors gedimo nutrūkus termofikacinio vandens tiekimui į ŠVOK įrenginį.

KOMPAKT RECU 4000 šiluminės energijos taupymui integruotas plokštelinis šilumokaitis. Nors šių šilumokaičių efektyvumas tesiekia 65 %, tačiau pagrindiniu jų privalumu laikoma tai, kad šalinamo ir tiekiamo oro srautai yra atskirti ir nesimaišo tarpusavyje. Tokiu būdu yra išvengiama nemalonių kvapų patekimo atgal į patalpą.

Kitas rekuperatoriaus šilumokaičio tipas yra – rotacinis. Tokiais šilumokaičiais yra aprūpinti KOMPAT REGO 4000 įrenginiai. Tokio tipo šilumokaičiai pasižymi aukštu šalinamo oro šiluminės energijos gražinimu tiekiamam orui. Tačiau kaip aukščiau buvo paminta tokie įrenginiai nėra naudojami patalpose, kuriose yra nemalonūs kvapai.

2.2 VERSO-P ir VERSO-R [6]

VERSO-P ir VERSO-R ŠVOK įrenginiai yra beveik analogiški prieš tai aprašytiems KOMPAKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 įrenginiams. Pagrindinis jų skirtumas slypi tame, kad VERSO-P ir VERSO-R įrenginiuose sumontuota oro recirkuliacijos sklendė. Ši sklendė montuojama įrenginio vidurinėje dalyje ir atskiria tiekiamo ir šalinamo oro srautus. Susinchronizavus tiekiamo oro, šalinamo oro ir recirkuliacijos sklendžių darbą atsiranda galimybė reguliuoti šviežio ir atgal į patalpą gražinamo oro santykį. Tuomet, kai patalpos ištraukiamas oras nėra labai užterštas, tiekiamo ir šalinamo oro sklendės prisidaro, o recirkuliacinė sklendė prasidaro. Taip yra sumažinamas iš lauko paimamo ir į lauką šalinamo, bei į patalpą gražinamo oro kiekis. Idealiu atveju, kai lauko sklendės užsidariusios, o recirkuliacinė sklendė pilnai atsidariusi yra sutaupoma iki 100% šiluminės energijos.

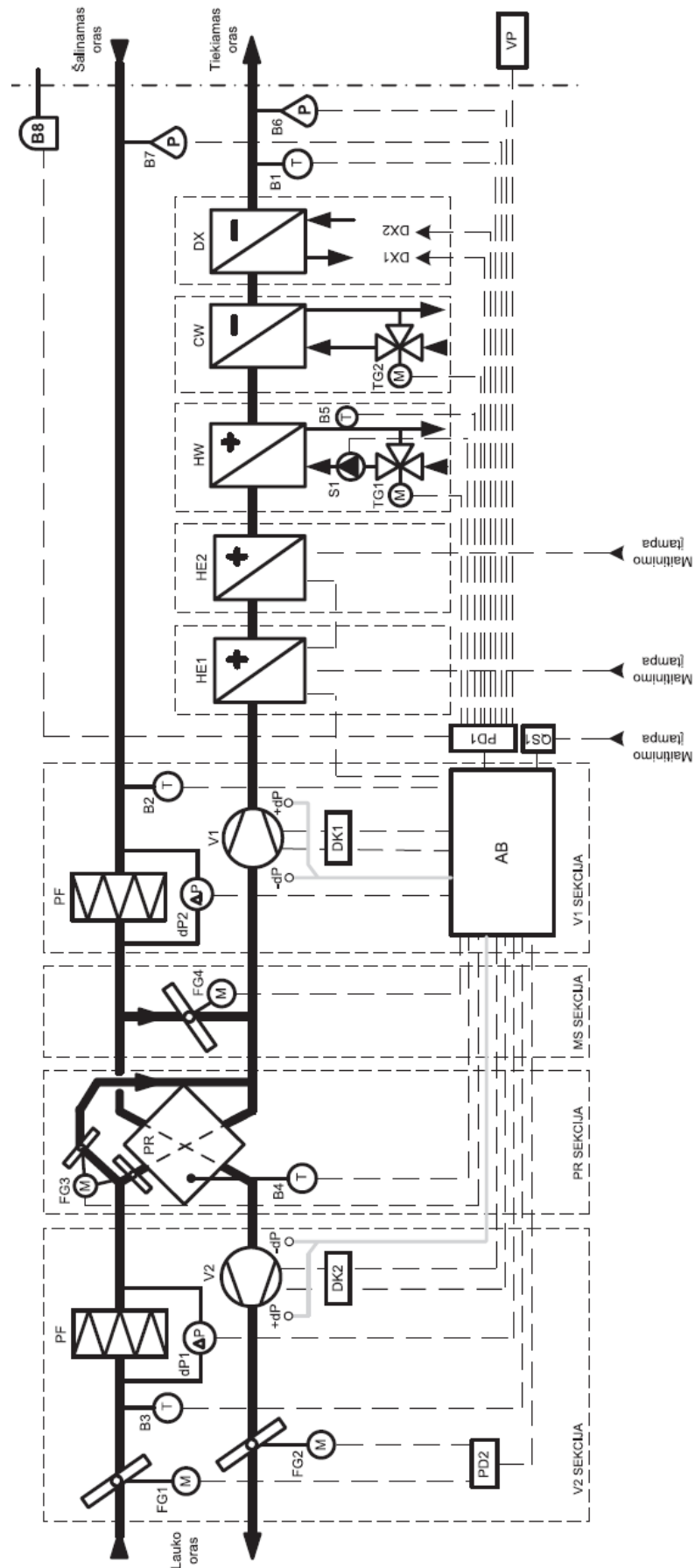
Šie VERSO-P ir VERSO-R įrenginiai skirti aptarnauti tas patalpas, kuriose nėra didelių kietųjų dalelių, kenksmingų dujų ir/arba kvapų šaltinių. Tokiu atveju šie įrenginiai retai kada naudojami medžio apdirbimo, laivų korpusų virinimo ir kituose, aukščiau išvardintas sąlygas atitinkančiuose, cechuose.

2.2 lentelė. VERSO-P ir VERSO-R sudarantys komponentai.

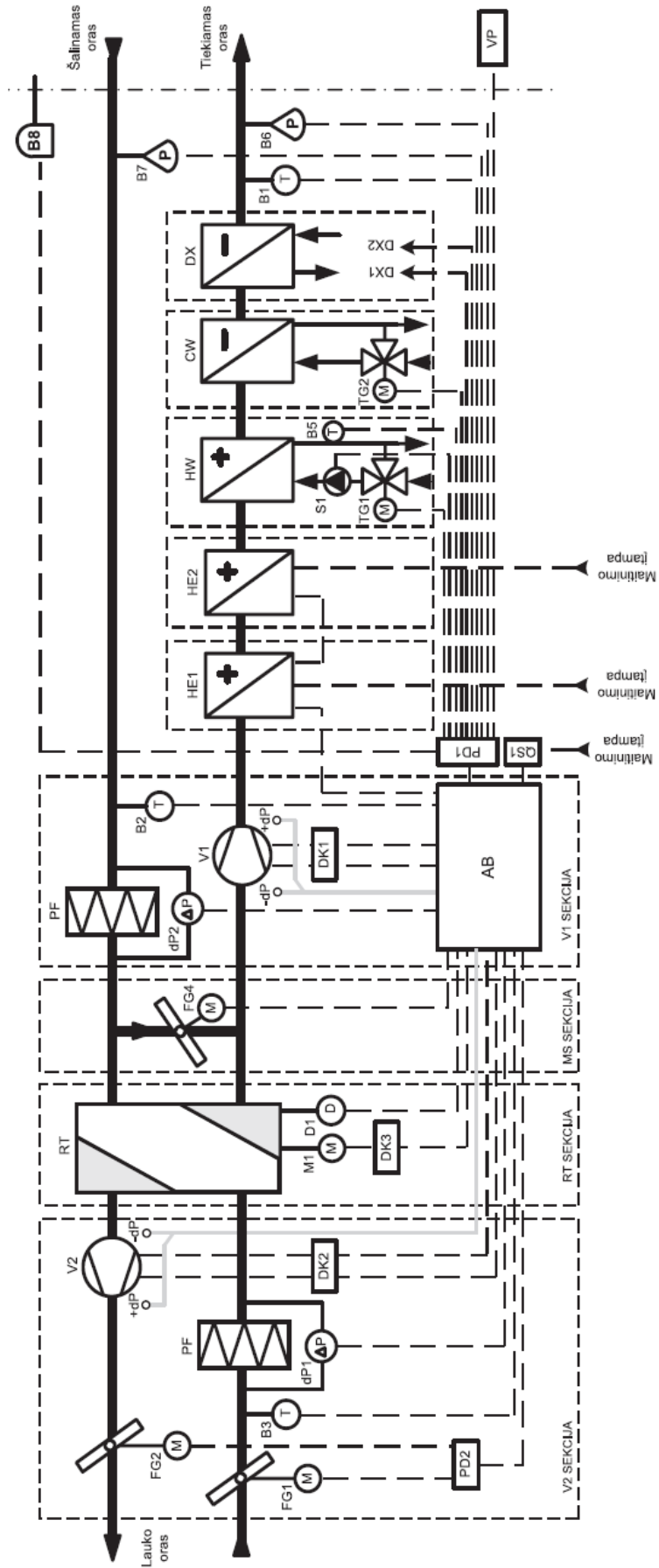
AB	Automatikos blokas		HE1	Elektrinis šildytuvas
B1	Tiekiamo oro temperatūros jutiklis		HE2	Papildomas elektrinis šildytuvas
B2	Šalinamo oro temperatūros jutiklis		HW	Vandeninis šildytuvas
B3	Lauko oro temperatūros jutiklis		M1	Rotacinio šilumokaičio variklis
B4	Šilumokaičio temperatūros jutiklis		MS	Oro recirkuliacijos sekcija
B5	Grįžtamojo vandens temperatūros jutiklis		PF	Oro filtras
B6, B7	Išoriniai slėgio jutikliai		PR	Plokštelinis šilumokaitis
B8	Oro kokybės jutiklis		PD1, PD2	Prijungimo dėžutė
CW	Vandeninis aušintuvas		QS1	Įvadinis kirtiklis
D1	Rotoriaus sukimosi jutiklis		RT	Rotacinis šilumokaitis
DK1, DK2, DK3	Dažnio keitiklis		S1	Cirkuliacinis siurblys
DX1, DX2	Tiesioginio išgarinimo aušintuvo valdymas		TG1	Šildymo sklendės pavara
dP1, dP2	Slėgio skirtumo relė filtrui		TG2	Aušinimo sklendės pavara
FG1	Tiekiamo oro sklendės pavara		V1	Tiekiamo oro ventiliatorius
FG2	Šalinamo oro sklendės pavara		V2	Šalinamo oro ventiliatorius
FG3	Šilumokaičio oro apylankos sklendės pavara		VP	Valdymo pultas
FG4	Oro recirkuliacijos sklendės pavara			

Tiek iš 2.2 lentelėje pateikiamo bendro VERSO-P ir VERSO-R įrenginių komponentų sąrašo, tiek įrenginių funkcinių schemų (2.9 pav. ir 2.10 pav.) galima pastebėti, kad didžioji dalis komponentų ir jų išdėstymas yra tokia pat kaip ir KOMPAKT RECU 4000 bei KOMPAKT REGO 4000 įrenginiuose.

VERSO-P ir VERSO-R įrenginiams valdyti naudojami tokie patys C3 valdikliai, kurių pajungimas į schemą atvaizduotas 2.11 paveikslėlyje.



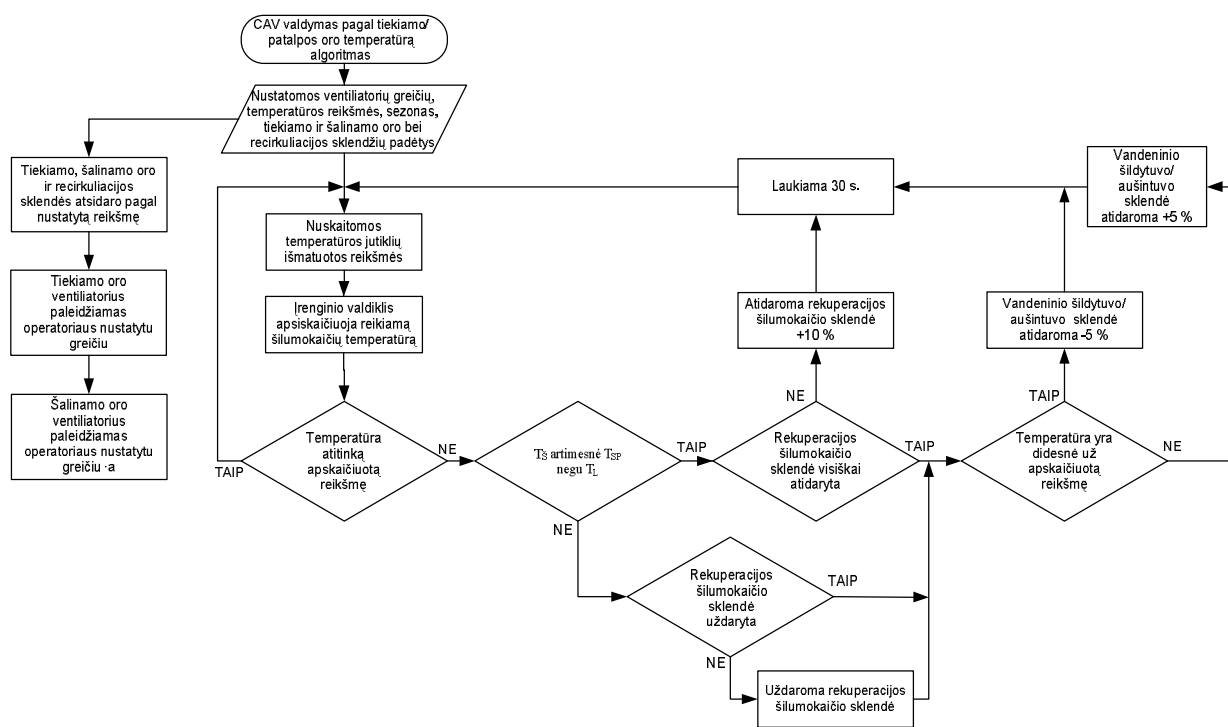
2.9 pav. VERSO-P įrenginių funkcinė schema.



2.10 pav. VERSO-R įrenginių funkcinė schema.

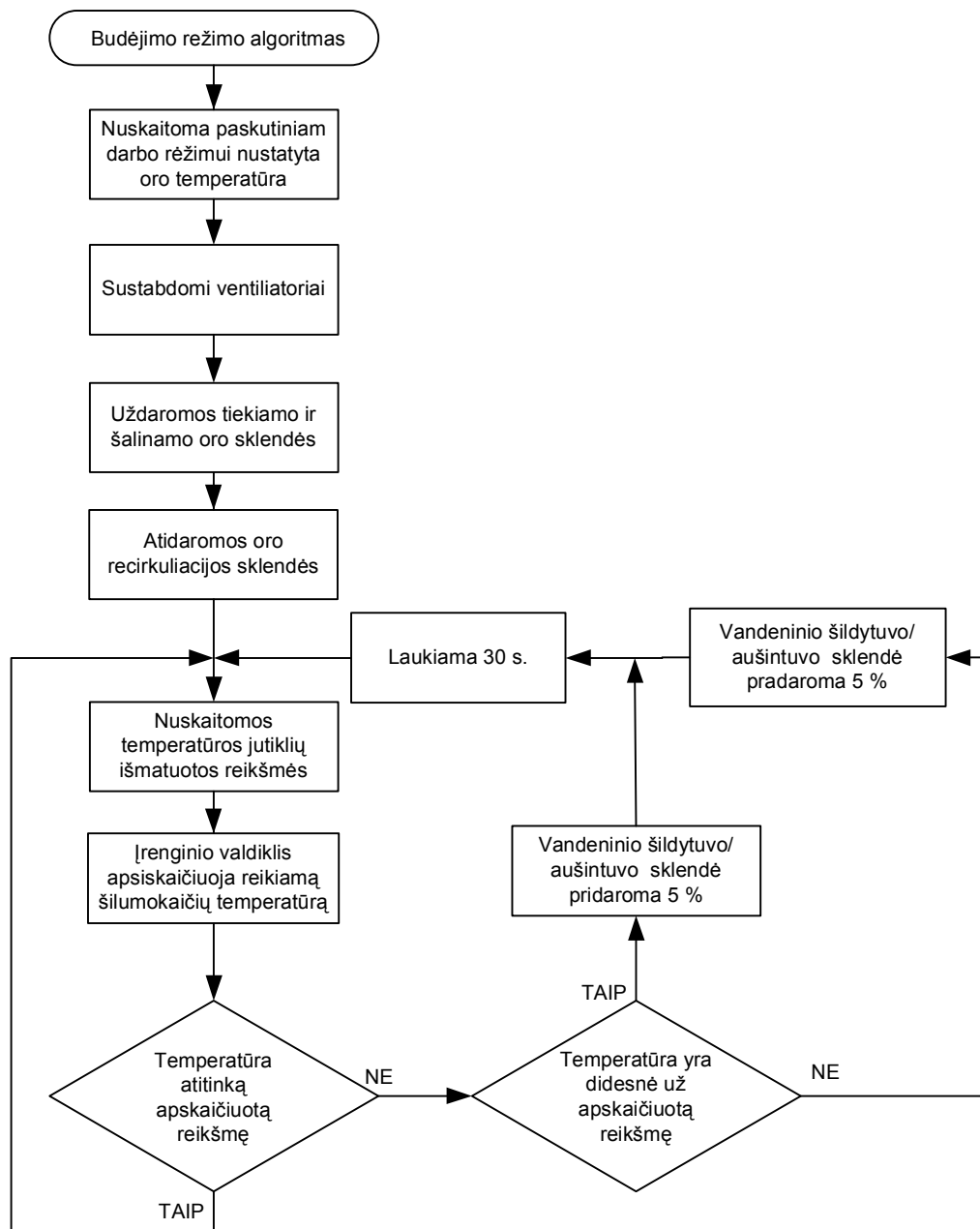
Priklausomai nuo to ar lauko temperatūra yra artimesnė, ar ne nustatytai temperatūros reikšmei už šalinamo oro temperatūrą, prasidaro arba užsidaro rekuperacijos šilumokaičio apylankos sklendė (ŠVOK įrenginiams su rotaciniu rekuperatoriaus šilumokaičiu kinta paties šilumokaičio sukimosi greitis).

Kitas valdymo algoritmas, kuriame recirkuliacinė sklendė būna operatoriaus nustatytoje padėtyje, o įrenginys valdoms tik pagal nustatytą tiekiamo arba šalinamo oro temperatūrą yra vadinamas CAV valdymo algoritmu (2.13 pav.). Šio valdymo algoritmo ir tokios konstrukcijos ŠVOK įrenginių didžiausias energetinis efektyvumas pasireiškia vėdinant aukštas patalpas, kuriose dėl skirtingos temperatūros oro susisluoksniavimo reikalingas pastovus jo maišymas bei pašildymas arba atvėsinimas.



2.13 pav. CAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmas.

Paskutinis VERSO-P ir VERSO-R įrenginių valdymo algoritmas yra – budėjimo režimo algoritmas (2.14 pav.). Iš esmės jis beveik niekuo nesiskiria nuo anksčiau aptarto budėjimo režimo algoritmo. Vienintelis padarytas pakeitimas - tai įvesta oro recirkuliacijos sklendės atidarymo komanda.



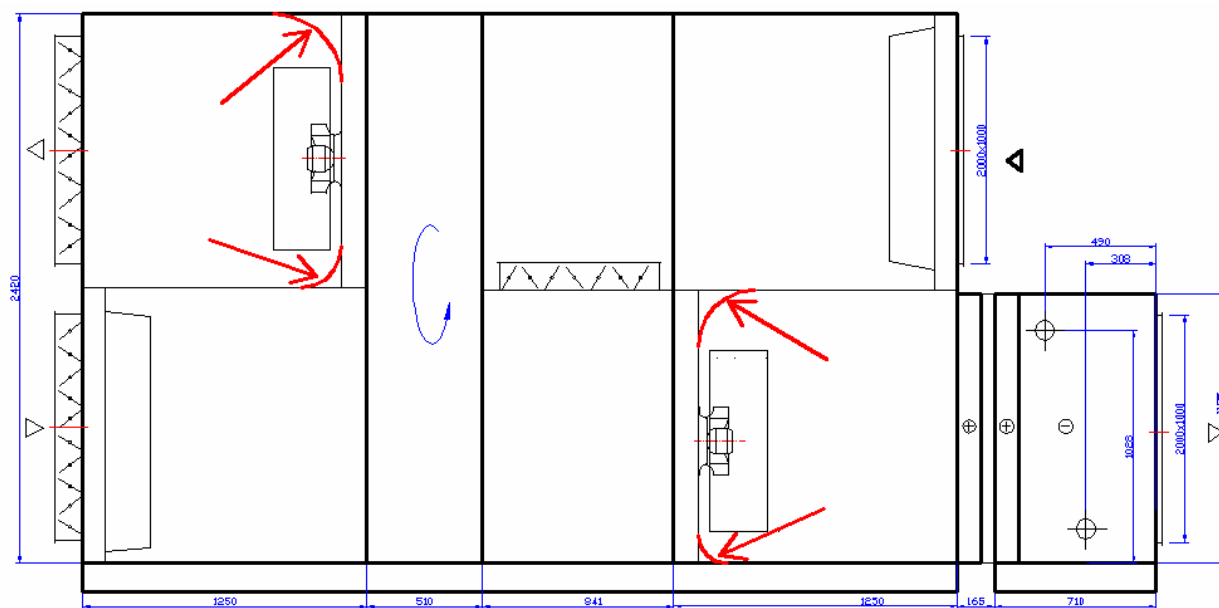
2.14 pav. VERSO-P ir VERSO-R budėjimo režimo algoritmas.

Nors VERSO-P ir VERSO-R įrenginiai ir nedaug skiriasi nuo KOMPARKT RECU 4000 ir KOMPAKT REGO 4000 įrenginių, tačiau jie turi kur kas didesnes energijos taupymo galimybes. Dėl šios priežasties žvelgiant į ateities perspektyvą derėtų rinktis būtent VERSO-P arba VERSO-R tipo ŠVOK įrenginius nepaisant didesnės jų kainos.

3. NAUJO ŠVOK ĮRENGINIO PROJEKTAVIMAS

Kad ir kokie modernūs ir ekonomiškai yra apžvelgti įrenginiai, tačiau ir jie turi trūkumų. Norint juos pašalinti reikia anksčiau aprašytus įrenginius perprojektuoti ir papildyti, arba iš esmės pakeisti jų valdymo algoritmus. Tam, kad netekų iš naujo projektuoti visos ŠVOK įrenginio konstrukcijos, kaip bazė tolimesnei darbo eigai yra pasirenkamas VERSO-R įrenginys. Toks pasirinkimas yra pagrįstas pakankamai gera ŠVOK įrenginio konstrukcija ir gana aukštu energetiniu efektyvumu.

Vienas iš ŠVOK įrenginių su išcentriniais ventiliatoriais energetinio efektyvumo mažinimo veiksnių yra turbulencija. Ji susidaro dėl tokių netobulų vėdinimo įrenginio konstrukcijos ypatumų kaip statūs kampai. Dėl turbulencijos atsiranda didesnis oro pasipriešinimas, kuris įtakoja didesnę elektros variklių apkrovimą ir didesnes elektros energijos sąnaudas. Siekiant minimizuoti turbulenciją didžiausiuose jos vietose įvedami konstrukciniai 3.1 paveikslėlyje, raudonomis rodyklėmis, nurodyti ŠVOK įrenginio pakeitimai.

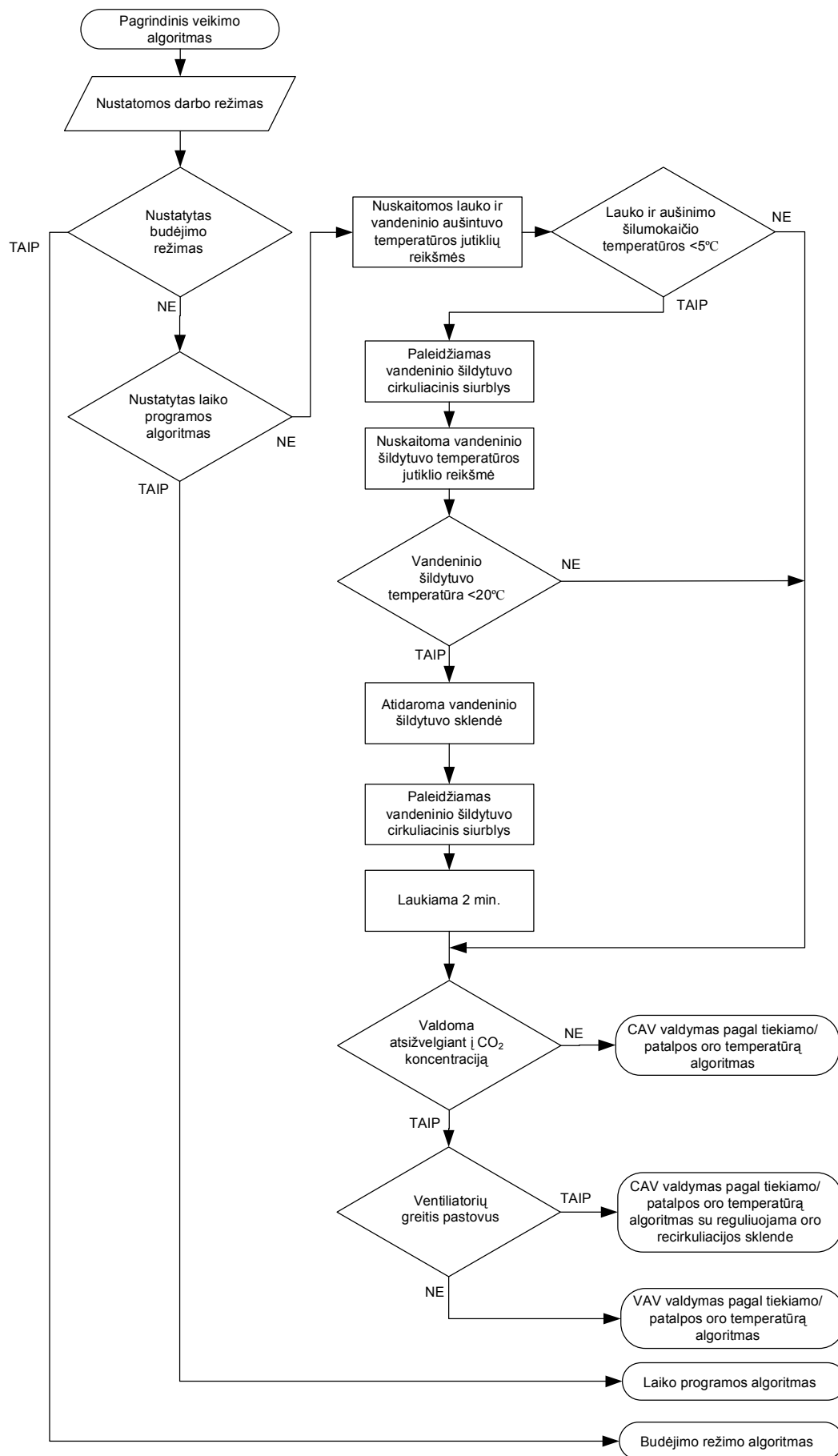


3.1 pav. Modifikuotas VERSO-R įrenginio išilginis pjūvis.

Kitas taip pat svarbus veiksnys ventiliatorių variklių greičio valdymas. Siekiant sumažinti elektros energijos sąnaudas bei padidinti oro debito reguliavimo tikslumą variklių valdymui yra panaudojami dažnių keitikliai. Dar viena dažnio keitiklių teigiama savybė yra ta, kad jie variklio paleidimo metu riboja elektros variklio apvijomis tekančios srovės dydį taip prailgindami elektros variklių eksploataavimo trukmę.

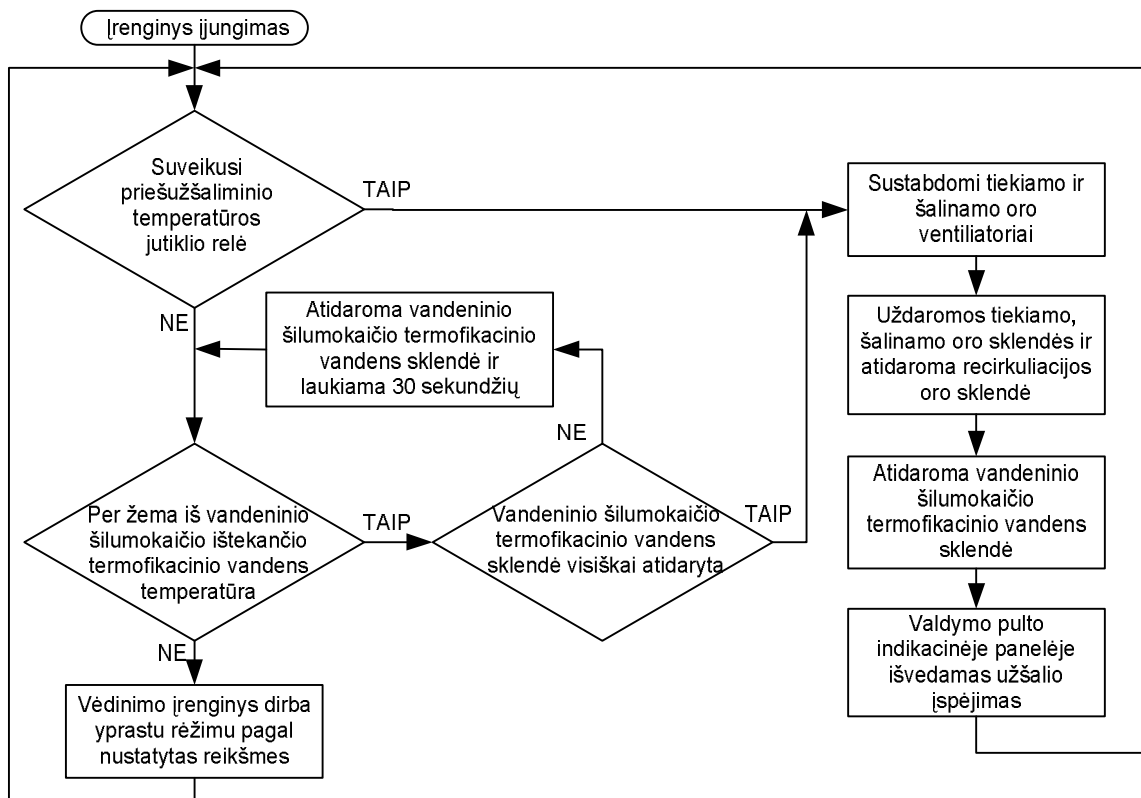
Šilumos energijos sąnaudų mažinimui yra panaudojami nauji ir modifikuoti VERSO-R valdymo algoritmai. Tai iš esmės perrašyti VERSO-R valdymo algoritmai, atsižvelgiant į prieš tai buvusius jų trūkumus. Taip pat panaudotas vienas naujas prieš tai nenaudotas algoritmas.

Vienas iš naujo ŠVOK įrenginio algoritmų yra pagrindinis valdymo algoritmas (3.2 pav.). Jame įvesti du esminiai pakeitimai. Pirmas pakeitimas tai – vandeninio šildytuvo pašildymas prieš paleidžiant ŠVOK įrenginį. Šis pakeitimas įvedamas tam, kad esant žemai lauko arba vandeninio aušintuvo temperatūrai įjungus ŠVOK įrenginį neužšaltų ir nesutrūktų vandeninis šilumokaitis. Antras šio algoritmo pokytis tai įvestas naujas CAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos temperatūrą algoritmas su reguliuojama pagal oro kokybę oro recirkuliacijos sklende.



3.2 pav. Pagrindinis projektuojamo ŠVOK įrenginio valdymo algoritmas.

Vienas iš nepakitusių valdymo algoritmų yra priešužšaliminis algoritmas (3.3 pav.). Viso to priežastis yra ta, kad tiek VERSO-R konstrukcija, tiek termofikacinis vanduo, kuriuo užpildytas vandeninis šildytuvas beveik niekuo nesiskiria.

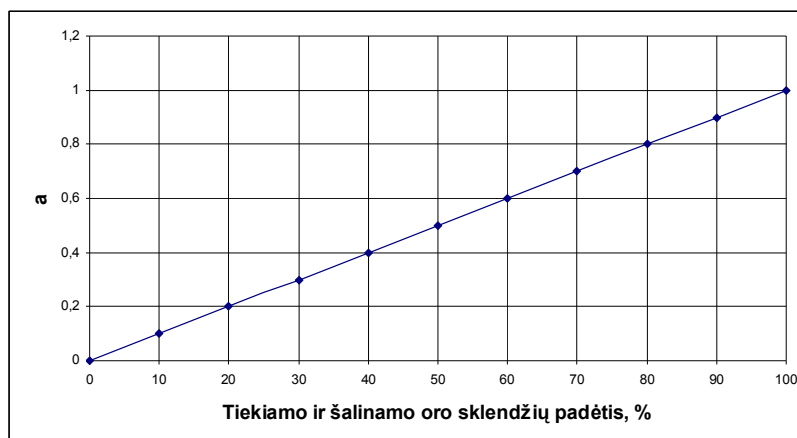


3.3 pav. Priešužšaliminis projektuojamo ŠVOK įrenginio valdymo algoritmas.

Sekantis valdymo algoritmas – CAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmas (3.5 pav.). Šis veikimo algoritmas nekontroliuoja oro kokybės, tad yra dažniausiai naudojamas tik tais atvejais, kai tiekiamo ir šalinamo oro sklendės bent kiek yra pradarytos. Kitu atveju, kai šios sklendės visiškai uždarytos, šis algoritmas naudojamas tik neesant aptarnaujamose patalpose žmonėms.

Palaispniui užsidarant tiekiamo ir šalinamo oro sklendėms bei atsidarant oro recirkuliacijos sklendei mažėja oro srautas per rekuperacijos šilumokaitį. Tokiu būdu pratekantis oro srautas nebesugeba iššildyti rekuperatoriaus šilumokaičio, kas įtakoja neracionalų elektros energijos švaistymą prieš tai buvusio greičio palaikymui. Prisdarius šalinamo oro sklendei, dėl šalinamo oro ventiliatoriaus montavimo vietos tarp šalinamo oro ir oro recirkuliacijos sklendžių krenta jo atliekamo naudingo darbo koeficientas. Iš to seka išvada, kad prisidarius šalinamo oro sklendei reikia mažinti ir šalinamo oro ventiliatoriaus greitį. Abu šie pakeitimai leidžia ženkliai sumažinti elektros energijos sąnaudas. Šioms rekuperatoriaus šilumokaičio ir šalinamo oro ventiliatoriaus

sukimosi greičio korekcijoms yra įvedamas nuo šalinamo oro sklendės padėties priklausantis koeficientas a (3.4 pav.).

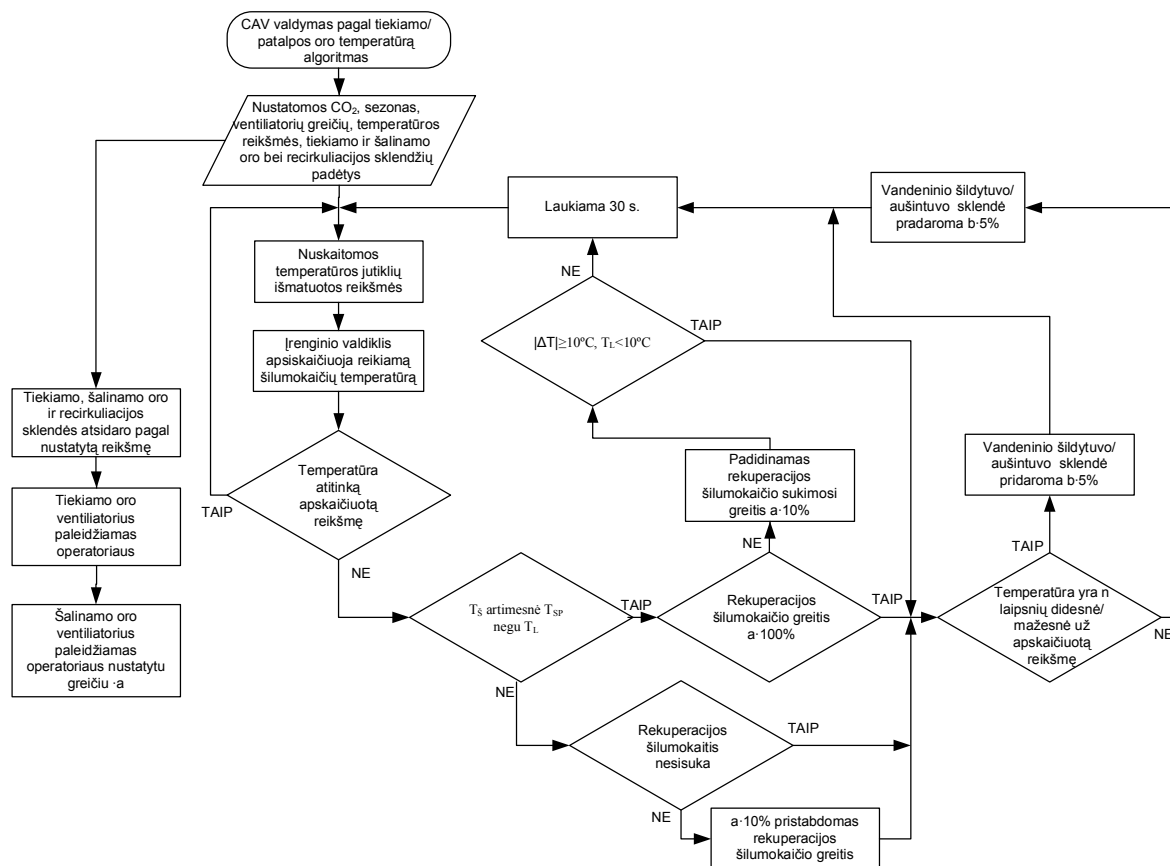


3.4 pav. Koeficiento a priklausomybė nuo tiekiamo ir šalinamo oro sklendžių padėties.

Siekiant užtikrinti greitesnį ir ekonomiškesnį patalpoje esančio oro pašildymą ar ataušinimą į CAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūros algoritmą įterpiamas blokas, kuris priklausomai nuo tiekiamo ir šalinamo oro temperatūrų skirtumo modulio ir lauko temperatūros apsprendžia ar orui pašildyti/ataušinti pakanka vien tik rekuperatoriaus šilumokaičio, ar reikia papildomai panaudoti vandeninį šildytuvą, ar aušintuvą. Trečias įvestas pakeitimas yra koeficientas b (3.1 lentelė). Šio koeficiento vaidmuo CAV valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūros, algoritme yra reguliuoti vandeninio šildymo/aušinimo sklendės pavaras taip, kad esant dideliame tiekiamo ir šalinamo oro temperatūrų skirtumui būtų kuo greičiau pasiekta užduota temperatūra.

Lentelė 3.1. Koeficiento b priklausomybė nuo tiekiamo ir šalinamo oro skirtumo.

Temperatūros skirtumas, °C	0...2	2,1...3	3,1...5	5,1...10	10,1...15	>15
b	0,2	0,4	1	2	4	6



3.5 pav. CAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmas.

Sekantis valdymo algoritmas, kuris jau valdo ŠVOK įrenginį, atsižvelgdamas į oro kokybę – VAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmas (3.6 pav.). Šis valdymo algoritmas įgavo tuos pačius pakeitimus kaip ir CAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūros algoritmas, t.y. išlieka koeficientas a ir į algoritmą yra įterpiamas tiekiamo ir šalinamo oro temperatūros palyginimo blokas. Šis blokas, kaip ir prieš tai aprašytame algoritme, nustato koeficiento b dydį. Likusi oro recirkuliacijos sklendės pavaros ir ventiliatorių valdymo algoritmo dalis išlieka tokia pat kaip VERSO-R ŠVOK įrenginio. Toks techninis sprendimas pasirenkamas dėl mažiausių šilumos ir elektros energijos sąnaudų.

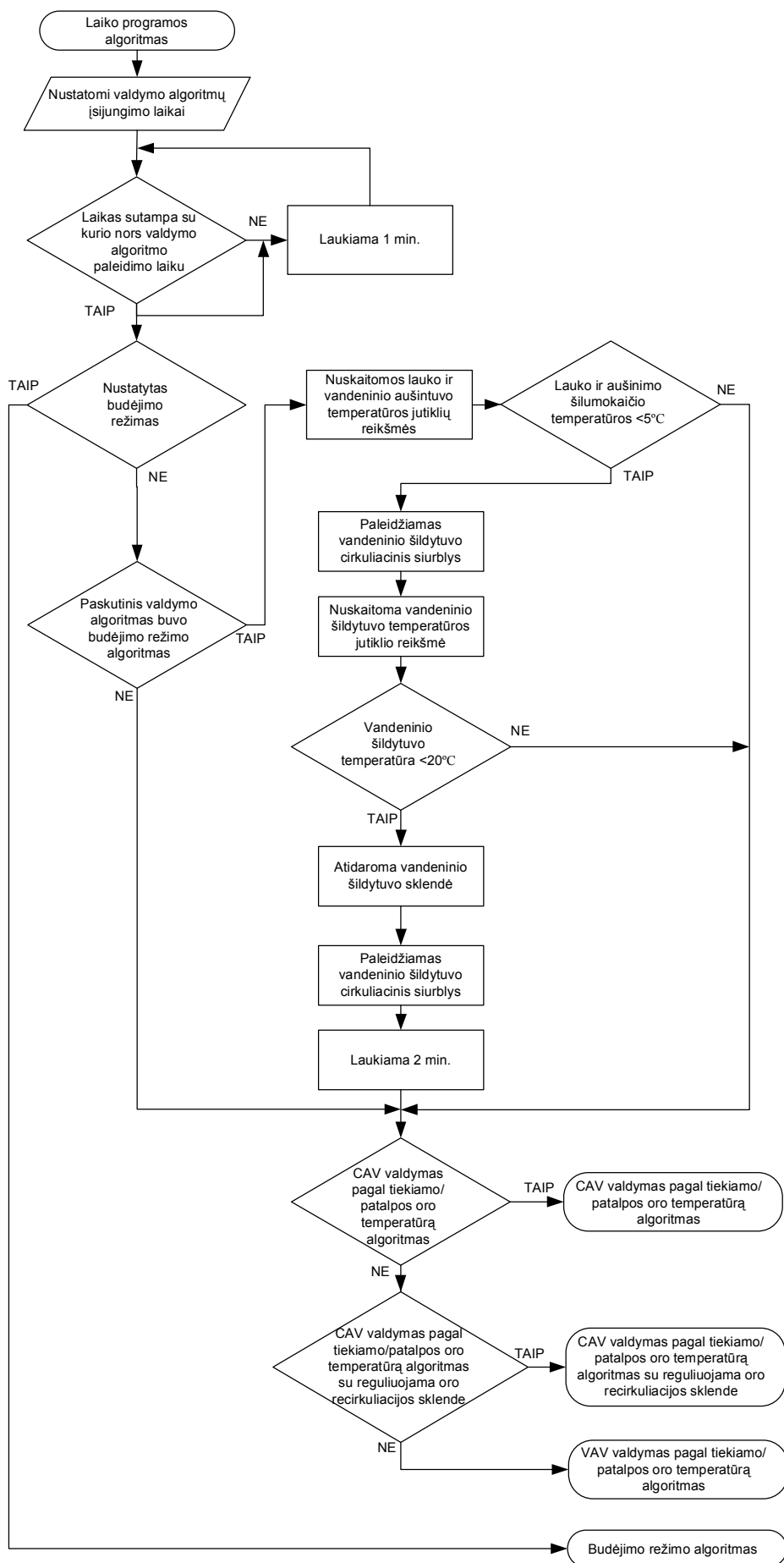
Toks algoritmas užtikrina pastovų operatoriaus nustatytą tiekiamo į patalpą oro srautą neatsižvelgiant į oro užterštumą. ŠVOK įrenginiui dirbant pagal VAV valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmą susiklosčius tam tikroms aplinkybėms susidaro tokia situacija, kai užterštas oras nepakeičiamas šviežiu. Viena iš tų sąlygų yra didelis atskirtų viena nuo kitos aptarnaujamų patalpų skaičius. Antra sąlyga – patalpų su užterštu oru turi būti gerokai mažiau negu su šviežiu oru. Ir galiausiai trečia sąlyga nusako tai, kad turi būti mažas oro srautas. Visoms šioms sąlygoms sutapus vienu metu gaunasi tokia situacija, kai užterštas oras greitai išsisklaido lėtai ŠVOK įrenginio pusėn judančiame oro sraute. Tuomet, kai šis oro srautas pasiekia ŠVOK įrenginį, jis jau atitinka nustatyta oro užterštumo ribą ir įrenginys užfiksuoja, kad viskas atitinka užduotas pradines sąlygas.

Panaudojus CAV su reguliuojama oro recirkuliacijos valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą valdymo algoritmą tokia problema išsprendžiama, nes ŠVOK įrenginio tiekiamo oro ventiliatorius sukasi pastoviu greičiu. Tai užtikrina pastovų oro maišymą patalpose ir laiku pastebimą padidėjusį oro užterštumą.

CAV su reguliuojama oro recirkuliacijos valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmas didžiąja dalimi sudarytas iš VAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmo, iš pastarojo pašalinus tiekiamo oro ventiliatoriaus automatinį valdymą aprašančius blokus. Šis nedidelis pakeitimas iš esmės nulemia naujo, prieš tai nė viename įrenginyje nenaudoto valdymo algoritmo atsiradimą.

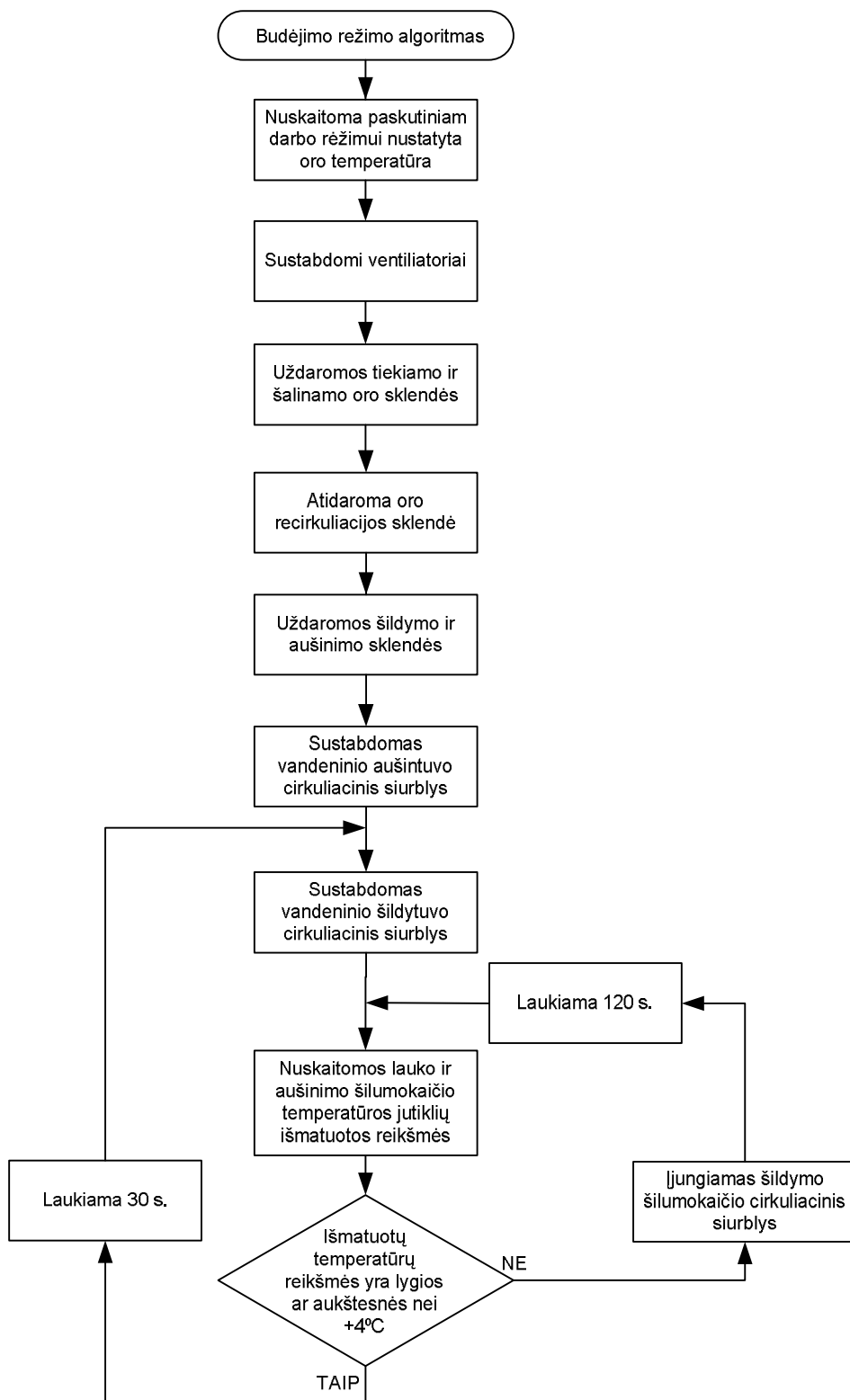
Priešpaskutinis valdymo algoritmas – laiko režimo algoritmas (3.8 pav.). Šio valdymo algoritmo paskirtis yra operatoriaus nustatytu laiku perjungti ŠVOK įrenginio veikimo algoritmą.

Kadangi didžiąja dalimi jis sudarytas iš pagrindinio algoritmo, laiko režimo algoritmas atkartoja beveik visus jo blokus. Vienas didžiausių laiko režimo algoritmų skirtumų įvestas laikmatis, kuris įjungus laiko režimo algoritmą pastoviai skaičiuoja laiką ir jį lygina su suprogramuotais kitų valdymo algoritmų paleidimo laikais.



3.8 pav. Laiko programos algoritmas.

Paskutinis, bet ne mažiau svarbus algoritmas – budėjimo režimo algoritmas (3.9 pav.). Jis naudojamas tada, kai patalpų nereikia nei vėdinti, nei šildyti, nei aušinti. Šiuo atveju sukūrus naują budėjimo algoritmą atsiranda galimybė dar daugiau sumažinti šilumos ir elektros energijos sąnaudas.



3.9 pav. Budėjimo režimo algoritmas.

Šiuo atveju siekiant sumažinti elektros energijos sąnaudas yra sustabdomi vandeninio šildytuvo ir aušintuvo siurbliai. Tokiu būdu, ŠVOK įrenginiui 12 valandų atidibus budėjimo režime, priklausomai nuo siurblių galingumo galima sutaupyti iki 18 kWh elektros energijos.

Siekiant sumažinti šilumos energijos nuostolius vandeniniame šildytuve ir aušintuve, veikiant budėjimo režimo algoritmui užsidaro šildymo ir aušinimo sklendės.

Lauko oro ir/arba vandeninio aušintuvo temperatūrai nukritus žemiau $+4^{\circ}\text{C}$ įsijungia vandeninio šildytuvo cirkuliacinis siurblys. Tai daroma tam, kad priešūžšaliminio valdymo algoritmas dėl padidėjusios vandeninio šildytuvo užšalimo galimybės galėtų pastoviai stebėti šildytuvu cirkuliuojančio termofikacinio vandens temperatūrą. Dėl tos priežasties, kad vandeninio aušintuvo sistema užpildyta užšalimui iki -32°C atspariu etilenglikolio ir vandens mišiniu, priešūžšaliminis valdymo algoritmas nekontroliuoja jo temperatūrų pokytį.

Dar vienas šilumos ir elektros energijos sąnaudų mažinimo būdas yra vandeninio šildytuvo sistemos užpildymas užšalimui atspariu etilenglikolio ir vandens mišiniu. Toks šilumnešio pakeitimas leistų visiškai atsisakyti priešūžšaliminio valdymo algoritmo, kas savo ruožtu ženkliai sumažintų budėjimo režimo energetines sąnaudas šaltuoju metų laiku.

4. EKSPERIMENTINIAI BANDYMAI

Šioje darbo dalyje siekiama patikrinti naujojo ŠVOK įrenginio energetinį efektyvumą bei palyginti jo šilumos ir elektros energijos sąnaudų skirtumą su anksčiau, antroje magistrinio darbo dalyje, aprašytų ŠVOK įrenginių sąnaudomis. Iš viso buvo atlikti septyni VERSO-P, VERSO-R ir naujo ŠVOK įrenginio bandymai, kurių metu paaiškėjo konstrukcijų ir valdymo algoritmo naujovių privalumai bei trūkumai.

Visiems eksperimentiniams bandymams buvo sumodeliuotos panašios patalpos ir lauko oro sąlygos, aptarnaujamų patalpų bendras plotas ir tiekiamo oro srautas. Visiems septyniems bandymams buvo parinktos šios sąlygos:

- Nustatyta patalpos temperatūra – 20°C ;
- pradinė patalpos temperatūra apie 16°C ;
- lauko temperatūra bandymų metu $11-20^{\circ}\text{C}$;
- kiekvieno bandymo trukmė – 8 valandos;
- aptarnaujamų patalpų bendras plotas $1500-1700\text{ m}^2$;
- valdymo algoritmams su pastoviu oro srautu tiekiamo ir ištraukiamo oro kiekis – $7000\text{ m}^3/\text{h} \pm 5\%$;
- į vandeninį šildytuvą tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra – 63°C ;

- ŠVOK įrenginių aptarnaujamose patalpose bandymų metu žmonių nebuvo;
- oro recirkuliacijos sklendė bandant CAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmą buvo pradaryta 20%;
- nustatyta ribinė oro užterštumo koncentracija – 500 ppm;
- patalpų durys ir langai eksperimentinių bandymų metu buvo sandariai uždaryti.

Pirmojo bandymo metu visi trys ŠVOK įrenginiai 8 valandoms buvo palikti veikti pagal CAV valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą, algoritmą. Norint tiksliai išmatuoti eksperimentinio bandymo metu sunaudotos šilumos ir elektros kiekį, prieš ir po bandymų buvo nuskaityti ŠVOK įrenginių metrologiniai prietaisai (4.1 lentelė).

4.1 lentelė. Energetinės sąnaudos ŠVOK įrenginiams 8 valandas dirbant pagal CAV valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą, algoritmą.

	Elektros energijos sąnaudos, kWh	Šilumos energijos sąnaudos, kWh
VERSO-P	56,8	94,1
VERSO-R	58,3	89,4
Naujas ŠVOK įrenginys	58,3	87,6

Iš gautų bandymų rezultatų galima spręsti, jog ŠVOK įrenginiams dirbant pagal CAV valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą, algoritmą, energetinės sąnaudos beveik nesiskiria. Tai lemia panaši visų trijų ŠVOK įrenginių valdymo algoritmo struktūra. Vienintelis skirtumas – tai šilumos energijos sąnaudos. Tokį skirtumą lemia mažesnis plokštulinio oro rekuperatoriaus šilumokaičio naudingumo koeficientas.

Sekančio bandymo metu buvo išbandyti tie patys trys įrenginiai, kurie 8 valandoms jau buvo palikti dirbti pagal VAV valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmą. Šiuo atveju šilumos ir elektros energijos sąnaudų skirtumas jau buvo šiek tiek didesnis (4.2 lentelė).

4.2 lentelė. Energetinės sąnaudos ŠVOK įrenginiams 8 valandas dirbant pagal VAV valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą, algoritmą.

	Elektros energijos sąnaudos, kWh	Šilumos energijos sąnaudos, kWh
VERSO-P	31,0	48,2
VERSO-R	32,5	45,9
Naujas ŠVOK įrenginys	29,9	43,0

Šiuo atveju pradeda ryškėti naujo ŠVOK įrenginio valdymo algoritmo privalumai. Paskaičius procentinę šio skirtumo išraišką gaunama, kad naujo įrenginio šilumos ir elektros energijos sąnaudos yra atitinkamai 6,5% ir 8% mažesnės negu VERSO-R, ir net 11% ir 4,5% mažesnės negu VERSO-P.

Trečiojo eksperimentinio bandymo metu buvo bandoma nustatyti energetinių sąnaudų pokytį panaudojus CAV su reguliuojama oro recirkuliacijos sklende, valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą, valdymo algoritmą. Kadangi šis valdymo algoritmas yra tik viename iš tiriamų ŠVOK įrenginių, bandymo rezultatus nėra galimybės palyginti tarpusavyje.

4.3 lentelė. Energetinės sąnaudos ŠVOK įrenginiams 8 valandas dirbant pagal CAV, su reguliuojama oro recirkuliacijos sklende valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą, valdymo algoritmą.

	Elektros energijos sąnaudos, kWh	Šilumos energijos sąnaudos, kWh
Naujas ŠVOK įrenginys	60,7	46,1

Nors eksperimento metu esančiomis sąlygomis išmatuoti rezultatai (4.3 lentelė) ir atspindi tai, kad šis valdymo algoritmas šilumos ir elektros energijos sąnaudomis nusileidžia VAV valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą algoritmui, tačiau padidėjus žmonių srautui šis skirtumas mažėtų ar net persiverstų į kitą pusę. Nepaisant didesnių energetinių sąnaudų CAV, su reguliuojama oro recirkuliacijos sklende valdymo pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą, valdymo algoritmas kur kas geriau susitvarko su jam pavesta oro kokybės ir temperatūros palaikymo užduotimi tuomet, kai ŠVOK įrenginys aptarnauja nedidelio ploto, tačiau didelį kiekį fiziškai atskirtų patalpų.

Paskutinio eksperimento metu 8 valandas ŠVOK įrenginiai dirbo pagal budėjimo režimo algoritmą (4.4 lentelė). Gauti duomenys parodė, kad įrenginiams dirbant pagal šį valdymo režimą, naujas ŠVOK įrenginys sunaudoja 88 % mažiau elektros energijos ir 98,5% šilumos energijos. Toks didžiulis energetinių sąnaudų skirtumas parodo, kad sukurtas budėjimo režimo algoritmas šiltuoju metų laiku yra žymiai pranašesnis negu VERSO-P ir VERSO-R budėjimo režimo algoritmai.

4.3 lentelė. Energetinės sąnaudos ŠVOK įrenginiams 8 valandas dirbant pagal budėjimo režimo algoritmą.

	Elektros energijos sąnaudos, kWh	Šilumos energijos sąnaudos, kWh
VERSO-P	4,2	7,6
VERSO-R	4,2	7,0
Naujas ŠVOK įrenginys	0,5	0,1

Šaltuoju metų laiku, kai temperatūra nusileidžia žemiau $+4^{\circ}\text{C}$, šis milžiniškas energetinių sąnaudų skirtumas pradeda po truputį tirpti, t.y. naujo ŠVOK įrenginio budėjimo režimo algoritmas įjungia vandeninio šildytuvo cirkuliacijos siurbli, o priešužšaliminis valdymo algoritmas atidaro termofikacinio vandens tiekimo sklendę.

IŠVADOS

Apžvelgus penkių moksliniuose straipsniuose aprašytų ir keturių realiai eksploatuojamų ŠVOK įrenginių konstrukcinius ypatumus bei valdymo algoritmų skirtumus buvo išnagrinėti jų privalumai ir trūkumai. Moksliniuose straipsniuose apžvelgti tiek valdymo algoritmai, tiek įrenginių struktūra nėra energetiškai efektyvūs. Šių aprašomų ŠVOK įrenginių struktūroje nėra numatytų oro rekuperacijos šilumokaičio ir/arba oro recirkuliacijos sklendžių bloko. Dėl tokios konstrukcijos šie ŠVOK įrenginiai iš šalinamo oro nesugeba gražinti dalies šilumos energijos. Kita moksliniuose straipsniuose aprašytų įrenginių mažo energetinio efektyvumo priežastis – netobuli valdymo algoritmai. Sekantys keturi KOMPACT RECU, KOMPACT REGO, VERSO-P ir VERSO-R apžvelgti ŠVOK įrenginiai turi kur kas geresnę už prieš tai aprašytų ŠVOK įrenginių struktūrą ir valdymo algoritmus. Šiuose įrenginiuose jau yra panaudojami oro rekuperacijos šilumokaičiai ir oro recirkuliacijos sklendės. Pakankamai gerai sudaryti šių ŠVOK įrenginių valdymo algoritmai. Dėl šios priežasties VERSO-P ir VERSO-R įrenginiams dirbant pagal CAV valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūros, algoritmą leidžia sugražinti iki 100% šilumos energijos. Vienas didžiausių KOMPACT RECU, KOMPACT REGO, VERSO-P ŠVOK įrenginių valdymo algoritmų trūkumų – per didelės elektros energijos sąnaudos. Šiam tikslui buvo perkonstruotas VERSO-R įrenginys su patobulintais ar visiškai naujai sukurtais valdymo algoritmais. Atlikus VERSO-P, VERSO-R ir naujojo ŠVOK įrenginio eksperimentinius bandymus paaiškėjo, kad naujasis ŠVOK įrenginys pasižymi ne tik mažiausiomis energetinėmis sąnaudomis, bet ir pagerėjusiomis komfortiškumo charakteristikomis. Visa tai įvykdoma į valdymo algoritmus įterpus naują oro rekuperacijos ir vandeninio šildytuvo sklendės valdymo algoritmą. Nemažą indėlį į energetinių sąnaudų mažinimą bei komforto didinimą įnešė ir naujas CAV su reguliuojama oro recirkuliacijos valdymo, pagal tiekiamo/patalpos oro temperatūrą, algoritmas. Šio naujo valdymo algoritmo pagalba taip pat buvo išspręsta nepakankamos oro kokybės užtikrinimo pavienėse patalpose problema. Kitas naujajame ŠVOK įrenginyje atnaujintas algoritmas yra budėjimo režimo algoritmas. Šis algoritmas suteikia galimybę pereiti į naują energetinių sąnaudų taupymo lygį. Susumavus visas naujame ŠVOK įrenginyje įvestas naujoves, šis įrenginys tiek energetinių sąnaudų, tiek komforto užtikrinimo savybėmis lenkia visus šiame darbe apžvelgtus ŠVOK įrenginius.

LITERATŪRA

1. „A robust control strategy for combining DCV control with economizer control“, Energy Conversion and Management, 43 tomas, 18 leidimas, 2002 Gruodis [žiūrėta 2012-12-17]. Mokslinio žurnalo ištrauka:
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2086/science/article/pii/S0196890401001935>
2. „Dynamic simulation of energy management control functions for HVAC systems in buildings“, Energy Conversion and Management, 47 tomas, 7-8 leidimai, 2006 Gegužis [žiūrėta 2012-12-23]. Mokslinio žurnalo ištrauka:
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2086/science/article/pii/S0196890405001664>
3. „HVAC system optimization with CO₂ concentration control using genetic algorithms“, Energy and Buildings, 41 tomas, 5 leidimas, 2009 Gegužis [žiūrėta 2012-12-29]. Mokslinio žurnalo ištrauka:
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2086/science/article/pii/S0378778808002685>
4. „Dynamic model of an HVAC system for control analysis“, Energy, 30 tomas, 10 leidimas, 2006 Liepa [žiūrėta 2012-12-30]. Mokslinio žurnalo ištrauka:
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2086/science/article/pii/S0360544204004761>
5. „Optimization of HVAC Control System Strategy Using Two-Objective Genetic Algorithms“, International Journal of HVAC&R Research, 11 tomas, Nr. 3, 2005 Liepa [žiūrėta 2013-01-04]. Mokslinio žurnalo ištrauka:
http://www.etsmtl.ca/ets/media/imagesets/labo/livia/publications/2005/nassif_ashrae_2005a.pdf
6. UAB „YIT technika“ suteikta informacija.