



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

Eduardas Jermolajevs

**VĖDINIMO SISTEMŲ VALDYMO ĮTAKA PASTATO ENERGIJOS
POREIKIAMS**

**VENTILATION SYSTEM CONTROL INFLUENCE FOR BUILDING
ENERGY DEMAND**

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas **621E30003**

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Vytautas Martinaitis

(Vardas, pavardė)

(Data)

Eduardas Jermolajevs

**VĖDINIMO SISTEMŲ VALDYMO ĮTAKA PASTATO ENERGIJOS
POREIKIAMS**

**VENTILATION SYSTEM CONTROL INFLUENCE FOR BUILDING
ENERGY DEMAND**

Baigiamasis magistro darbas

Energijos inžinerijos ir planavimo studijų programa, valstybinis kodas **621E30003**

Energijos inžinerijos specializacija

Energetikos ir termoinžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc. Kęstutis Valančius

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas _____

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
PASTATŲ ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU

Energijos inžinerija studijų kryptis

Energijos inžinerija ir planavimas studijų programa, valstybinis kodas **621E30003**

Energijos inžinerijos specializacija

Katedros vedėjas

(parašas)

Vytautas Martinaitis

(vardas, pavardė)

2012 gegužės mėn. 07 d.

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Eduardui Jermolajevui.....
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: *Vėdinimo sistemų valdymo įtaka pastato energijos poreikiams*

Patvirtinta 2010 m. lapkričio 03 d.

Dekano įsakymu Nr. 396 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas

2012 m. gegužės mėn. 28 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Įvairių vėdinimo sistemų valdymo galimybės. Energijos poreikį kontroliuojančios vėdinimo sistemos DCV skaičiavimo metodika. Objekto aprašymas. Tiekiamo į patalpas oro kiekio įvertinimas pagal CO₂ koncentraciją. CAV sistemos sunaudotos elektros ir šilumos energijos palyginimas su galimu naudojant DCV sistemą matavimų periodo metu. Atsipirkimo laiko nustatymas. Telaire“ CO₂ DCV sistemos energijos analizės programos gautų rezultatų palyginimas su gautais eksperimento būdu.

Darbo rezultatus paskelbti mokslinėje konferencijoje.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: lekt. R. Žukienė
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas
(parašas)

..... dr. Kęstutis Valančius.....
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(parašas)

..... Eduardas Jermolajevs
(vardas, pavardė)

.....2012.05.04.....
(data)

Antrosios pakopos studijų Energijos inžinerijos ir planavimo programos baigiamasis darbas

Pavadinimas Vėdinimo sistemų valdymo įtaka pastato energijos poreikiams
Autorius Eduardas Jermolajevus
Vadovas dr. Kęstutis Valančius

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama realiame objekte sumontuotos vėdinimo sistemos valdymo galimybės esant pastoviojo oro tūrio vėdinimo sistemai ir kintamojo oro tūrio sistemai su CO₂ jutikliais. Tyrimo tikslas - nustatyti ir ištirti kokią įtaką pastato energijos poreikiams turi vėdinimo sistemų valdymas ir automatizavimas bei pateikti rezultatus ir išvadas. Konkrečių vėdinimo automatizavimo sistemų taikymo galimybės ir rezultatai po įdiegimo.

Pasirinktame administracinės paskirties objekto patalpoje atlikti CO₂ koncentracijos lygio matavimai bei pateikiami grafikai kaip kito koncentracija skirtingomis dienomis. Pagal gautus duomenis atlikti elektros ir šilumos energijos poreikių skaičiavimai bei palyginti gauti rezultatai. Ištirta CO₂ koncentracijos ir tiekiamo oro kiekio į patalpas priklausomybė nuo žmonių skaičiaus patalpoje. Detaliai išanalizuota energijos poreikį kontroliuojanti vėdinimo sistema su kintamu oro tiekimu į patalpas, kuri naudoja CO₂ jutiklius. Išnagrinėtos ir aprašytos abiejų tipų vėdinimo sistemos, pateikti jų pagrindiniai trūkumai, privalumai. Atlikus investicinį skaičiavimą, kurio metu nagrinėta pastoviojo oro srauto sistemos patobulinimas į energijos poreikį kontroliuojančią sistemą, gautas paprastas ir tikrasis atsipirkimo laikas. Naudojantis kompiuterine programa „The Ventulator“ gauti energijos poreikį kontroliuojančios sistemos energijos sutaupymai ir palyginti su gautais eksperimento metu, taip pat pateiktos viso darbo išvados.

Prasminiai žodžiai

Energija, vėdinimo sistema, CO₂ koncentracija, tiekiamas oras, valdymas, matavimai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Building Energetics

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

Master Degree Studies Energy Engineering and Planning study programme Master's Thesis

Title Ventilation System Control Influence for Building Energy Demand

Author Eduardas Jermolajevs

Academic supervisor dr. Kęstutis Valančius

Thesis language: Lithuanian

Annotation

This master study work analyzes the control opportunities of the constant air volume ventilation system and the demand controlled ventilation system with CO₂ sensors which are in the real object. The aim of this final work is to find out how the control and automatization of the ventilation system can change the building energy demands and give the final findings and results. Also the specific ventilation system use in the building and results after the installing the demand controlled ventilation system.

There was made a CO₂ concentration measurements in the office building room. Using the experiment data there was made a room energy demand calculation and the results comparison. Using the CO₂ concentration graphic and number of the people in the room during the time there was made a counting of the supply air flow dependence to number of people. This final master work also detailed analyses the demand controlled ventilation with the different supply air flow to the room using a CO₂ sensors. Compared the advantages and disadvantages of the constant air volume and demand controlled ventilation system. During the investment counting there was made the simple and real payback time calculations. Using the computer program „The Ventilator“ there was made an energy demand calculation and comparison between the experiment results also given the final work findings.

Keywords

Energy, ventilation system, CO₂ concentration, supply air, control, measurements.

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Eduardas Jermolajevs, 20065679

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

621E30003, ENmf-10

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2012 m. Gegužės 21 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema „Vėdinimo sistemų valdymo įtaka pastato energijos poreikiams“

patvirtintas 20 10 m. Lapkričio 3 d. dekanų potvarkiu Nr. 396ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Doc. K. Valančius

Mano darbo (projekto) vadovas Doc. K. Valančius

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

(Parašas)

EDUARDAS JERMOLAJEVAS

(Vardas ir pavardė)

Turinys

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	9
Priedų sąrašas	9
IVADAS	10
1. Įvairių vėdinimo sistemų valdymo galimybės.....	12
2. Tiekiamo-ištraukiamo oro vėdinimo sistemų valdymo galimybės	13
3. Energijos poreikį kontroliuojanti vėdinimo sistema.....	14
3.1 Pastoviojo oro kiekio sistema (angl. <i>constant Air volume arba CAV system</i>)	14
3.2 Kintamojo oro kiekio sistema (angl. <i>variable Air Volume arba VAV system</i>).....	15
3.3 Energijos poreikį kontroliuojanti vėdinimo sistema (angl. <i>Demand controled ventilation arba DCV system</i>)	16
3.4 Veikimo principo technologinis aprašymas bei schema	17
4. Energijos poreikį kontroliuojančios vėdinimo sistemos DCV skaičiavimo metodika.....	18
5. Reikalavimai oro kaitos nustatymui pagal CO ₂ koncentracijos matavimus.....	21
5.1 Patalpos aprašymas.....	22
6. CO ₂ koncentracijos bei temperatūros patalpoje matavimai.....	23
7. Tiekiamo į patalpas oro kiekio įvertinimas pagal CO ₂ koncentraciją	26
8. Oro kiekio DCV sistemoje skaičiavimas.....	35
8. CAV ir DCV vėdinimo sistemų energijos poreikių skaičiavimas.....	36
8.1 CAV sistemos sunaudotos elektros energijos palyginimas su galimu naudojant DCV sistemą matavimų periodo metu.	36
8.2 CAV sistemos sunaudotos šilumos energijos palyginimas su galimu naudojant DCV sistemą matavimų periodo metu.	38
8.3 Energijos ir išlaidų sutaupymas naudojant DCV sistemą	42
9. Oro kaitos kartotinumų nustatymas patalpoje	43
10. DCV sistemos įrengimo kaštų skaičiavimas	44
10.1 Atsipirkimo laiko skaičiavimas	46
10.1.1 Paprasto atsipirkimo laiko skaičiavimas	46
10.1.2 Tikrojo atsipirkimo laiko skaičiavimas	47
11. „Telaire“ CO ₂ DCV sistemos energijos analizės programa	48
11.1 „Telaire“ programos skaičiavimas	49
11.2 „Telaire“ CO ₂ DCV sistemos energijos analizės programos gautų rezultatų palyginimas	55
Išvados.....	56
Literatūros sąrašas	57

Paveikslų sąrašas

- 1 pav. UAB „Grinda“ administracinės paskirties pastatas
- 2 pav. CAV sistemos darbo režimai
- 3 pav. VAV sistemos darbo režimai
- 4 pav. DCV sistemos darbo režimai
- 5 pav. Oro kiekio m^3/s kitimas atsižvelgiant į ventiliatoriaus sunaudojamą elektros kiekį
- 6 pav. CO_2 koncentracijos jutiklis
- 6.1 pav. DCV sistemos veikimo schema
- 7 pav. CO_2 koncentracijos priklausomybė nuo fizinio aktyvumo lygio
- 8 pav. CO_2 koncentracijos skirtumo patalpoje/lauke priklausomybė nuo tiekiamo oro kiekio/žmogui
- 9 pav. Buhalterijos patalpa su vėdinimo sistema
- 10 pav. CO_2 koncentracijos matuoklio techninės charakteristikos
- 11 pav. „HOBO U12“ techninės charakteristikos
- 12 pav. CO_2 koncentracijos matuoklis nagrinėjamoje patalpoje
- 13 pav. Savaitės CO_2 koncentracijos kitimo grafikas
- 14 pav. CO_2 koncentracijos įvertinimas, pirmadienis
- 15 pav. CO_2 koncentracijos įvertinimas, antradienis
- 16 pav. CO_2 koncentracijos įvertinimas, trečiadienis
- 17 pav. CO_2 koncentracijos įvertinimas, ketvirtadienis
- 18 pav. CO_2 koncentracijos įvertinimas, penktadienis
- 19 pav. Žmonių kitimo grafikas nagrinėjamu laikotarpiu
- 20 pav. Tiekiamo oro kiekio kitimo priklausomybė nuo žmonių skaičiaus
- 21 pav. Šilumos poreikis „DCV“ sistemoje ir pastoviojo oro tūrio „CAV“ sistemoje
- 22 pav. Elektros suvartojimo skirtingose sistemose palyginimas
- 23 pav. CO_2 koncentracijos kitimas laike patalpoje
- 24 pav. Paprasto atsipirkimo laiko skaičiavimas
- 25 pav. Tikrasis atsipirkimo laikas
- 26 pav. Telaire „The Ventilator“ CO₂ analizės programa
- 27 pav. Projekto aprašymas (angl. *project overview*)
- 28 pav. Energijos/klimato duomenys (angl. *energy/climate data*)
- 29 pav. Patalpos užimtumo grafiko nustatymas (angl. *occupancy pattern*)
- 30 pav. Vėdinimo sistemos darbo laiko nustatymas (angl. *Timer-based Ventilation schedule*)
- 31 pav. Vėdinimo informacija (angl. *ventilation information*) darbo langas
- 32 pav. Rezultatų apžiūros (angl. *results for viewing*) darbo langas

33 pav. Energijos sutaupymų grafikas (ištrauka iš „Ventulator“ programos)

Lentelių sąrašas

- 1 lentelė. Žmonių kiekio kitimas patalpoje
2. lentelė. Atitinkamo oro kiekio trukmė
- 3 lentelė. Vėdinimo savitieji šilumos nuostoliai esant CAV sistemai.
- 4 lentelė. Vėdinimo savitieji šilumos nuostoliai esant VAV sistemai.
- 5 lentelė. Vėdinimo šilumos poreikis esant CAV sistemai šildymo periodo metu.
- 6 lentelė. Vėdinimo šilumos poreikis esant DCV sistemai šildymo periodo metu.
- 7 lentelė. Elektros ir šilumos energijos kiekių palyginimas
- 8 lentelė. Pagrindiniai DCV sistemos elementai
- 9 lentelė. DCV sistemos įrengimo kainos
- 10 lentelė. Paprastas atsipirkimo laikas
- 11 lentelė. Tikrasis atsipirkimo laikas
- 12 lentelė. Eksperimento gautų rezultatų palyginimas su gautais skaičiuojant programa

Priedų sąrašas

- | | |
|--|---------|
| 1. „HOB0 U12“ duomenų kaupiklio techninis aprašymas ir prijungimo variantai | 3 lapai |
| 2. „Telaire CO ₂ sensor“ prietaiso charakteristikos bei naudojimo instrukcija | 3 lapai |
| 3. TESTO“ 435-4 daugiafunkcinio prietaiso kalibravimo liudijimas Nr. 75/11-A | 1 lapas |

IVADAS

Šiais laikais pasaulyje energija yra viena iš svarbiausių pilnavertiško gyvenimo komforto dalių. Kiekvienas žmogus daugiau ar mažiau turi mokėti už tam tikrą energijos rūšį, kad galėtų gyventi saugiai ir laimingai. Pastatų vidaus mikroklimatas yra vienas iš svarbiausių žmogaus komfortinio gyvenimo sudedamųjų dalių. Norint jį užtikrinti pastatuose yra įdiegiamos įvairios inžinerinės sistemos: šildymo, vėdinimo, oro kondicionavimo bei kitos. Savaime aišku, už kiekvienos sistemos veikimo darbą reikia mokėti pinigų. Todėl ne paslaptis, kad žmogus visada nori gyventi ir komfortiškai, ir taupiai. Kartais šios dvi sąvokos prieštarauja viena kitai, tačiau kada sistemos dirba pačiu efektyviausiu režimu, tada žodžiai „komfortas“ ir „mažos išlaidos“ gali tapti realybe. Viena iš svarbiausių pastato inžinerinių sistemų, kuri lemia oro kokybę patalpose, yra vėdinimo sistema.

Norint, kad pastatuose būtų užtikrinamos komfortinės sąlygos visą laiką, reikia, kad sistema būtų „lanksti“, tai yra greitai reaguotų į besikeičiančias aplinkos sąlygas. Tam tikslui ir yra diegiamos automatinės valdymo sistemos. Didžiausia vėdinimo sistemų eksploatacijos sąnaudų dalis tenka tiekiamam orui pašildyti, kita dalis yra skirta ventiliatorių veikimui reikalinga elektros energija. Ekonomiškai eksploatuojant šildymo ir vėdinimo sistemas, norminė patalpų oro temperatūra palaikoma tik žmogaus aktyvios veiklos metu. Gyvenamuosiuose namuose naktį, o visuomeniniuose ir pramoniniuose pastatuose ne darbo metu temperatūra yra mažinama. Tokiu būdu galima sumažinti galutinius pastato energijos poreikius vėdinimo sistemų eksploatacijos metu.

Darbo aktualumas – pastatų vėdinimo sistemų automatizavimas bei valdymas yra labai svarbi pastato energijos poreikių sudedamoji dalis. Didėjant ir tobulėjant vėdinimo sistemoms jų valdymas tampa vis svarbesnis ir aktualesnis. Kad ir kokia nauja ir moderni būtų vėdinimo sistema, be tikslios ir protingos automatikos įrangos, ji gali blogai veikti, dirbti ne visu pajėgumu, neužtikrinti komfortinių sąlygų pastato vidaus patalpose, o apibendrinant galima pasakyti, kad ji dirbtų neefektyviai.

Problema – ar šiuolaikinės vėdinimo automatikos valdymo sistemos gali padėti sumažinti pastato energijos poreikius ir padėti sutaupyti išlaidas, patalpose užtikrinant komfortines sąlygas?

Energiškai efektyvių vėdinimo sistemų valdymo koncepcija siekiama skatinti energijos taupymą vėdinimo įrenginiuose. Norint tai padaryti, reikia naudoti reguliuojamą vėdinimo sistemą, kuri leidžia vartotojui kontroliuoti vėdinimo įrenginių našumą, atsižvelgiant į vartotojų poreikius, taip pat atkreipiant dėmesį į pastato naudojimą arba vidaus mikroklimato sąlygas patalpose. Norint tai pasiekti, reikia naudoti mažai energijos naudojančius ventiliatorius ir jo valdymo kitimą nustatančius protingus elementus – jutiklius.

Šio darbo tikslas – nustatyti ir ištirti kokią įtaką pastato energijos poreikiams turi vėdinimo sistemų valdymas ir automatizavimas, konkrečių vėdinimo automatizavimo sistemų taikymo galimybes ir rezultatus po įdiegimo.

Dažnai patalpoje esančių žmonių kiekis būna kitoks, negu yra numatyta projekcinėse sąlygose. Tokiu atveju vėdinimo sistema nejaučia ir nereaguoja į pasikeitusias sąlygas patalpoje ir tiekia į ją projektinį oro kiekį. Taip patalpa tampa per daug ventiliuojama ir neužtikrinamos komfortinės sąlygos bei sunaudojamas didesnis elektros bei šilumos energijos kiekis.

Tyrimo objektas – yra UAB „Grinda“ administracinės paskirties pastato, esančio Vilniuje adresu Eigulių g. 7, vėdinimo sistema, įrengta antro aukšto buhalterijos patalpoje.



1 pav. UAB „Grinda“ administracinės paskirties pastatas

Pastate suprojektuota mechaninio vėdinimo sistema, kuri tiekia į patalpas orą ant pastato stogo sumontuotu vėdinimo agregatu. Vėdinimo įrenginys turi rotacinį šilumokaitį, kuriuo gali susigrąžinti dalį šilumos. Agregate sumontuota papildoma vėsinimo sekcija, galinti atvėsinti tiekiamą į patalpas orą iki nustatytos temperatūros. Vėsinimo sistema freoninė, naudojanti R-410A šaltnešį. Ji įsijungia lauke temperatūrai pakilus aukščiau kaip 24°C. Mechaninio vėdinimo sistema pastoviai tiekia lauko orą į pastato vidaus patalpas per sumontuotus difuzorius. Ši vėdinimo sistema gali būti valdoma pagal laiko grafiką. Taip pat sistema gali būti nustatyta tiekti minimalų arba maksimalų oro kiekį į patalpas skirtingu metu, priklausomai nuo nustatytų laiko grafiko parametrų.

1. Įvairių vėdinimo sistemų valdymo galimybės

Vietinės (angl. spot) tipo vėdinimo sistemos

Visi pastatai, kuriuose tam tikrose patalpose išsiskiria teršalai, privalo turėti vėdinimo sistemas. Jeigu teršalai išsiskiria tam tikroje zonoje, reikia stengtis juos pašalinti naudojantis vietinio ištraukimo vėdinimo sistema. Teršalai, tokie kaip formaldehidas, radonas, kaupdamiesi patalpose gali sukelti sveikatos sutrikimų. Nepakankama ventiliacija nepašalina nemalonių bei kenksmingų kvapų iš patalpų, todėl sudaromos palankios sąlygos augti pelėsiams bei susidaryti ligų židiniams. Toliau panagrinėkime galimas vietinio ištraukimo sistemų valdymo galimybes.

KONTROLĖ

On/Of-jungikliai (angl. *On/Of switchers*) – skirti tiesiog atidaryti arba uždaryti ventiliatoriaus elektrinę grandinę. Rankiniai įjungimo-išjungimo jungikliai leidžia vartotojams įjungti ventiliatorių, kai jie galvoja, kad ventiliacija yra reikalinga. Tam tikrais atvejais ventiliatorių įjungimą gali sąlygoti kitų elektrinių prietaisų įjungimas. Pavyzdžiui, įeinant į vonią įjungiama šviesa ir automatiškai įsijungia ventiliatorius. Analogiškai išjungiant šviesą ventiliatorius išsijungia. Tokiu būdu ventiliatorius dirbtų tik tuo metu, kada naudojamosi atitinkama patalpa. Aišku, toks variantas turi ir trūkumų, nes dienos metu šviesa gali būti ir neįjungiama, tada neveiktų ir ventiliatorius.

Rankiniai laikmačiai (angl. *timer*) – yra jungikliai, kuriuos aktyvuoja vartotojai, nustatydami, kad ventiliatorius veiktų 20 ar daugiau minučių iki automatinio išsijungimo. Laikmačiai yra naudingi sanitarinėse patalpose, tokiose kaip vonios, kad po vonios naudojimosi ventiliatorius dirbtų dar nustatytą laiką iki išsijungimo.

Drėgmės davikliai (angl. *humidistat arba dehumidistat*) – vėdinimo kontrolė naudojant drėgmės daviklius. Drėgmės davikliai suteikia puikų vėdinimo sistemos ventiliatoriaus valdymą, nes jis veikia tik tada, kada patalpoje drėgmės kiekis viršija norminį. Kada drėgmės kiekis nukrenta, ventiliatorius išsijungia.

Judesio davikliai (angl. *motion sensors*) – davikliai, kurie reaguoja į patalpoje esantį judesį. Tačiau ne visada tai yra geras sprendimas, nes jei judesio patalpoje nebus, ventiliatorius neveiks.

Laiko valdikliai (angl. *time sensors*) – laiko valdikliai yra sudėtingi įrenginiai, skirti kontroliuoti laiką, kada yra reikalinga mechaninė ventiliacija. Valdikliai gali ventiliaciją kontroliuoti pagal nustatytą laiko intervalą kelis kartus per dieną tam, kad būtų pasiektas geresnis bendros ventiliacijos kiekis.

Greičio didinimo valdikliai (angl. *boost controllers*) – valdikliai leidžia ventiliatorius veikti mažu greičiu, kuris reikalingas norminiam oro kiekiui užtikrinti. Tačiau greitis gali būti laikinai padidintas iki didesnio, kada patalpoje atsiranda nenumatyti papildomų teršalų išsiskyrimai ar tiesiog patalpoje esantiems žmonėms reikia daugiau šviežio oro.

Vietinio vėdinimo sistemos veikimo metu jos gali sukelti triukšmą, kuris gali išgąsdinti vartotojus nuo tokių sistemų įrengimo. Yra keletas sprendimo būdų šiai problemai sumažinti. Ventilatorius galima montuoti ortakiuose toliau nuo patalpų, tarkim pastogėje ar kitoje techninėje patalpoje kertančiuose ortakiuose. Taip pat ventilatorius galima montuoti ant pastato stogo. Triukšmo slopintuvai taip pat gali išspręsti šią problemą.

2. Tiekiamo-ištraukiamo oro vėdinimo sistemų valdymo galimybės

Vėdinimo ekspertai paprastai rekomenduoja, kad visa vėdinimo sistema būtų suprojektuota veikti automatiškai t.y. tiekti šviežią orą pagal žmonių kiekį patalpoje. Rankinio įjungimo ir išjungimo kontrolė taip pat gali būti reguliuojama pagal tam tikrus parametrus. Toliau aptarsime tiekiamo-ištraukiamo vėdinimo sistemų valdymo galimybes.

Nuolatinis kontroliavimas (angl. *continuous control*) – kai kurie specialistai pataria nuolatinį vėdinimo kontroliavimą norint užkirsti kelią užterštam orui patekti į patalpas arba šalinti nuolat išsiskiriančius teršalus iš patalpos. Jei teršalai patalpose nuolat išsiskiria dėl technologinių procesų ar kitų teršalų šaltinių, tokiu atveju nuolatinis vėdinimas yra efektyviausias.

Programuojamas laikmatis (angl. *timer*) – kad nereikėtų pastato vėdinimo sistemos kontroliuoti visą laiką, naudojant programuojamą laikmatį galima nustatyti tam tikrą norimų vėdinimo sistemų darbo režimą. Naudojant darbo režimo laikmatį vėdinimo sistema turi turėti didesnę galią, lyginant su nuolat veikiančia vėdinimo sistema.

Kontrolė pagal žmonių kiekį patalpoje (angl. *occupancy control*) – pastato vėdinimo sistema gali būti kontroliuojama pagal žmonių kiekį, esantį patalpoje. Tokiu būdu šviežias oras tiekiamas tik tada, kada patalpoje yra žmonių. Jeigu patalpoje esančių žmonių fizinė veikla yra pagrindinė priežastis patalpų oro taršai didinti, tai žmonių kiekio pagrįsta ventiliacijos kontrolė gali būti labiausiai efektyvi. Nustatyti žmonių skaičių yra sudėtinga. Judesio davikliai yra efektyvūs iki tada, kada žmogus pradeda sėdėti arba gulėti. Norint užtikrinti šviežio oro tiekimą naudojant judesio daviklius reikia juos išdėstyti kiekvienoje patalpoje tam, kad jie dirbtų efektyviai. Anglies dioksido CO₂ jutikliai yra efektyvūs, bet brangesnė investicija. Tai pat naudojant CO₂ jutiklį gyvenamosiose patalpose nustatyti reikiamą tiekiamo oro kiekį būtų netikslu, nes žmogui miegant jis išskiria mažesnę CO₂ kiekį. Taigi tam tikrais atvejais sunku yra nustatyti pastato dalį, kurioje žmogus miega ir kurioje atlieka didesnę fizinę krūvį.

Dviejų greičių ventiliatoriaus valdymas (angl. *low-high switch control*) – dviejų greičių ventiliatorius įrengtas viso namo vėdinimo sistemoje, gali būti kontroliuojamas vartotojų vienu ar keliais jungikliais. Tai leidžia esant didesniai tiekiamo oro poreikiui padidinti ventiliatoriaus apsuką ir atitinkamai sumažinti esant mažesniai oro poreikiui ir taip sumažinti energijos

sąnaudas. Tai vienas iš labiausiai paplitusių vėdinimo sistemų valdymo būdų gyvenamuosiuose ir kituose nedideliuose pastatuose, kuriuose žmonės dažniausiai gyvena.

Tam tikrų zonų vėdinimo jungiklis (angl. *zone switch controller*) – jis yra naudojamas, kada viename pastate veikia kelios vėdinimo sistemos, tokiu atveju atitinkamas jungiklis žymi jam priskirtos vėdinimo sistemos įjungimą. Pavyzdžiui, gali būti pasakyta, kad šis jungiklis valdo ištraukimo sistemą OŠ2 arba šis jungiklis įjungia arba išjungia auditorijos vėdinimo sistemą. Šie jungikliai yra valdomi pagal žmonių poreikį rankiniu būdu. Toks valdymo būdas paplitęs viešojo naudojimo pastatuose, mokyklose, tai yra tada kada vėdinimas reikalingas tik kai patalpoje yra žmonių.

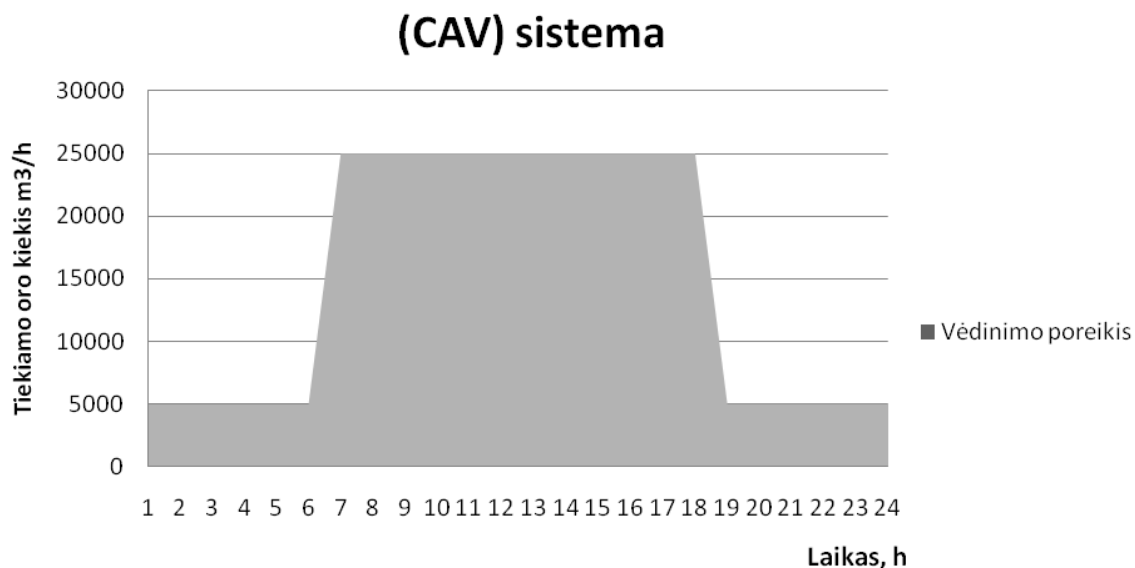
3. Energijos poreikį kontroliuojanti vėdinimo sistema

Energijos poreikį kontroliuojanti vėdinimo sistema (angl. *demand controlled ventilation arba DCV*) – tai yra naujos kartos vėdinimo sistema, kuri gali būti taikoma visuomeniniuose ir gyvenamuosiuose pastatuose, norint sumažinti pastato vėdinimo sistemų energijos poreikius. DCV sistema dažniausiai naudojami didelėse susirinkimų vietose, pavyzdžiui, gimnazijos, auditorijose, paskaitų salės, konferencijų salių, bažnyčių, ir teatrų, pastatuose, kuriuose būna daug žmonių ir į patalpas tiekama daug lauko oro. DCV yra ventiliacijos kontrolės strategija, kuri kontroliuoja kokio oro kiekio reikia patalpoje būnantiems žmonėms. Aktyvus vėdinimo sistemų valdymas gali suteikti galimybę kontroliuoti patalpų oro kokybę, kuri gali padėti sumažinti energijos poreikius.

Norint detaliau atskleisti DCV kontrolės įtaką, toliau bus apžvelgti alternatyvių vėdinimo sistemų valdymo bei naudojimo tipai:

3.1 Pastoviojo oro kiekio sistema (angl. *constant Air volume arba CAV system*)

pastoviojo oro kiekio sistemoje vėdinimo įrenginys yra kontroliuojamas dviem etapais – maksimaliu arba minimaliu režimu. Taip pat galimas visiškas įrenginio sustabdymas. Naudojant šią sistemą vėdinimo įrenginys kontroliuoja vieną zoną ir tuo pačiu visą ventiliacijos sistemą. Galimas vėdinimo įrenginio kontroliavimas pagal judesio daviklį ar kitą jutiklį. CAV sistemos darbo režimas parodytas 2 paveiksle. Pastovus oro srautas prasideda su oru iš centrinio šaltinio, kuris vėliau keliauja ortakiais. Ortakiai sujungti su tiekimo ir grąžinimo ventiliatoriais tiekia lauko orą visoms patalpoms, esančioms pastate. CAV sistema suprojektuota išlaikyti aukštą kontroliuojamo oro kokybę. Ši sistema ne visada yra veiksminga, bet yra santykinai pigi ir lengvai priežiūrima. Tokiu sistemu paplitimą lėmė paprastas ir nesudėtingas jų montavimas pastatuose. Gedimo atveju labai nesudėtinga nustatyti gedimo priežastį, nes sistemą sudaro pagrindiniai elementai tokie kaip varikliai, ventiliatoriai, dažnio keitikliai bei valdymo bei automatikos blokas, kuris dažniausiai jau būna surinktas gamykloje ir objekte tik sumontuojamas ir prijungiamos komunikacijos. Jeigu ši sistema sumontuota teisingai didelių problemų ją eksploatuojant netūrėtų kilti.

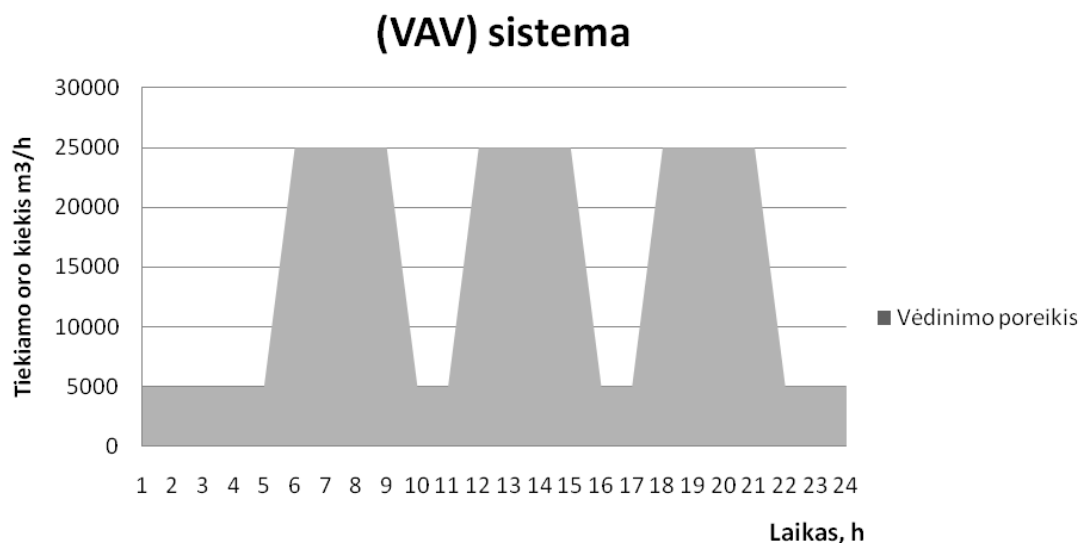


2 pav. CAV sistemos darbo režimai

Toks sistemos darbo režimas gali būti naudojamas administraciniuose pastatuose, kuriuose darbuotojai dirba nuo 8 iki 17 valandos per dieną. Po darbo ir naktį vėdinimo poreikis sumažėja, atitinkamai sumažinama ir vėdinimo sistemos apkrova. Tokioms sistemoms reikalinga didesnės galia.

3.2 Kintamojo oro kiekio sistema (angl. *variable Air Volume arba VAV system*)

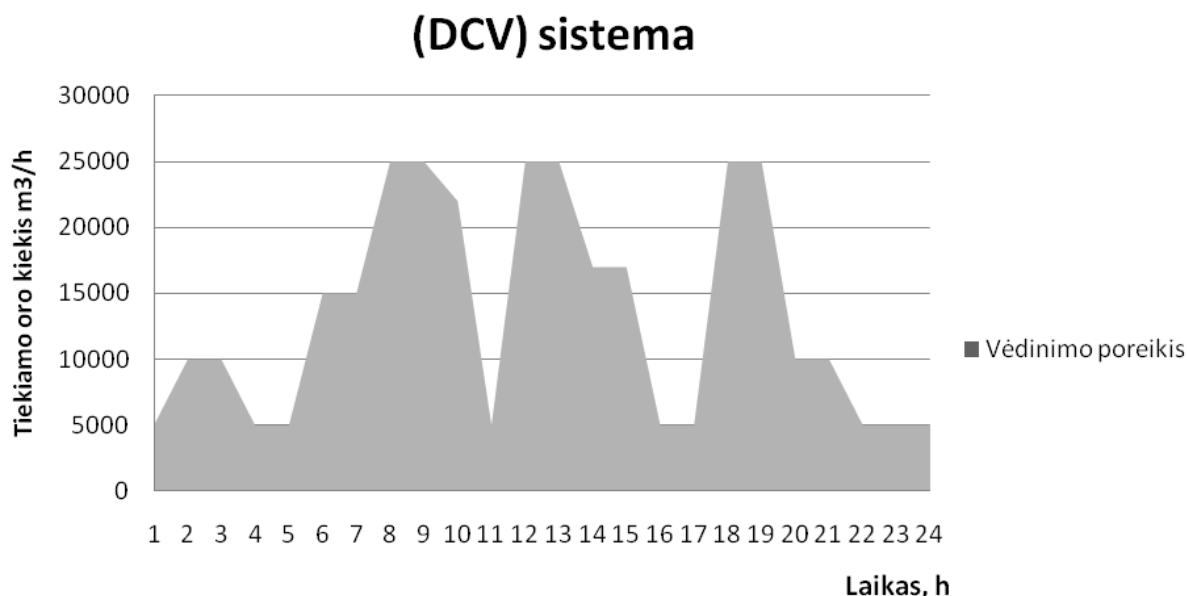
Vėdinimo įrenginys kontroliuojamas pagal skirtingų patalpų (arba zonų) reikiamą oro kiekį, kuris nustatomas dažniausiai pagal slėgį, esantį sistemoje. Vėdinimo įrenginys yra pilnai kontroliuojamas pagal reikiamos patalpos vėdinimo poreikį m^3/h . Vėdinimo įrenginio darbo režimas, naudojant VAV sistemą, parodytas 3 paveiksle.



3 pav. VAV sistemos darbo režimai

3.3 Energijos poreikį kontroliuojanti vėdinimo sistema (angl. *Demand controled ventilation arba DCV system*)

Vėdinimo įrenginys kontroliuoja daug patalpų (arba zonų), kurių kiekviena yra valdoma priklausomai nuo pvz., temperatūros jutiklių ar CO₂ jutiklių. Tokiu būdu vėdinimo sistema yra visiškai kontroliuojama pagal pastate esančių žmonių skaičių, bei nuo jų darbinės veiklos priklausančios CO₂ koncentracijos.



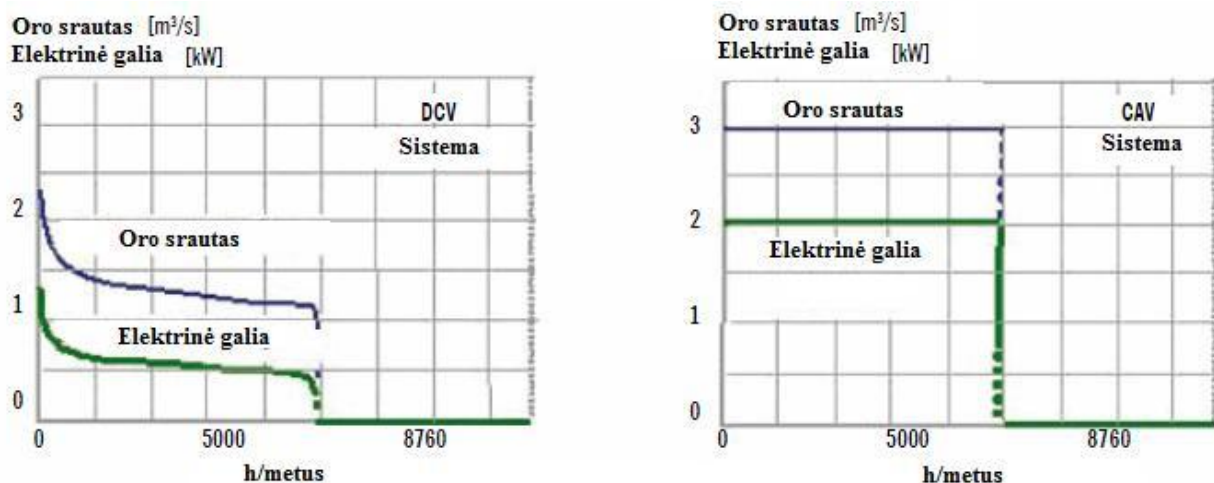
4 pav. DCV sistemos darbo režimai

DCV leidžia vartotojui kontroliuoti vėdinimo įrenginių našumą, atsižvelgiant į vartotojų poreikius, taip pat atkreipiant dėmesį į pastato naudojimą arba vidaus mikroklimato sąlygas patalpose. Norint tai pasiekti, reikia naudoti mažai energijos naudojančius ventiliatorius ir jo valdymo kitimą nustatančius protingus elementus – jutiklius:

- Valdymo elementai, greičio reguliatoriai, dažnio keitikliai;
- Buvimo detektoriai;
- CO₂, temperatūros ir drėgmės jutikliai;
- Slėgio jutikliai;
- Motorizuotas žaliuzės;
- Srauto įvado vožtuvai.

Atsižvelgiant į užimtumo kiekį ir apkrovos svyravimus pastate, yra galimybė optimizuoti energijos poreikį, naudojant DCV sistemą. Nepaisant to, tiekiamo oro srauto kiekio matavimas yra labai svarbus, siekiant efektyvaus valdymo naudojant DCV sistemą. Toliau panagrinėkime pavyzdį: buvo išmatuotas tiekimo oro srautas ir oro tiekimo ventiliatorių elektros galia 2500 m²

administraciniam pastatui su DCV sistema. Laikotarpis – vieneri metai, valandiniai matavimai (kairėje diagramoje) palyginti su atitinkamo teorinio (nuoroda) CAV sistemos (dešinėje diagramoje). Iš viso tiekiamo oro kiekis pastatui – $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$.



5 pav. Oro kiekio m^3/s kitimas atsižvelgiant į ventiliatoriaus sunaudojamą elektros kiekį [20]

Matome, kad tiekiamo oro kiekis laikui bėgant yra tiesiogiai proporcingas ventiliatoriaus naudojamai elektrinei galiai. Kuo ventiliatoriaus debitas mažesnis, atitinkamai naudojama galia kW yra mažesnė [20].

DCV vienas iš efektyviausiai veikiančių jutiklių yra CO_2 jutiklis. CO_2 jutiklių technologija žymiai patobulėjo paskutiniaisiais metais, o kainos sumažėjo. 1990-aisiais šių jutiklių kainos buvo nuo 500\$ iki daugiau nei 800\$, kada dabar kainos yra žemiau kaip 200\$. Keletas gamintojų siūlo CO_2 jutiklių sistemą su integruotais temperatūros ir drėgmės arba rasos taško jutikliais tame pačiame korpuse, o tai dar labiau sumažina bendras išlaidas įrangai įsigyti. Taip pat technologiškai išsibūlėję jutikliai tarnauja daug ilgiau, nei jų pirmtakai.

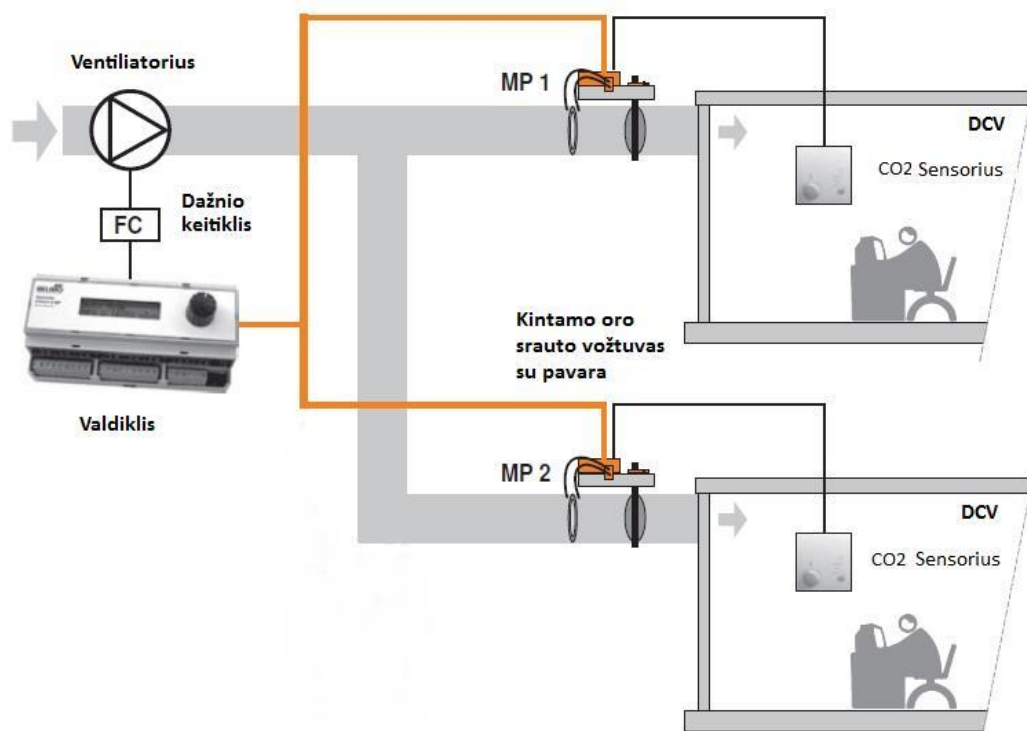


6 pav. CO_2 koncentracijos jutiklis

3.4 Veikimo principo technologinis aprašymas bei schema

Patalpoje esantis žmogus išskiria tam tikrą CO_2 kiekį ir taip pakeičia CO_2 koncentracijos lygį patalpoje. Ant sienos sumontuotas jutiklis į tai reaguoja ir duoda signalą kintamojo oro srauto vožtuvui, kad jis atidarytų arba pridarytų oro sklendę, priklausomai ar CO_2 koncentracija didėja ar mažėja. Ant vožtuvo sumontuotos elektrinės pavaros padėtį fiksuoja pagrindinis valdiklis, kuris apskaičiuoja koks oro kiekis turi būti paduodamas pagrindiniu ventiliatoriumi ir duoda signalą ventiliatoriaus variklio dažnio keitikliui, kad jis padidintų (esant atvirai oro sklendei) arba

sumažintų apsūkas (esant uždarai oro sklendei). Veikimo principas su sistemos elementais parodytas 6.1 paveiksle.



6.1 pav. DCV sistemos veikimo schema

Galimi ir kiti DCV sistemos elementų pajungimo variantai su keliais ar vienu oro srauto reguliatoriumi. Pavyzdžiui CO₂ jutiklis duoda signalą tiesiai į valdiklį, o šis atitinkamai siunčia elektrinį signalą oro srauto sklendės pavarai atidaryti ar uždaryti vožtuvą.

4. Energijos poreikį kontroliuojančios vėdinimo sistemos DCV skaičiavimo metodika

CO₂ pagrindu pagrįsta energijos poreikį valdanti vėdinimo sistema yra labai efektyvi ten, kur patalpos užimtumas yra dažnai mažesnis, negu yra numatytas projektinėse sąlygose, todėl naudojant tipinę pastoviojo oro kiekio CAV vėdinimo sistemą dažnai gali pasireikšti per didelis oro kiekio tiekimas į patalpas tada, kada jo nereikia. Pagal ANSI/ASHRAE standartą 62-1989 interpretaciją IC 62-1989-27 buvo nustatyta, kad anglies dioksido (CO₂) kiekio valdymo pagrįsta vėdinimo sistema DCV gali naudoti CO₂ kiekio rodmenis, kaip patalpos užimtumo indikatorių. Kuo didesnė CO₂ koncentracija yra patalpoje, tuo daugiau yra žmonių.

Pagal ASHRAE 62 sudarytą metodiką yra galimybė nustatyti kokią įtaką CO₂ kiekis turi vėdinimo sistemų valdymui. Dažniausiai, kada pastato vėdinimo sistema yra suprojektuota pagal projektinius tiekiamo oro kiekio reikalavimus, pvz., darbo kambariuose tiekama 36 m³/h vienam asmeniui ir jos veikimas numatomas pastovus per 24 valandas arba tam tikromis valandomis per parą nėra geriausias būdas siekiant efektyvaus energijos naudojimo ir racionalaus sistemų

funkcionavimo, norint užtikrinti reikiamus mikroklimato parametrus patalpose. DCV energijos poreikį kontroliuojanti vėdinimo sistema gali padėti sutaupyti naudojant CO₂ jutiklius, įrengtus pastate tam tikrose zonose. Tiekiamo oro kiekis būtų sumažinamas, kada patalpoje esančių žmonių kiekis būtų mažesnis, negu buvo numatyta projektinėse sąlygose. CO₂ jutiklis gali kontroliuoti vėdinimą patalpoje, taip kaip termostatas kontroliuoja šildymo sistemos prietaisus.

Tiekiamos oro kiekis vienam žmogui nustatomas pagal 1 formulę:

$$V_0 = \frac{N}{C_s - C_o} \quad (1)$$

Čia: V₀- tiekiamojo oro kiekis vienam žmogui, m³/h;

N- vieno žmogaus išskiriamas CO₂ kiekis, m³/h (priklauso nuo žmogaus amžiaus ir fizinio veiklos aktyvumo, matuojama *MET* vienetais, 1 met=58 W/m²), apskaičiuojamas pagal 3 formulę;

C_s- CO₂ koncentracija patalpoje , ppm;

C_o- CO₂ koncentracija lauke, ppm.

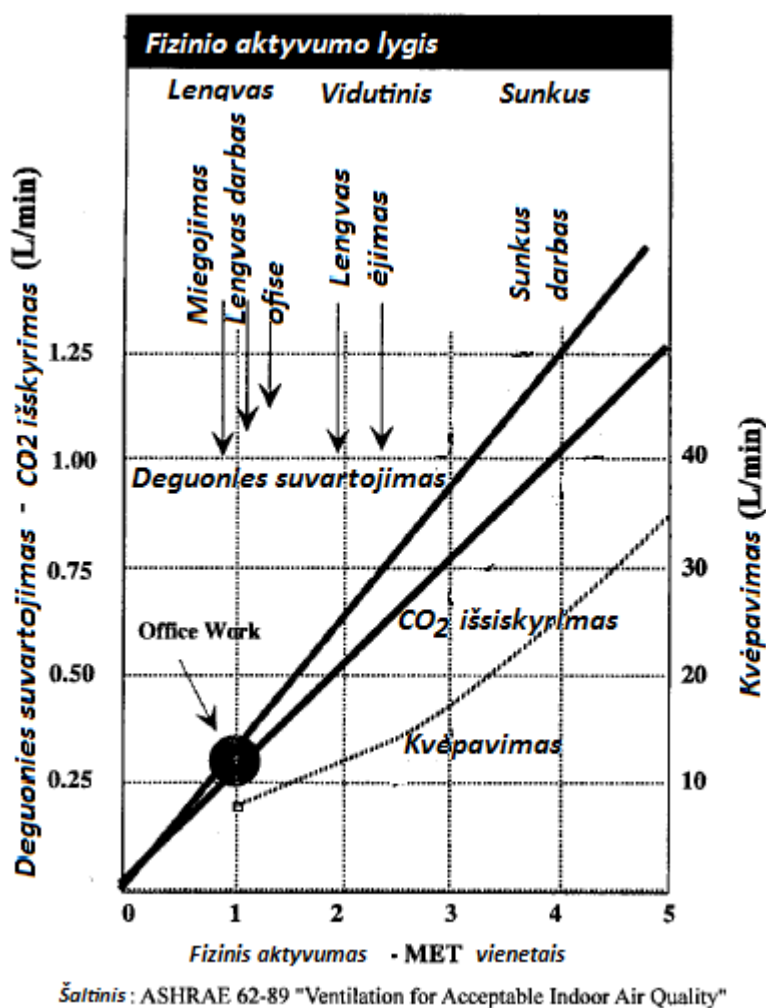
Skirtumas tarp vidaus CO₂ koncentracijos ir lauko ore esančios CO₂ koncentracijos gaunamas pagal 2 formulę:

$$\Delta C = C_s - C_o \quad (2)$$

Čia: ΔC-skirtumas tarp CO₂ koncentracijų skirtingose zonose (viduje-lauke), ppm.

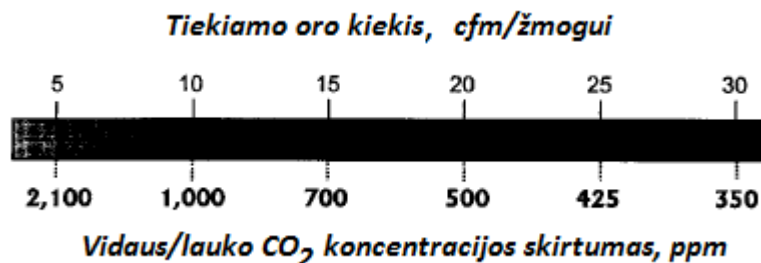
7 Paveiksle parodyta, kaip kinta išskiriamo CO₂ kiekio koncentracija ore, priklausomai nuo žmogaus aktyvumo lygio. Vertikalioje ašyje pateikiamas deguonies suvartojimas bei atitinkamas CO₂ koncentracijos išsiskyrimas. Horizontalioje ašyje fizinio aktyvumo lygis. Žinant žmogaus aktyvumo lygį, pavyzdžiui, mažas, vidutinis arba aukštas, pagal 7 paveiksle parodytą diagramą galime rasti, kokį kiekį jis išskiria CO₂ koncentracijos ir kokio kiekio deguonies jam reikia kvėpuoti. CO₂ jutikliui reikia nuolat stebėti vėdinamos patalpos erdvę, nes žmonių kiekis patalpoje nuolat kinta, tai reiškia, kad ir iškvepiamo CO₂, skirtumas tarp patalpų CO₂ koncentracijos ir lauko oro koncentracijos nuolat kinta. 7 paveiksle pateikiamas darbo taškas, kuris atspindi ofise sėdinčio žmogaus darbą. Tokiu atveju jo fizinio aktyvumo lygis yra lygus 1 met, deguonies suvartojimas yra apie 30 l/min, CO₂ išsiskyrimas apie 25 l/min, kvėpavimo dažnumas apie 1/min. Žmogui atliekant sunkesnę fizinę darbą, jo fizinio aktyvumo lygis, deguonies suvartojimas ir CO₂ išsiskyrimas didėja bei stiprėja jo kvėpavimo dažnumas. Lengvą fizinio aktyvumo lygį gali atspindėti pavyzdžiui lengvas darbas ofise arba miegojimas (nuo 1 iki 2 met), vidutinį – lengvas ėjimas (nuo 2 iki 3 met)

ir sunkų – sunkus fizinis darbas (nuo 3 iki 5 met). Tik tinkamai įvertinus fizinio aktyvumo lygį, galime daryti detalius skaičiavimus, priešingu atveju rezultatų paklaida gali siekti apie 15 %.



7 pav. CO₂ koncentracijos priklausomybė nuo fizinio aktyvumo lygio [7]

8 paveiksle matome, kaip kintant CO₂ koncentracijos skirtumui tarp patalpos ir lauko, keičiasi reikalingas tiekiamo oro kiekis vienam asmeniui.



8 pav. CO₂ koncentracijos skirtumo patalpoje/lauke priklausomybė nuo oro kiekio/žmogui [7]

1 cfm (angl. *cubic feet per minute*, ft^3/min)=1,699 m³/h. Reiškia esant 700 ppm CO₂ koncentracijos skirtumui tarp vidaus ir lauko oro, į patalpą reikia tiekti apie 15 cfm=25,5 m³/h

šviežio oro vienam žmogui. Koncentracijos skirtumui didėjant, atitinkamai didėja ir reikiamo tiekti į patalpą oro kiekis. Kada žmogaus, kuris yra patalpoje fizinis aktyvumas didėja, auga CO₂ koncentracija ir dėl to lauko oro poreikis išauga, todėl galima teigti, kada fizinis aktyvumas turi įtakos į patalpas tiekiamam oro kiekiui. 1997 *ASHRAE Fundamentals* aprašo detalią informaciją apie žmogaus metabolinį lygį, CO₂ koncentraciją patalpose. Standartas *ASHRAE 62* tai pat nurodo grafinę iliustraciją, kurioje atspindi fizinio aktyvumo lygis MET ir CO₂ išsiskyrimą *cfm*. CO₂ išsiskyrimai paprasto ofiso darbuotojo esant fizinio aktyvumo lygiui 1 met yra (0,088 cfm) arba (0,15 m³/h). CO₂ išsiskyrimus nuo žmonių pagal 7 paveikslą galima apskaičiuoti naudojantis formulę:

$$N = 0,15M \quad (3)$$

Čia: N- CO₂ kiekis išsiskiriantis nuo žmogaus, m³/h

M- fizinis aktyvumas, MET

CO₂ koncentracijos kiekis N gali būti nuo 0,15 m³/h esant 1 met ir apie 0,30 m³/h esant 2 met. Jei pastato patalpose yra žmonių, kurių fizinio aktyvumo lygis yra skirtingas tai imamas MET dydžio vidurkis. Pasirinkus 25 % mažesnę metabolinės fizinės veiklos lygį, priklausančią nuo žmonių, turės įtakos vėdinimo sistemai, nes ji tieks 25 % mažesnę oro kiekį į patalpą. Todėl MET reikšmės pasirinkimas yra labai svarbus.

5. Reikalavimai oro kaitos nustatymui pagal CO₂ koncentracijos matavimus

Remiantis *STR 2.09.2005 "Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas"* II skirsnio 22.1.4 punktu, kuriame teigiama, kad negyvenamosios paskirties pastatų patalpų oro kokybės lygis apibrėžiamas keturiomis kategorijomis:

Kategorija IDA 1, aukštas oro kokybės lygis – iki 400 ppm CO₂ daugiau negu CO₂ koncentracija lauko ore;

Kategorija IDA 2, aukštas oro kokybės lygis – iki 600 ppm CO₂ daugiau negu CO₂ koncentracija lauko ore;

Kategorija IDA 3, aukštas oro kokybės lygis – iki 800 ppm CO₂ daugiau negu CO₂ koncentracija lauko ore;

Kategorija IDA 4, aukštas oro kokybės lygis – iki 1000 ppm CO₂ daugiau negu CO₂ koncentracija lauko ore.

Viešojo naudojimo pastatų patalpose, kuriose pagrindinis teršalų šaltinis yra žmonių medžiagų apykaitos produktai, oro kokybės kategorija pasirenkama suinteresuotų projekto dalyvių susitarimu. Nesant aiškių kriterijų, pasirenkama vidutinė patalpų oro kokybės kategorija, o CO₂ koncentracija lauko ore 400 ppm. Reiškia tokiu atveju patalpos oro kokybė atitiks vidutinės kokybės lygį esant joje apie 1000 ppm. Viršijus šią normą patalpos oro kokybės lygis sumažės ir patalpos mikroklimato parametrai nebetenkins norminių.

Oro kiekis, atitinkantis vidutinį oro kokybės lygį, nustatomas pagal reglamento STR 2.09.2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“ 1 priedą.

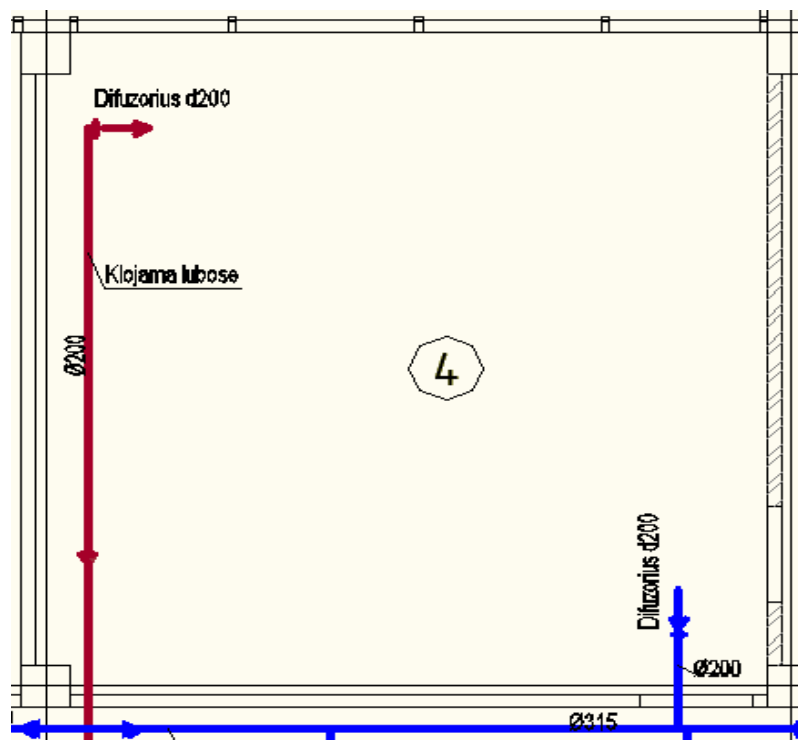
Administracinės paskirties pastatuose į darbo kambarius, kurie yra atviri lankytojams, turi būti tiekiamas 5,4 m³/h šviežio oro į 1 m² grindų ploto. Mūsų nagrinėjama patalpa yra 37,2 m² ploto, reiškia į patalpą teoriškai turėtų būti tiekiamas $T_{pat} = 37,2 \cdot 5,4 = 200,88 \text{ m}^3/\text{h}$ oro.

Pagal ASHRAE 62 sudarytą metodiką yra galimybė nustatyti kokią įtaką CO₂ turi vėdinimo sistemų valdymui. Dažniausiai kada pastato vėdinimo sistema yra suprojektuota pagal projektinius tiekiamo oro kiekio reikalavimus pvz. darbo kambariuose 36 m³/h vienam asmeniui ir jos veikimas numatomas pastovus per 24 valandas arba tam tikromis valandomis per parą nėra geriausias būdas siekiant efektyvaus energijos naudojimo ir racionalaus sistemų funkcionavimo, norint užtikrinti reikiamus mikroklimato parametrus patalpose. DCV energijos poreikį kontroliuojanti vėdinimo sistema gali padėti sutaupyti naudojant CO₂ jutiklius, įrengtus pastate tam tikrose zonose. Tiekiamo oro kiekis būtų sumažinamas, kada patalpoje esančių žmonių kiekis būtų mažesnis negu buvo numatyta projektinėse sąlygose. CO₂ jutiklis gali kontroliuoti vėdinimą patalpoje taip kaip termostatas kontroliuoja šildymo sistemos prietaisus.

5.1 Patalpos aprašymas

Tam, kad galima būtų palyginti DCV ir CAV sistemas, reikia atlikti tam tikrus matavimus. Matavimams pasirenkama patalpa, esanti II aukšte administraciniame pastate UAB „Grinda“ Eigulių g. 7, Vilniuje. Patalpoje yra įrengta buhalterija, joje nuolat dirba dvi darbuotojos, tačiau žmonių skaičius patalpoje nuolat kinta darbo metu. Patalpos planas su vėdinimo sistema parodytas 9 paveiksle. Į patalpą oras tiekiamas per 200 mm skersmens oro tiekimo difuzorių, kuris sumontuotas tolimesnėje patalpos dalyje, kuri yra mažiau užteršta ir ištraukiamas per 200 mm skersmens oro ištraukimo difuzorių, kuris sumontuotas arčiau patalpos išėjimo/įėjimo durų. Į patalpą tiekiamas oro kiekis yra pastovus 200 m³/h, ištraukiamo oro kiekis iš patalpos 186 m³/h. Tiekiamo ir ištraukimo oro kiekis yra gautas remiantis vėdinimo sistemos paso duomenimis, kuris buvo sudarytas naudojantis „TESTO“ 435-4 daugiafunkciniu prietaisu. Šio prietaiso patvirtintas kalibravimo liudijimas Nr. 75/11-A pateikiamas 3 priede. Į patalpą galima patekti per duris iš

koridoriaus. Langų plotas sudaro 18,0 m² ir yra orientuoti į vakarus. Patalpoje turi būti palaikoma 21 °C temperatūra šaltuoju metu laikotarpiu ir 24 °C šiltuoju metu laikotarpiu. Tam tikslui patalpoje be mechaninio vėdinimo yra dar įrengtas kasetinis oro kondicionierius su šildymo funkcija.



9 pav. Buhalterijos patalpa su vėdinimo sistema

Reikalaujamas oro judėjimo greitis patalpoje apie 0,15 m/s. Patalpos plotas 37,2 m², aukštis 3m. Vėdinimo sistema dirba nuo pirmadienio iki penktadienio pastoviu režimu, o savaitgaliais yra išjungiamo.

6. CO₂ koncentracijos bei temperatūros patalpoje matavimai

Pasirinktame objekte t.y patalpoje buvo atlikti CO₂ koncentracijos tyrimai. Matavimai buvo atliekami nuo **2011 metų spalio 21 dienos 11:00 val. iki 2011 metų spalio 28 dienos 21:55 val.** Matavimams atlikti buvo naudojamas CO₂ koncentracijos matuoklis “*Telaire CO2 sensor*” bei “*HOBO UI2*” duomenų kaupiklis. Prietaisai matavimo metu buvo sujungti kartu kabeliu ir gauti duomenys USB jungtimi perkelti į kompiuterį, kuriame buvo apdorojami.

Techninės “*Telaire CO2 sensor*” prietaiso charakteristikos pateiktos 10 paveiksle.

"Telaire" CO2 ir temperatūros matavimų prietaisas

Korpuso numeris	Išėjimai	Detalės Nr.
TEL-7001	0-4V matavimo ribos 0 to 4000 ppm CO ₂ 0-4V matavimo ribos 0 to +40°C (+32 to +104°F)	7001

10 pav. CO₂ koncentracijos matuoklio techninės charakteristikos

Šis CO₂ koncentracijos matuoklis gali matuoti ir temperatūra °C bei santykinę drėgmę patalpoje %.

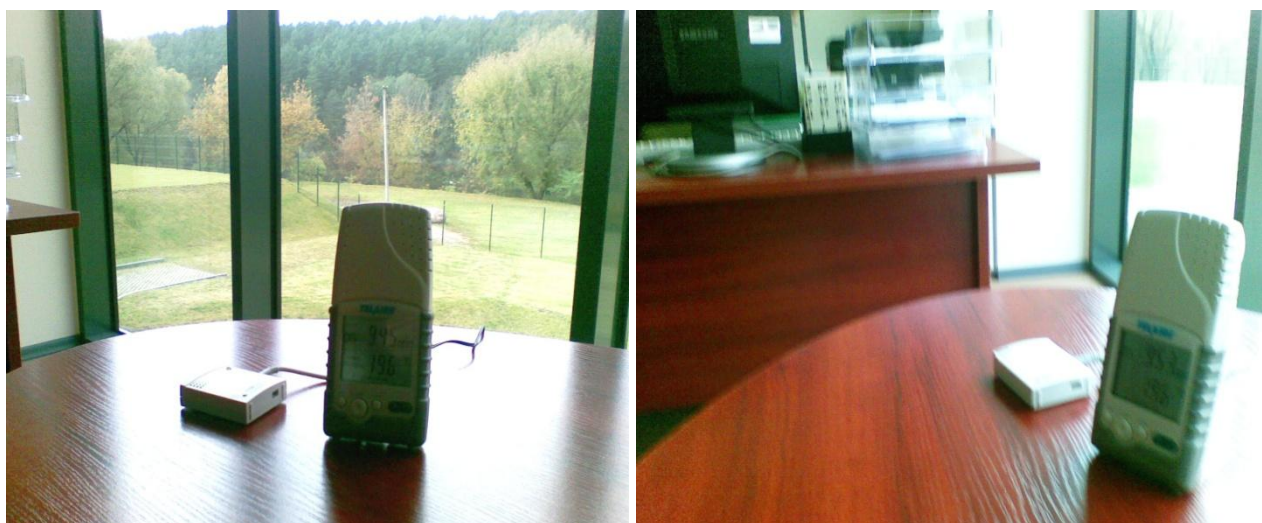
Techninės „HOBO U12“ prietaiso charakteristikos pateiktos 11 paveiksle.

Matavimų ribos	Temperatūra: -20° iki 70°C (-4° iki 158°F) RH: 5% iki 95% RH Šviesos intensyvumas: 1 iki 3000 (lumens/ft ²) Jėgimo kanalai: (žiūrėti instrukciją): 0 iki 2.5 VDC; 0 to 5 VDC (su CABLE-ADAP5) ir 0 iki 10 VDC (su CABLE-ADAP10)
----------------	---



11 pav. „HOBO U12“ techninės charakteristikos

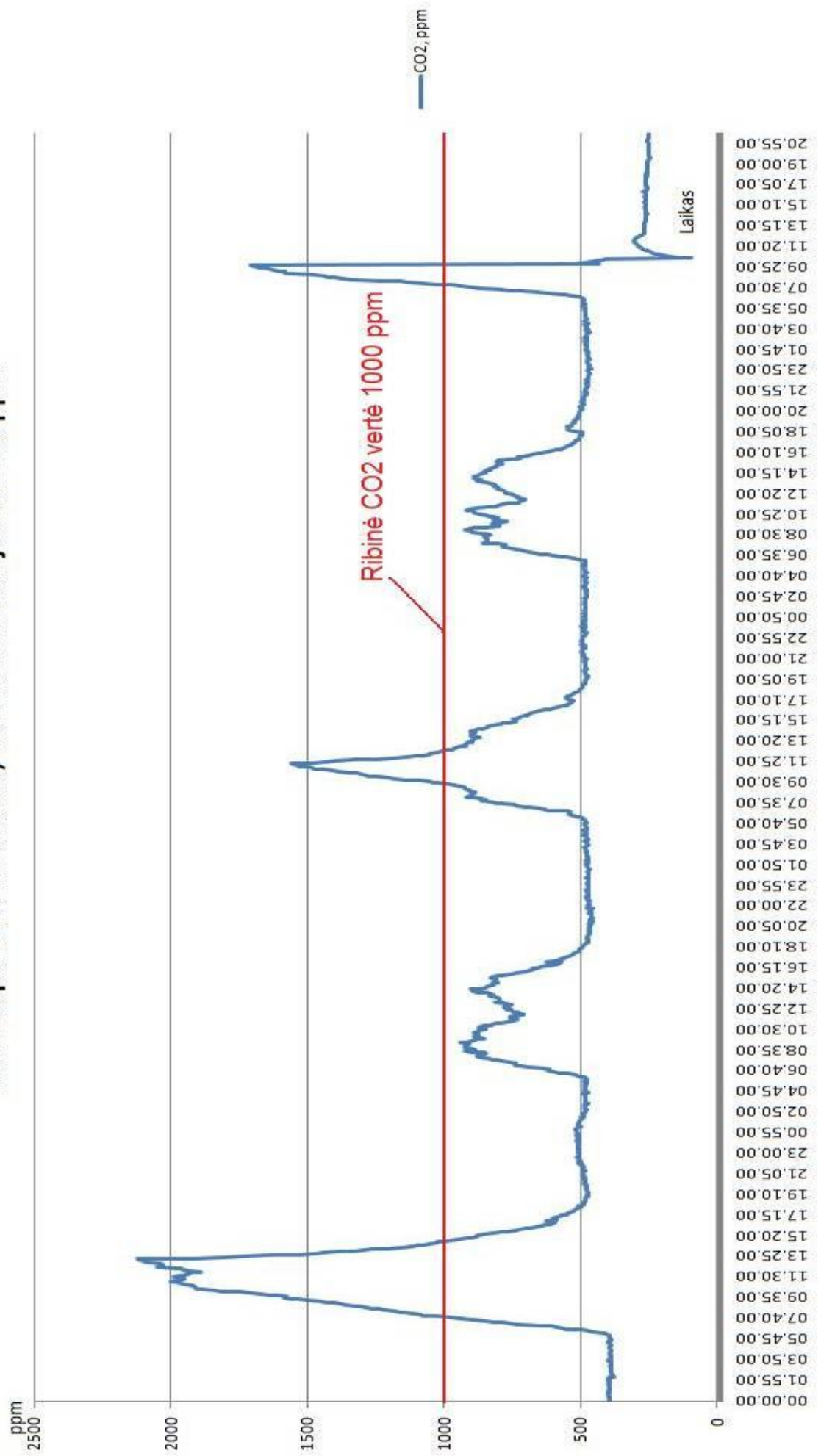
Matavimams buvo parinkta vieta darbo zonoje, kurioje būtų matuojamos vertės tiksliausios ir arčiausiai realybės. CO₂ koncentracijos matuoklis buvo padėtas apie 1 metrą aukštyje nuo grindų ant stalo esančio viduryje patalpos ir apie 1,5 metro atstumu nuo langų. Matuokliui buvo pajungtas papildomas maitinimas iš tinklo 220 V ir 50Hz.



12 pav. CO₂ koncentracijos matuoklis nagrinėjamoje patalpoje

Matavimų metu patalpoje nuolat veikė pastoviojo oro tūrio vėdinimo sistema, kuri tiekė lauko orą į patalpą. Atlikus matavimus buvo sudaromas CO₂ koncentracijos ppm priklausomybės grafikas nuo laiko. Toliau pateikiami atliktų matavimų duomenys visos savaitės dienomis. Ribinė CO₂ vertė patalpoje neturėtų pakilti daugiau 1000 ppm. Skirtingus dienų rezultatus įtakojo šalutiniai faktoriai, tokie kaip žmonių skaičius, skirtingas durų varstymo laikas, langų atvėrimas ir panašiai. Vėdinimo sistema turėdama galimybę veikti pagal laiko režimą buvo nustatyta dirbti pastoviu režimu, kad būtų gauti tikslesni rezultatai ir juos galima būtų palyginti su naudojamus DCV sistemoje.

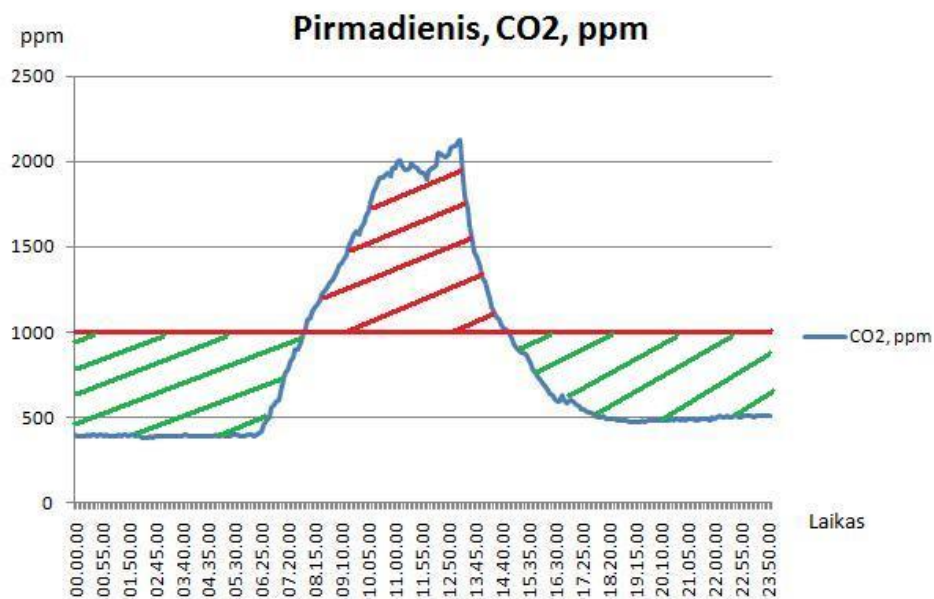
2011m spalio 24-28 dienos, CO2 koncentracijos kitimas ppm



7. Tiekiamo į patalpas oro kiekio įvertinimas pagal CO₂ koncentraciją

Mūsų nagrinėjamoje patalpoje CO₂ koncentracijos lygis atitinka vidutinį oro kokybės lygį. Tai yra priklauso kategorijai IDA 2, aukštas oro kokybės lygis – iki 600 ppm CO₂ daugiau negu CO₂ koncentracija lauko ore. Lauko oro CO₂ koncentraciją priimame lygią 400 ppm. Reiškia viršijus 1000 ppm ribą į patalpą yra tiekama per mažai lauko oro, o jeigu CO₂ koncentracija nukrenta žemiau 1000 ppm, tokiu atveju į patalpą tiekama daugiau lauko oro ir patalpa yra per daug vėdinama.

Detaliau apžvelkime CO₂ kitimą patalpoje per nagrinėjamą laikotarpį.

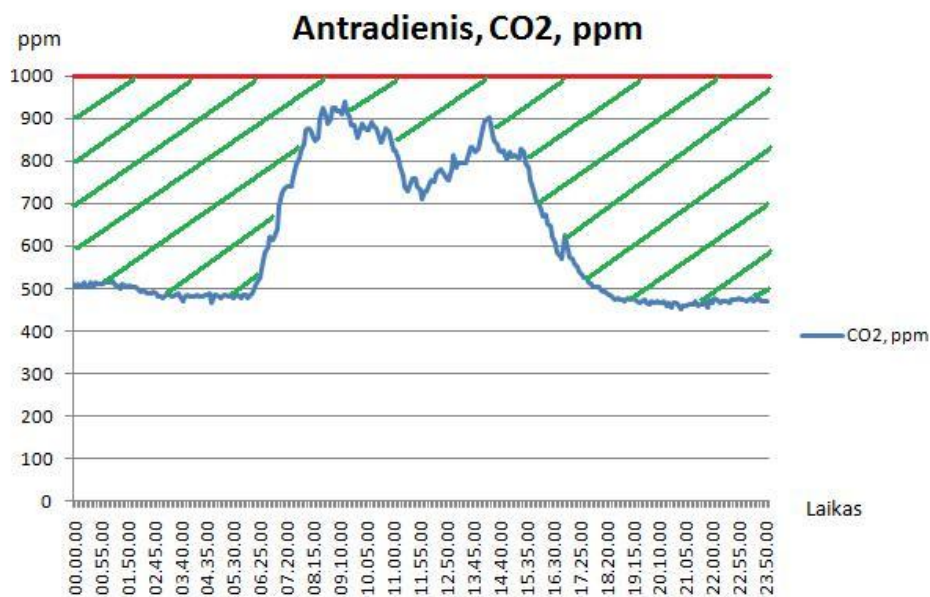


14 pav. CO₂ koncentracijos įvertinimas, pirmadienis

Matome, kad pirmoje dienos dalyje patalpoje yra apie 400 ppm CO₂ koncentracija, nuo 6:25 CO₂ koncentracija pradėjo augti, daroma prielaida, kad tuo metu į patalpą atėjo žmonės. Koncentracija augo iki 2000-2200 ppm ir apie 12:00 dienos ir buvo virš leistinos normos nuo 8:00 iki 15:00. Nuo 0:00 iki 6:25 patalpoje CO₂ koncentracija siekė vidutiniškai apie 400 ppm, po to pradėjo kilti ir iki 8:00 pasiekė norminį lygį 1000 ppm. Nuo 15:00 CO₂ koncentracija pradėjo kristi ir iki 18:00 pasiekė pradinį buvį t.y. apie 400-500 ppm.

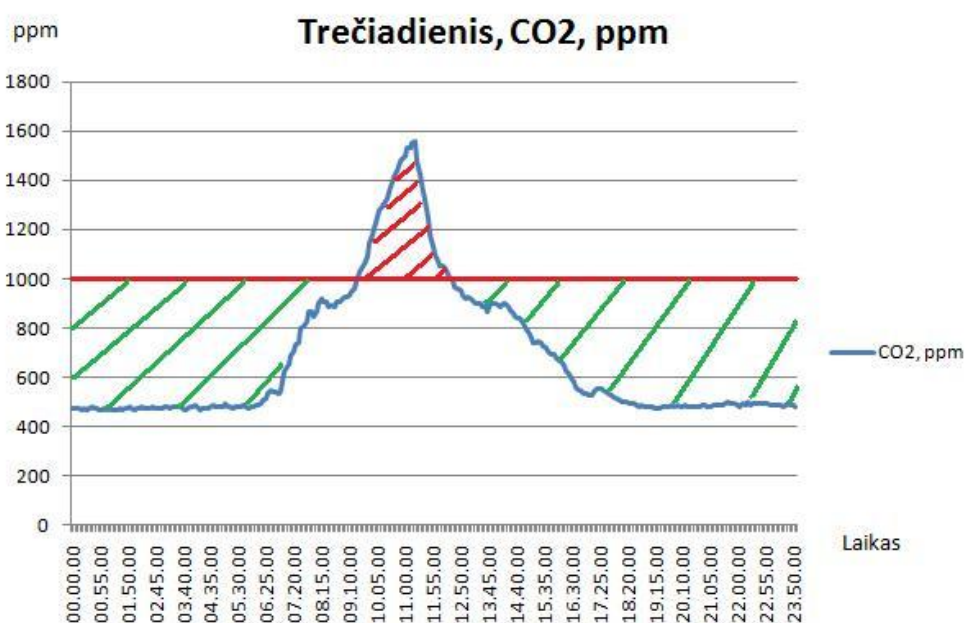
Toliau 15 paveiksle pateikiama CO₂ koncentracijos kitimas patalpoje antradienį. Visą paros laiką CO₂ koncentracija nepasiekė ribinės 1000 ppm vertės. Bet jos kitimas svyravo nuo 500 ppm iki 930 ppm. 6:25 CO₂ koncentracija ėmė augti, nes tuo metu į darbą pradėjo rinktis darbuotojai. 9:10 CO₂ koncentracija pasiekė maksimalią paros vertę t.y. 930 ppm. Vidurdienį 12:00 CO₂ koncentracija nukrito iki 720 ppm ir po pietų vėl ėmė augti iki 900 ppm. 15:30 koncentracija

akivaizdžiai pradėjo kristi ir 18:00 valandą pasiekė pradinę būseną 500 ppm. Visą paros laikotarpį patalpa buvo per daug vėdinama, o tiksliau tiekama per daug lauko oro.



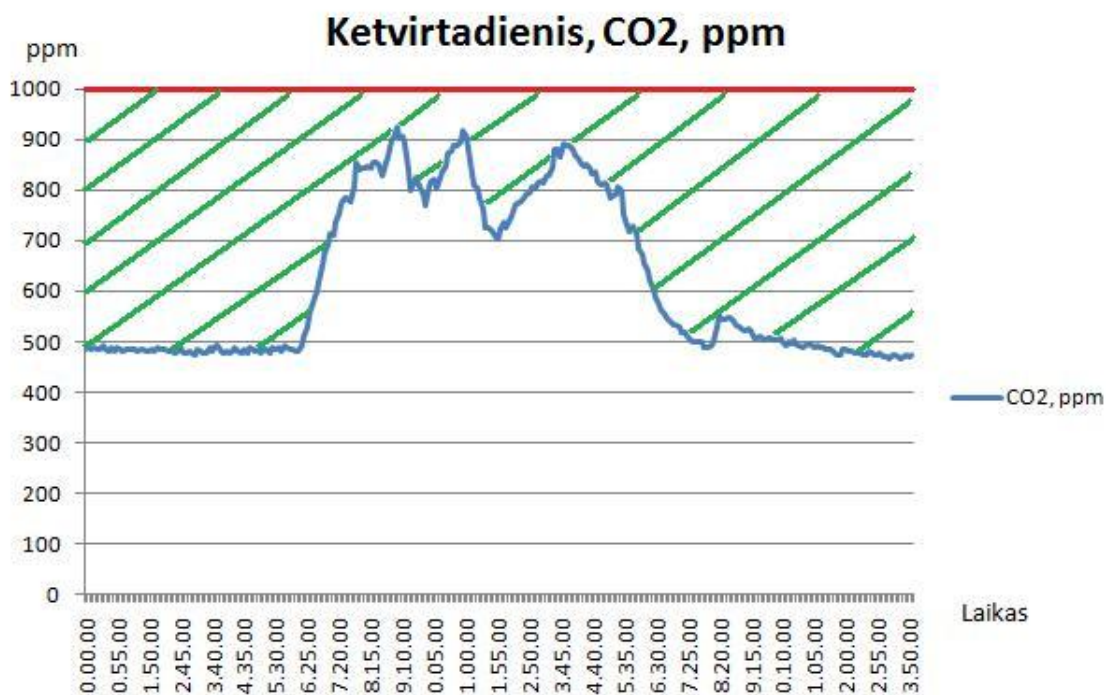
15 pav. CO₂ koncentracijos įvertinimas, antradienis

Detaliau apžvelkime trečiadienio CO₂ koncentracijos grafiką, kuris pateikiamas 16 paveiksle. Nuo 00:00 iki 6:25 CO₂ koncentracija svyruoja vidutiniškai ties 500 ppm riba, ir po to pradeda kilti. 11:30 valandą pasiekiamas maksimalus CO₂ koncentracijos lygis paros metu. Jis siekia apie 1500 ppm. Po to koncentracija krenta palaipsniui ir apie 17:00 valandą pasiekia pradinę būseną apie 500 ppm. Nuo 9:10 iki 12:50 patalpoje CO₂ koncentracija viršija ribinę vertę ir tuo metu patalpoje sudaromos diskomforto sąlygos. Kitu paros metu patalpa yra per daug vėdinama t.y CO₂ koncentracija yra žemiau 1000 ppm.



16 pav. CO₂ koncentracijos įvertinimas, trečiadienis

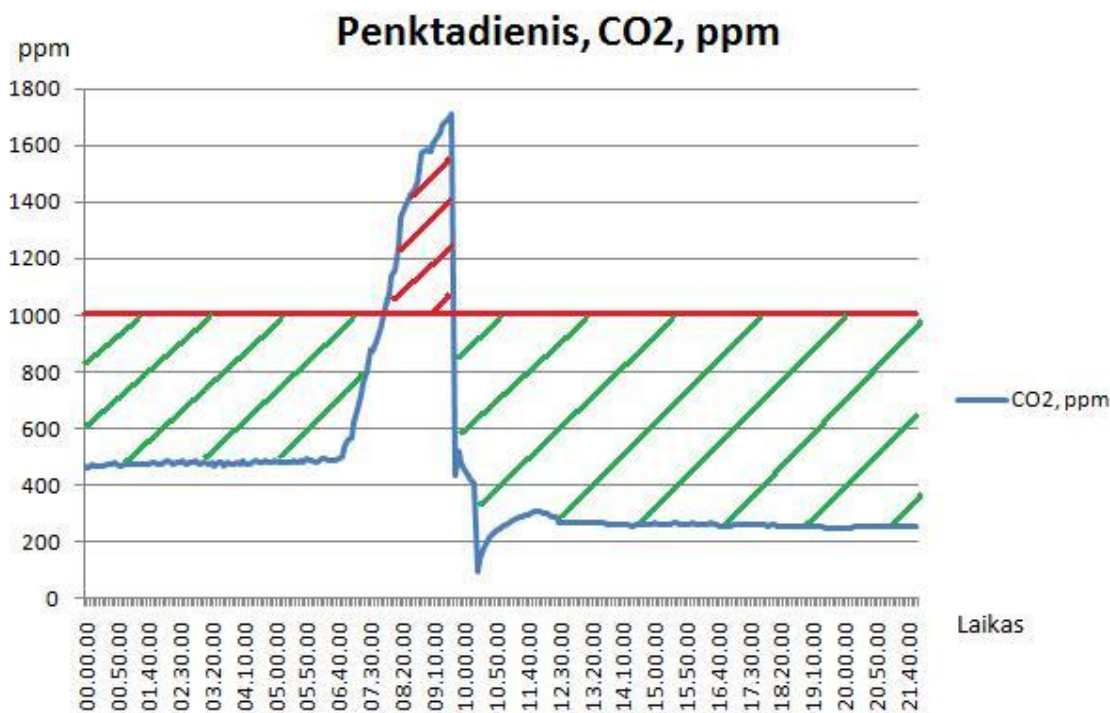
Ketvirtadienio CO₂ koncentracijos kitimas parodytas 17 paveiksle. Matome, kad visą paros laiką koncentracija neviršija ribinės vertės t.y. 1000 ppm. Iki 6:25 koncentracija siekia 500 ppm. Po to pradeda kilti iki 920 ppm. 10:05 nukrenta iki 780 ppm. 11:00 kyla iki 920 ppm po to vėl krenta iki 700 ppm 11:55. 13:45 pasiekia 890 ppm. Po 14:00 CO₂ koncentracija krenta ir 17:25 pasiekia 500 ppm. 18:20 trumpu momentu CO₂ lygis patalpoje pakilo iki 530 ppm, matomai į patalpą buvo atėję žmonių. Vėliau CO₂ lygis nukrito iki pradinės būsenos apie 500 ppm. Visą paros laiką į patalpą buvo tiekama per daug lauko oro, kadangi leidžiamas CO₂ koncentracijos lygis nebuvo pasiekęs ribinės vertės. Tai reiškia, kad tiekti į patalpą galima mažiau lauko oro ir taip sutaupyti elektros bei šilumos energijos.



17 pav. CO₂ koncentracijos įvertinimas, ketvirtadienis

Penktadienio CO₂ kitimo grafikas pateikiamas 18 paveiksle. Nuo 00:00 iki 6:40 CO₂ lygis vidutiniškai svyruoja nuo 400 iki 500 ppm ir po to pradeda kilti. 8:00 anglies dioksido koncentracija pasiekia ribinę vertę ir apie 9:30 teršalų lygis patalpoje išauga iki 1700 ppm. Po to įvyksta staigus CO₂ lygio kritimas iki 100 ppm. Realiai toks teršalų lygio kritimas neįmanomas, todėl tikėtina, kad tuo metu patalpoje esant aukštam CO₂ koncentracijos lygiui, patalpoje esantys žmonės pravėrė langą ir į patalpą staiga pateko gryno oro. Kadangi CO₂ matuoklis stovėjo apie 1,5 metro nuo lango tai turėjo didelės įtakos matavimo rezultatams. Žvelgiant į grafiką matome, kad nuo 0:00 iki 7:30 ir nuo 10:00 iki 21:40 CO₂ lygis neviršija ribinės vertės ir yra gerokai už ją žemesnis. Tik nuo 7:30 iki 10:00 valandos teršalų koncentracija viršija ribinę vertę. Tikėtina, kad jeigu nebūtų atidarytas langas

CO₂ lygis pakiltų iki 2500 ar net 3000 ppm. Tokį teršalų susidarymą patalpoje galėjo įtakoti didelis žmonių kiekis.



18 pav. CO₂ koncentracijos įvertinimas, penktadienis

Pagrindinis faktorius CO₂ koncentracijos kitimui patalpoje yra žmonių kiekis. Kintant žmonių kiekiui atitinkamai kinta ir CO₂ koncentracija. Išanalizavus CO₂ kitimo grafiką per savaitę matome, kad tikrose atkarpose anglies dioksido ppm lygis yra pastovus. Todėl naudodamiesi 8 paveiksle pateikta lentele ir žinodami, kad į patalpą nuolat buvo tiekiamas 200 m³/h oro srautas, galima nustatyti kiek žmonių buvo patalpoje tuo metu.

14 paveiksle matome, kad grafiko viršuje yra apytiksliai pastovios CO₂ koncentracijos atkarpa t.y. apie **2000 ppm**. Tiekiamo oro kiekis į patalpą **200 m³/h**. Naudodamiesi grafiku ir žinodami, kad **1 cfm (cubic feet per minute, ft³/min)=1,699 m³/h**.

Apskaičiuojamas į patalpą tiekiamas oro kiekis cfm:

$$V_{\text{pat.}} = 200 \text{ m}^3/\text{h} / 1,699 \text{ m}^3/\text{h} = 117,72 \text{ cfm}$$

CO₂ koncentracijos skirtumas nagrinėjamoje atkarpoje (lauke priimame 400 ppm):

$$\Delta C = C_{\text{taške}} - C_{\text{lauko}} = 2000 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm} = 1600 \text{ ppm}$$

Žmonių skaičius nagrinėjamu momentu bus lygus:

$$N = 1600 / 117,72 = 13,59 \sim \mathbf{14 \text{ žmonių}}$$

15 paveiksle matome, kad antradienį taip pat yra atkarpų, kuriose CO₂ lygis apytiksliai pastovus. CO₂ koncentracijos atkarpa t.y. apie **900 ppm**. Tiekiamo oro kiekis į patalpą **200 m³/h**. Naudodamiesi grafiku ir žinodami, kad **1 cfm (cubic feet per minute, ft³/min)=1,699 m³/h**.

Į patalpą tiekiamas oro kiekis 117,72 cfm.

CO₂ koncentracijos skirtumas nagrinėjamoje atkarpoje (lauke priimame 400 ppm):

$$\Delta C = C_{\text{taške}} - C_{\text{lauko}} = 900 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm} = 500 \text{ ppm}$$

Žmonių skaičius nagrinėjamu momentu bus lygus:

$$N = 500 / 117,72 = 4,24 \sim \mathbf{4 \text{ žmonės}}$$

Sekanti atkarpa 15 paveiksle yra ties 800 ppm.

CO₂ koncentracijos skirtumas nagrinėjamoje atkarpoje (lauke priimame 400 ppm):

$$\Delta C = C_{\text{taške}} - C_{\text{lauko}} = 800 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm} = 400 \text{ ppm}$$

Žmonių skaičius nagrinėjamu momentu bus lygus:

$$N = 400 / 117,72 = 3,39 \sim \mathbf{3 \text{ žmonės}}$$

16 paveiksle matomos dvi atkarpos, kuriose CO₂ koncentracija yra apytiksliai pastovi.

CO₂ koncentracijos skirtumas nagrinėjamoje atkarpoje (lauke priimame 400 ppm):

$$\Delta C = C_{\text{taške}} - C_{\text{lauko}} = 900 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm} = 500 \text{ ppm}$$

Žmonių skaičius nagrinėjamu momentu bus lygus:

$$N = 500 / 117,72 = 4,24 \sim \mathbf{4 \text{ žmonės}}$$

17 paveiksle pastovaus CO₂ kiekio ppm atkarpa yra ties 850 ppm ir ties 720 ppm.

CO₂ koncentracijos skirtumas nagrinėjamoje atkarpoje (lauke priimame 400 ppm):

$$\Delta C = C_{\text{taške}} - C_{\text{lauko}} = 850 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm} = 450 \text{ ppm}$$

Žmonių skaičius nagrinėjamu momentu bus lygus:

$$N = 450 / 117,72 = 3,82 \sim \mathbf{4 \text{ žmonės}}$$

CO₂ koncentracijos skirtumas nagrinėjamoje atkarpoje (lauke priimame 400 ppm):

$$\Delta C = C_{\text{taške}} - C_{\text{lauko}} = 720 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm} = 320 \text{ ppm}$$

Žmonių skaičius nagrinėjamu momentu bus lygus:

$$N = 320 / 117,72 = 2,72 \sim \mathbf{3 \text{ žmonės}}$$

18 paveiksle pastovaus CO₂ kiekio ppm atkarpa yra ties 1580 ppm.

CO₂ koncentracijos skirtumas nagrinėjamoje atkarpoje (lauke priimame 400 ppm):

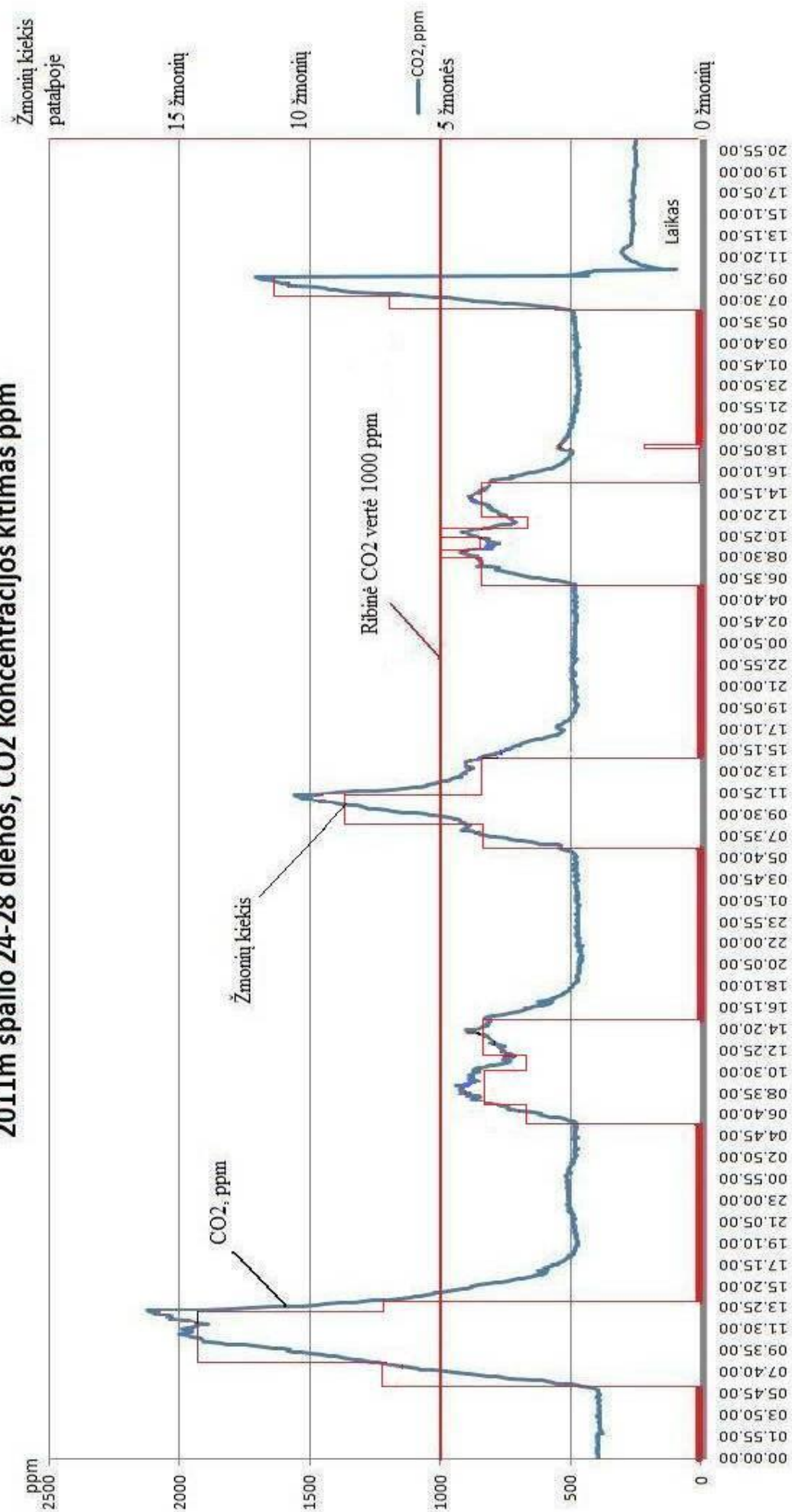
$$\Delta C = C_{\text{taške}} - C_{\text{lauko}} = 1580 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm} = 1180 \text{ ppm}$$

Žmonių skaičius nagrinėjamu momentu bus lygus:

$$N = 1180 / 117,72 = 10,02 \sim \mathbf{10 \text{ žmonių}}$$

18 paveiksle nuo 10 val. įvyksta staigus CO₂ lygio kritimas, todėl tolesnių rezultatų skaičiavimuose nevertinsime. Pagal apskaičiuotus žmonių kiekius patalpoje nubraižomas apytikslis žmonių buvimo patalpoje nagrinėjamu laikotarpiu grafikas.

2011m spalio 24-28 dienos, CO2 koncentracijos kitimas ppm



Pagal Ashrae 62 standartą: „Optimizing Energy Use and Ventilation“. Norint patalpoje palaikyti pastovų 1000 ppm lygį reikia į patalpą tiekti 15 cfm arba 25,49 m³/h oro vienam žmogui. Pagal gautus tyrimo rezultatus pateikiama žmonių kitimo laike lentelė:

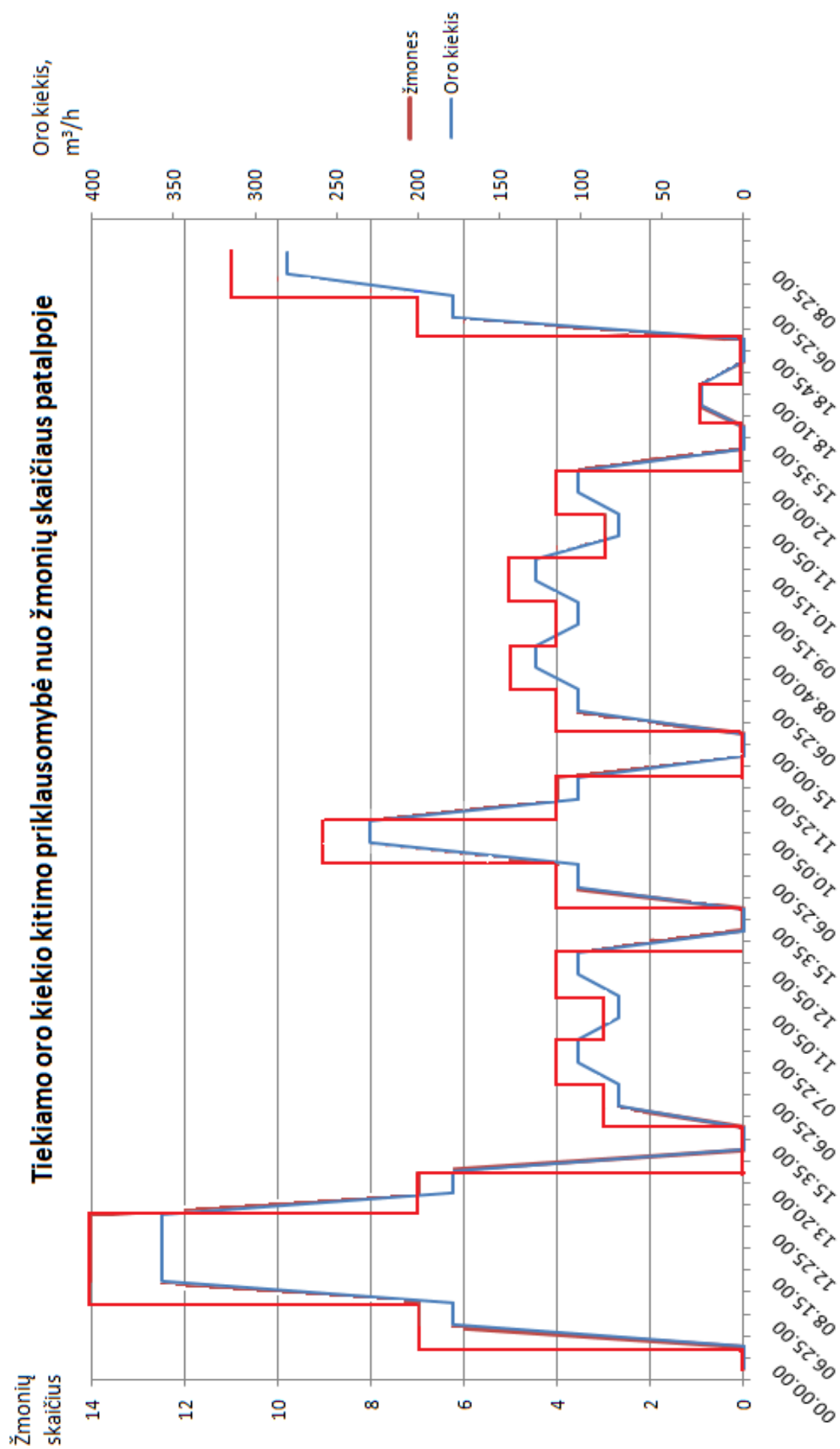
1 lentelė. Žmonių kiekio kitimas patalpoje

Data	Laikas	CO ₂ , ppm	Žmonių kiekis	Tiekiamo oro kiekis (m ³ /h)/vienam žmogui	Reikiamas tiekiamo oro kiekis į patalpą, m ³ /h
11.10.24	00.00.00	396	0	25,49	0
11.10.24	06.20.00	412	0	25,49	0
11.10.24	06.25.00	421	7	25,49	178,43
11.10.24	08.10.00	1.119	7	25,49	178,43
11.10.24	08.15.00	1.149	14	25,49	356,86
11.10.24	12.20.00	1.964	14	25,49	356,86
11.10.24	12.25.00	1.982	14	25,49	356,86
11.10.24	13.15.00	2.124	14	25,49	356,86
11.10.24	13.20.00	1.900	7	25,49	178,43
11.10.24	15.30.00	871	7	25,49	178,43
11.10.24	15.35.00	852	0	25,49	0
11.10.25	06.20.00	513	0	25,49	0
11.10.25	06.25.00	527	3	25,49	76,47
11.10.25	07.20.00	741	3	25,49	76,47
11.10.25	07.25.00	739	4	25,49	101,96
11.10.25	11.00.00	826	4	25,49	101,96
11.10.25	11.05.00	823	3	25,49	76,47
11.10.25	12.00.00	709	3	25,49	76,47
11.10.25	12.05.00	727	4	25,49	101,96
11.10.25	15.30.00	821	4	25,49	101,96
11.10.25	15.35.00	797	0	25,49	0
11.10.26	06.20.00	507	0	25,49	0
11.10.26	06.25.00	514	4	25,49	101,96
11.10.26	10.00.00	1.204	4	25,49	101,96
11.10.26	10.05.00	1.250	9	25,49	229,41
11.10.26	11.20.00	1.559	9	25,49	229,41
11.10.26	11.25.00	1.477	4	25,49	101,96
11.10.26	14.55.00	817	4	25,49	101,96
11.10.26	15.00.00	791	0	25,49	0
11.10.27	06.20.00	509	0	25,49	0
11.10.27	06.25.00	529	4	25,49	101,96
11.10.27	08.35.00	828	4	25,49	101,96
11.10.27	08.40.00	855	5	25,49	127,45
11.10.27	09.10.00	905	5	25,49	127,45
11.10.27	09.15.00	890	4	25,49	101,96
11.10.27	10.10.00	802	4	25,49	101,96
11.10.27	10.15.00	826	5	25,49	127,45
11.10.27	11.00.00	907	5	25,49	127,45

1 lentelės pabaiga.					
Data	Laikas	CO ₂ , ppm	Žmonių kiekis	Tiekiamo oro kiekis (m ³ /h)/vienam žmogui	Tiekiamo oro kiekis į patalpą, m ³ /h
11.10.27	11.05.00	882	3	25,49	76,47
11.10.27	11.55.00	703	3	25,49	76,47
11.10.27	12.00.00	723	4	25,49	101,96
11.10.27	15.30.00	800	4	25,49	101,96
11.10.27	15.35.00	750	0	25,49	0
11.10.27	18.05.00	491	0	25,49	0
11.10.27	18.10.00	498	1	25,49	25,49
11.10.27	18.40.00	546	1	25,49	25,49
11.10.27	18.45.00	539	0	25,49	0
11.10.28	06.20.00	492	0	25,49	0
11.10.28	06.25.00	489	7	25,49	178,43
11.10.28	08.20.00	1.342	7	25,49	178,43
11.10.28	08.25.00	1.379	11	25,49	280,39
11.10.28	09.40.00	1.709	11	25,49	280,39
11.10.28	09.45.00	432	-	25,49	0

Turint patalpoje žmonių kitimo grafiką bei reikiamo tiekti oro kiekį skirtingu metu, galime pasakyti kiek reikės oro tiekti, naudojant DCV sistemą su CO₂ jutikliais, visu nagrinėjamu laikotarpio t.y. per savaitę. Sistema matuodama išorės lauko ir patalpos CO₂ lygo skirtumą tiekia į patalpas reikiamą oro kiekį pagal, tam kad būtų palaikoma optimali 1000 ppm CO₂ koncentracija patalpoje. Pagal 1 lentelėje gautus duomenis nubraižomas oro kiekio priklausomybės nuo žmonių skaičiaus grafikas.

Matome, kad į patalpą atėjus žmonių CO₂ koncentracija kyla, atitinkamai auga ir ventiliatoriaus apsukos kol pasiekama pastovus darbo režimas. Laikas nuo ventiliatoriaus paleidimo iki darbo režimo stabilizavimo vadinamas „*reagavimo laiku*“. Toliau ventiliatorius dirba pagal valdiklio signalą, kuris gaudamas informaciją iš CO₂ jutiklio patalpoje priima sprendimą padidinti arba sumažinti ventiliatoriaus apsūkas dažnio keitiklio pagalba. Žmonėms išėjus iš patalpos CO₂ koncentracija krenta ir pasiekus apie 450 ppm vertę, ventiliatorius sumažinęs apsūkas išsijungia. Ventiliatoriaus tipas parenkamas, pagal vėdinimo sistemos kamerą. Dažniausiai naudojami išcentriniai ventiliatoriai. Siekiant padidinti sistemos efektyvumą naudojami mažai elektros vartojantys ventiliatoriai.



8. Oro kiekio DCV sistemoje skaičiavimas

Nustatome, koks oro kiekis reikalingas tiekti į patalpą naudojant DCV sistemą, skaičiavimai pateikti 2 lentelėje.

2. lentelė. Atitinkamo oro kiekio trukmė

Valandos	Minutės	Oro kiekis, m ³ /h	Viso minučių trukmė
6	20	0	380
1	45	178,43	105
5	0	356,86	300
2	10	178,43	130
15	20	0	920
0	55	76,47	55
3	35	101,96	215
0	55	76,47	55
3	25	101,96	205
15	20	0	920
3	35	101,96	215
1	15	229,41	75
3	30	101,96	210
14	45	0	885
2	10	101,96	130
0	30	127,45	30
0	55	101,96	55
0	45	127,45	45
0	50	76,47	50
3	30	101,96	210
2	30	0	150
0	30	25,49	30
11	35	0	695
1	55	178,43	115
1	15	280,39	75
15	45	0	945
		Suma:	7200
Iš jų per ventiliatoriaus veikimo laikotarpį			2685

Apskaičiuojame vidutinį reikiamo tiekti oro kiekį į patalpą per nagrinėjamą laikotarpį:

$$V_{DCV} = \frac{0 \cdot 380 + 178,43 \cdot 105 + 356,86 \cdot 300 + 178,43 \cdot 130 + 0 \cdot 920 + 76,47 \cdot 55 + 101,96 \cdot 215 + 76,47 \cdot 55 + 101,96 \cdot 205 + 0 \cdot 920 + 101,96 \cdot 215 + 229,41 \cdot 75 + 101,96 \cdot 210 + 0 \cdot 885 + 101,96 \cdot 130 + 127,45 \cdot 30 + 101,96 \cdot 55 + 127,45 \cdot 45 + 76,47 \cdot 50 + 101,96 \cdot 210 + 0 \cdot 150 + 25,49 \cdot 30 + 0 \cdot 695 + 178,43 \cdot 115 + 280,39 \cdot 75 + 0 \cdot 945}{2685} =$$

$$= \frac{356732,6}{2685} = 132,86(m^3/h)$$

Naudojant DCV sistemą į patalpas reiktų tiekti vidutiniškai $V_{DCV}=132,86 \text{ m}^3/\text{h}$ lauko oro.

8. CAV ir DCV vėdinimo sistemų energijos poreikių skaičiavimas

8.1 CAV sistemos sunaudotos elektros energijos palyginimas su galimu naudojant DCV sistemą matavimų periodo metu.

Naudojant CAV sistemą į patalpas tiekiamo oro kiekis yra pastovus nuo pirmadienio iki penktadienio t.y. 200 m³/h. Ventiliatoriaus sukuriamas slėgis nežinomas, todėl priimame, kad jis yra 500 Pa. Apskaičiuojama ventiliatoriaus naudojama elektros galia:

Ventiliatoriaus elektros variklio naudojama galia:

$$N = \frac{L \cdot p}{3.6 \cdot 10^6 \cdot \eta_p \cdot \eta_v} (kW) \quad (3)$$

Čia: L - oro kiekis, (m³/h)

p – ventiliatoriaus sukuriamas slėgis $\approx$ sistemos bendras pasipriešinimas, (Pa)

η_p – pavaros naudingumo koeficientas, (Priimame $\sim 0,9$)

η_v – ventiliatoriaus naudingumo koeficientas, (Priimame $\sim 0,7$)

Įsistatę į 3 formulę gauname, kad:

$$N_{CAV} = \frac{200 \cdot 500}{3.6 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,7} = 0,044 (kW) = 44 (W)$$

Elektros poreikis skaičiuotinam laikotarpiui:

$$W = N \cdot t_{vent} \cdot n_{vent}, (kWh) \quad (4)$$

Čia: t_{vent} – ventiliatoriaus darbo trukmė, paromis, (5 paros);

n_{vent} – ventiliatoriaus darbo val. per parą, (24 val.).

Įsistatę į formulę gauname, kad:

$$W = 0,044 \cdot 5 \cdot 24 = 5,29 (kWh)$$

Gavome, kad naudojant CAV sistemą matavimo periodo metu ventiliatorius sunaudos 5,29 kWh elektros energijos.

Jeigu ventiliatoriaus darbo režimas ištisus metus yra pastovus tai jis dirbs 52 savaites.

Per metus sunaudojamas elektros energijos poreikis:

$$W_{met} = 5,29 \cdot 52 = 275,08 (kWh)$$

Naudojant DCV sistemą į patalpas tiekiamo oro kiekis yra nepastovus nuo pirmadienio iki penktadienio t.y. vidutinė jo vertė yra 132,86 m³/h. Ventiliatoriaus sukuriamas slėgis nežinomas, todėl priimame, kad jis yra 500 Pa. Apskaičiuojama ventiliatoriaus naudojamą elektros galia:

Ventiliatoriaus elektros variklio naudojama galia:

$$N = \frac{L \cdot p}{3.6 \cdot 10^6 \cdot \eta_p \cdot \eta_v} (kW)$$

Čia: L - oro kiekis, (m³/h)

p – ventiliatoriaus sukuriamas slėgis $\approx$ sistemos bendras pasipriešinimas, (Pa)

η_p – pavaros naudingumo koeficientas, (Priimame 0,9)

η_v – ventiliatoriaus naudingumo koeficientas, (Priimame 0,7)

Įsistatę į formulę gauname, kad:

$$N_{DCV} = \frac{132,86 \cdot 500}{3.6 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \cdot 0,7} = 0,029 (kW) = 29 (W)$$

Elektros poreikis skaičiuotinam laikotarpiui:

$$W_{DCV} = N \cdot t_{vent}, (kWh)$$

Čia, t_{vent} – ventiliatoriaus darbo trukmė per 5 darbo dienas, valandomis (44 valandos 45 minutės = 44,75 valandos)

Įsistatę į formulę gauname, kad:

$$W_{DCV} = 0,029 \cdot 44,75 = 1,30 (kWh)$$

Naudojant DCV sistemą matavimo periodo metu ventiliatorius sunaudos 1,30 kWh elektros energijos.

Jeigu ventiliatoriaus darbo režimas ištisus metus yra pastovus tai jis dirbs 52 savaites.

Per metus sunaudojamas elektros energijos poreikis:

$$W_{DCV,met} = 1,30 \cdot 52 = 67,48 (kWh)$$

8.2 CAV sistemos sunaudotos šilumos energijos palyginimas su galimu naudojant DCV sistemą matavimų periodo metu.

Patalpos projektiniai savitieji vėdinimo šilumos nuostoliai H_v , W/K, skaičiuojami:

$$H_v = \Sigma H_{ev} + \Sigma H_{in} + \Sigma H_{nv} + \Sigma H_{de}, \quad (5)$$

čia: H_{ev} – projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl priverstinės vėdinimo sistemos veikimo, nustatomi pagal (10) formulę, W/K;

H_{in} – projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl išorės oro infiltracijos, nustatomi pagal (11) formulę, W/K;

H_{nv} – projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl natūralaus vėdinimo sistemos veikimo, W/K;

H_{de} – projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl išorinių durų varstymo, nustatomi pagal (14) formulę, W/K.

H_{nv} ir H_{de} skaičiavimuose nevertinsime, nes natūralaus vėdinimo ir išorinių durų nagrinėjamoje patalpoje nėra.

Patalpos, kurioje įrengta priverstinė vėdinimo sistema, projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl vėdinimo H_{ev} , W/K, nustatomi:

$$H_{ev} = c \cdot \rho_i \cdot L_{ev} \cdot (1 - \eta_{hr}), \quad (6)$$

čia:

c – savitoji oro šiluma, $c = 0,279 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

ρ_i – patalpos oro tankis, $\rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$; tada $c \cdot \rho_i = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$;

L_{ev} – projektinis tiekiamo į patalpą oro debitas, m^3/h ;

η_{hr} – šilumos grąžos įrenginio naudingumo koeficientas (0,56).

Patalpos projektiniai savitieji šilumos nuostoliai dėl išorės oro infiltracijos H_{in} , W/K, nustatomi:

$$H_{in} = c \cdot \rho_i \cdot L_{in}, \quad (7)$$

L_{in} – infiltruojamo oro debitas, (m^3/h) , nustatomas pagal formulę:

$$L_{in} = n_{in} \cdot A_p \cdot h \cdot \Delta k_c \cdot (1 + \Delta k_b) \cdot (1 + k_g), \quad (8)$$

čia: n_{in} – oro apykaita dėl infiltracijos, kartais/h.

A_p – patalpos plotas, m^2 ;

h – patalpos aukštis, m;

Δk_c – pataisa, įvertinanti infiltracijos padidėjimą kampinėse patalpose. Jei kampinėje patalpoje langai skirtingose sienose – $\Delta k_c = 1,2$, jei vienoje – $\Delta k_c = 1,1$, jei langų nėra – $\Delta k_c = 1,0$;

Δk_b – pataisa, įvertinanti vėdinimo sistemos rūšį [1] 5.2 lentelę, priimu, kad subalansuota ištraukiamoji ir tiekiamoji sistema $\Delta k_b = -0,1$;

k_g – pataisa, įvertinanti patalpos padėtį pastate, apskaičiuojama pagal formulę:

$$k_g = \left| \frac{N}{2} - N_i + 1 \right| \cdot 0,005 / \sqrt{N}, \quad (9)$$

čia: N – aukštų skaičius;

N_i – aukštas, kuriame yra patalpa.

Apskaičiuojami šilumos nuostoliai dėl vėdinimo esant **CAV** sistemai ir pateikiami 3 lentelėje:

3 lentelė. Vėdinimo savitieji šilumos nuostoliai esant CAV sistemai.

Patalpos numeris	$A_{p,2}$ m^2	h , m	Δk_c	Δk_b	k_g	n_{in} , h^{-1}	η_{hr} , h^{-1}	L_{in} , m^3/h	L_{ev} , m^3/h	H_{in} , W/K	H_{ev} , W/K	H_v , W/K
Nagrinėjama patalpa Eigulių g. 7, Vilnius, II aukštas												
Patalpa	37,20	2,85	1	-0,1	0,0000	0,2	0,59	19,08	200	6,39	27,45	33,84

Apskaičiuojami šilumos nuostoliai dėl vėdinimo esant **DCV** sistemai ir pateikiami 4 lentelėje:

4 lentelė. Vėdinimo savitieji šilumos nuostoliai esant VAV sistemai.

Patalpos numeris	$A_{p,2}$ m^2	h , m	Δk_c	Δk_b	k_g	n_{in} , h^{-1}	η_{hr} , h^{-1}	L_{in} , m^3/h	L_{ev} , m^3/h	H_{in} , W/K	H_{ev} , W/K	H_v , W/K
Nagrinėjama patalpa Eigulių g. 7, Vilnius, II aukštas												
Patalpa	37,20	2,85	1	-0,1	0,0000	0,2	0,59	19,08	132,86	6,39	18,24	24,63

Mėnesio šilumos poreikis patalpos projektiniams šilumos nuostoliams dėl vėdinimo padengti Q_v , kWh, nustatomas:

$$Q_v = Q_{ev} + Q_{in} + Q_{nv} + Q_{de}, \quad (10)$$

čia: Q_{ev} – projektinis šilumos poreikis dėl priverstinės vėdinimo sistemos veikimo, kWh;

Q_{in} – projektinis šilumos poreikis dėl išorės oro infiltracijos, kWh;

Q_{nv} – projektinis šilumos poreikis dėl natūralaus vėdinimo sistemos veikimo, kWh.

Šiame pastate natūralus vėdinimas neprojektuojamas, todėl šilumos poreikis dėl natūralaus vėdinimo nevertinamas;

Q_{de} – projektinis šilumos poreikis dėl išorinių durų varstymo, kWh. Išorinių durų nėra, todėl Q_{de} nevertinamas.

Projektinis šilumos poreikis dėl priverstinės vėdinimo sistemos veikimo Q_{ev} , kWh:

$$Q_{ev} = H_{ev} \cdot (\theta_{tiek} - \theta_{em}) \cdot 24 \cdot t_{wv} \cdot t \cdot 10^{-3} / 168, \quad (11)$$

čia: H_{ev} – savitieji šilumos nuostoliai dėl priverstinės vėdinimo sistemos veikimo, nustatomi pagal (10) formulę;

θ_{em} – vidutinė mėnesio išorės temperatūra, °C;

θ_{tiek} – tiekiamo oro į patalpas temperatūra, °C;

t_{wv} – vėdinimo sistemos savaitinė veikimo trukmė, h;

t – šildymo trukmė per mėnesį, paromis.

Projektinis šilumos poreikis dėl išorės oro infiltracijos Q_{in} , kWh, nustatomas:

$$Q_{in} = H_{in} \cdot (\theta_i - \theta_{em}) \cdot 24 \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

čia: H_{in} – savitieji šilumos nuostoliai dėl išorės oro infiltracijos;

θ_{em} – vidutinė mėnesio išorės temperatūra, °C;

t – šildymo trukmė per mėnesį, paromis;

Apskaičiuojamas reikalingas šilumos kiekis nuostoliams dėl vėdinimo padengti, naudojant CAV sistemą:

5 lentelė. Vėdinimo šilumos poreikis esant CAV sistemai šildymo periodo metu.

Mėnesiai	θ_i , °C	θ_{em} , °C	H_{ev} , W	H_{in} , W	t , dienos	t_{wv} , h	Q_{ev} , kWh	Q_{in} , kWh	Q_v , kWh
Sausis	21,0	-5,5	27,45	6,39	31	120	387	126	513
Vasaris	21,0	-4,5	27,45	6,39	28	120	336	109	445
Kovas	21,0	-0,1	27,45	6,39	31	120	308	100	408
Balandis	21,0	6,4	27,45	6,39	30	120	206	67	273
Gegužė	21,0	13,3	27,45	6,39	3	120	11	4	14
Rugsėjis	21,0	12,3	27,45	6,39	10	120	41	13	54
Spalis	21,0	7,2	27,45	6,39	31	120	201	66	267
Lapkritis	21,0	1,9	27,45	6,39	30	120	270	88	358
Gruodis	21,0	-2,2	27,45	6,39	31	120	338	110	449
							2098kWh	684kWh	2781kWh

Pastaba: CAV vėdinimo sistema veikia visą laiką darbo dienomis, o savaitgaliais yra išjungiamą. Todėl t_{wv} priimame $5 \cdot 24 = 120$ valandų. Patalpoje visą laiką palaikoma 21 °C oro temperatūra. Suminis šilumos poreikis Q_v gaunamas sudėjus šilumos poreikį dėl infiltracijos Q_{in} ir dėl mechaninio vėdinimo Q_{ev} . Vidutinė išorės lauko temperatūra skirtingam mėnesiui imama iš RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“. Žin., 1994, Nr. 24-394.

Apskaičiavę gavome, kad šildymo periodo metu, nagrinėjamai patalpai, šilumos energijos poreikis mechaninio vėdinimo sistemai yra 2098 kWh. Šilumos poreikis dėl išorės oro infiltracijos 684 kWh. Suminis šilumos energijos poreikis vėdinimui yra **2781 kWh**.

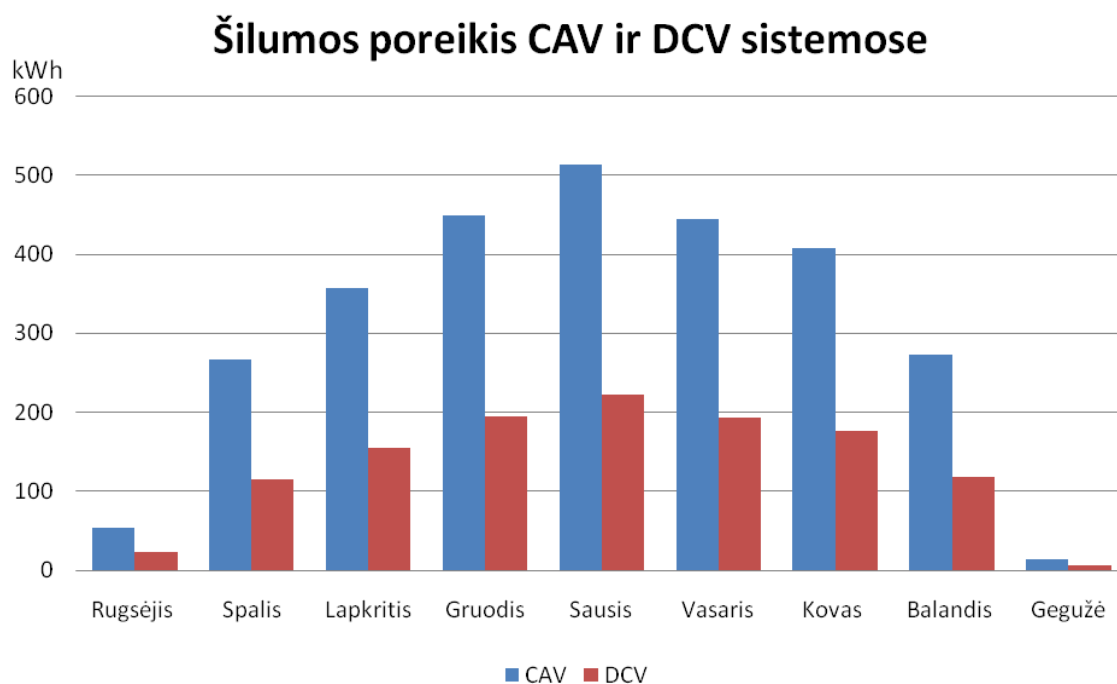
Apskaičiuojamas reikalingas šilumos kiekis nuostoliams dėl vėdinimo padengti, naudojant DCV sistemą:

6 lentelė. Vėdinimo šilumos poreikis esant DCV sistemai šildymo periodo metu.

Mėnesiai	θ_i , °C	θ_{em} , °C	H_{ev} , W	H_{in} , W	t, dienos	t_{wv} , h	Q_{ev} , kWh	Q_{in} , kWh	Q_v , kWh
Sausis	21,0	-5,5	18,24	6,39	31	44,75	96	126	222
Vasaris	21,0	-4,5	18,24	6,39	28	44,75	83	109	193
Kovas	21,0	-0,1	18,24	6,39	31	44,75	76	100	177
Balandis	21,0	6,4	18,24	6,39	30	44,75	51	67	118
Gegužė	21,0	13,3	18,24	6,39	3	44,75	3	4	6
Rugsėjis	21,0	12,3	18,24	6,39	10	44,75	10	13	23
Spalis	21,0	7,2	18,24	6,39	31	44,75	50	66	115
Lapkritis	21,0	1,9	18,24	6,39	30	44,75	67	88	155
Gruodis	21,0	-2,2	18,24	6,39	31	44,75	84	110	194
							520kWh	684kWh	1203kWh

Pastaba: DCV vėdinimo sistema veikia priklausomai nuo patalpos CO₂ koncentracijos. Todėl t_{wv} priimame 44,75 valandos per savaitę. Patalpoje visą laiką palaikoma 21 °C oro temperatūra. Suminis šilumos poreikis Q_v gaunamas sudėjus šilumos poreikį dėl infiltracijos Q_{in} ir dėl mechaninio vėdinimo Q_{ev} . Vidutinė išorės lauko temperatūra skirtingam mėnesiui imama iš RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“. Žin., 1994, Nr. 24-394.

Kintamojo oro tūrio ir pastoviojo oro tūrio vėdinimo sistemos sunaudojamas šilumos kiekis per šildymo sezoną pateikiamas 21 paveiksle.



21 pav. Šilumos poreikis „DCV“ sistemoje ir pastoviojo oro tūrio „CAV“ sistemoje

Apskaičiavę gavome, kad šildymo periodo metu, nagrinėjamai patalpai, šilumos energijos poreikis mechaninio vėdinimo sistemai yra 520 kWh. Šilumos poreikis dėl išorės oro infiltracijos 684 kWh. Suminis šilumos energijos poreikis vėdinimui yra **1203 kWh**.

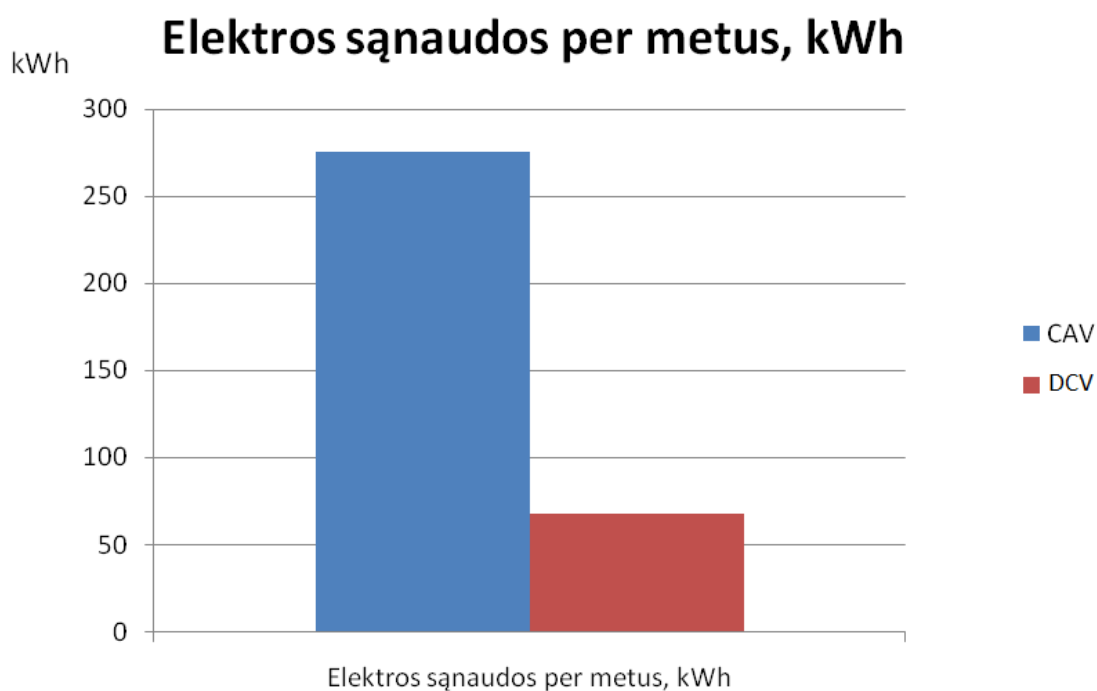
8.3 Energijos ir išlaidų sutaupymas naudojant DCV sistemą

Atlikus analizę ir skaičiavimus CAV ir DCV sistemų naudojimo metu nagrinėjamoje patalpoje nustatyti elektros ir šilumos energijos kiekiai. Rezultatams įtaką turėjo sistemos darbo trukmė, skirtingi oro kiekiai. Galutiniai rezultatai pateikiami 6 lentelėje.

7 lentelė. Elektros ir šilumos energijos kiekių palyginimas

Sistemos rūšis	Elektros sąnaudos per metus, kWh	Šilumos sąnaudos per šildymo laikotarpį, kWh
CAV	275,08	2781
DCV	67,48	1203

Pastaba: Elektros sąnaudos atspindi tik tiekiamo oro ventiliatoriaus variklio sunaudojamą elektros energiją. Viso įrenginio sunaudojama elektros energijos galia susideda iš tiekiamo ventiliatoriaus variklio, ištraukiamo ventiliatoriaus variklio, valdymo skydo, rekuperatoriaus (rotacinio) sukimo variklio. 6 lentelėje pateikiamas tik tiekiamo ventiliatoriaus elektros sąnaudos kaip pavyzdys kokie galimi sutaupymai naudojant DCV sistemą.



22 pav. Elektros suvartojimo skirtingose sistemose palyginimas

8.4 Patalpos palyginamųjų dydžių skaičiavimai

Pateikiami skaičiavimų metu gauti patalpos palyginamieji dydžiai:

Naudojant CAV sistemą elektros sąnaudos vėdinimui per metus vienam m^2 .

$$E_{CAV} = \frac{275,08}{37,2} = 7,39 kWh/m^2$$

Naudojant DCV sistemą elektros sąnaudos vėdinimui per metus vienam m^2 .

$$E_{DCV} = \frac{67,48}{37,2} = 1,81 kWh/m^2$$

Naudojant CAV sistemą šilumos sąnaudos vėdinimui per metus vienam m^2 .

$$Q_{CAV} = \frac{2781}{37,2} = 74,75 kWh/m^2$$

Naudojant DCV sistemą šilumos sąnaudos vėdinimui per metus vienam m^2 .

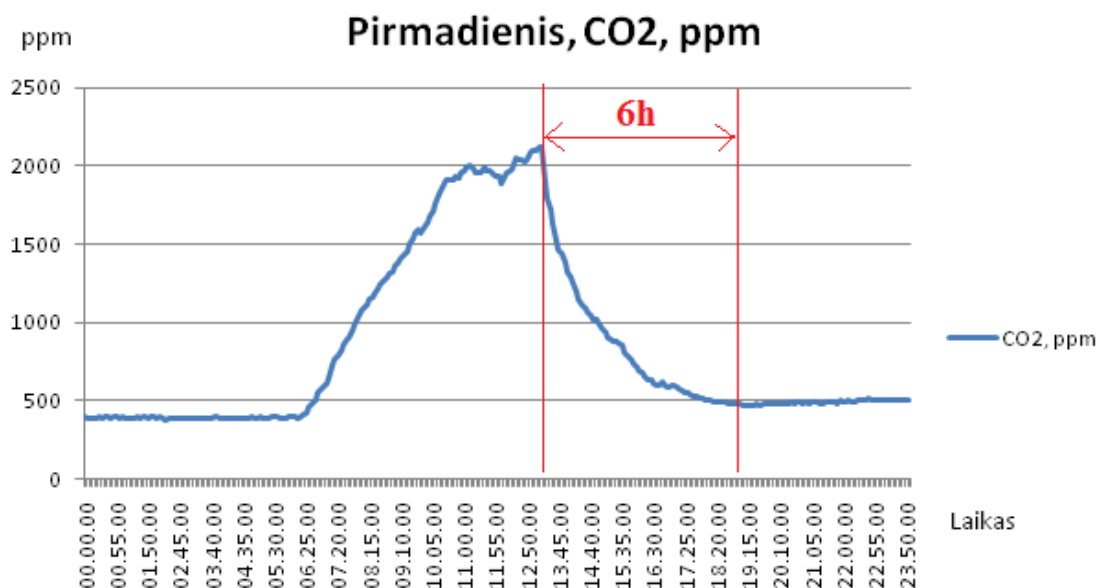
$$Q_{DCV} = \frac{1203}{37,2} = 32,34 kWh/m^2$$

Kaip matome elektros sąnaudos vėdinimui per metus naudojant DCV sistemą su CO₂ jutikliais yra ~4 kartus mažesnės lyginant su CAV pastoviojo oro tūrio sistema.

Šilumos kiekis reikalingas vėdinimui per šildymo sezono laikotarpį nagrinėjamoje patalpoje yra ~2,3 karto mažesnis.

9. Oro kaitos kartotinumumo nustatymas patalpoje

Detaliau pažvelgus į 2011 metų spalio 24 dienos grafiką matome, kad nuo 13:00 teršalų koncentracija tolygiai mažėja ir 19:00 nusistovi beveik lygiai išorės lauko CO₂ koncentracijai.



23 pav. CO₂ koncentracijos kitimas laike patalpoje

Pagal eksperimento metu gautą grafiką galime nustatyti kokia buvo oro kaita patalpoje nagrinėjamo laiko momentu t.y. per 6 valandas. Užrašoma teršalų koncentracijos kitimo lygtis per laiką τ :

$$n = \frac{(\ln(C_p - C_e) - \ln(C_g - C_e)) \cdot 3600}{t} \quad (13)$$

čia: C_p – pradinė teršalų koncentracija tam tikru laiko momentu, $C = 2100$ ppm;

C_e – lauko teršalų koncentracija, $C_e = 400$ ppm;

C_g – teršalų koncentracija galiniu laiko momentu, $C_o = 500$ ppm;

τ – laikas, $\tau = 6$ h = 21600 s;

n – oro kaita patalpoje, kartais, h^{-1} .

Įsistatę į formulę gauname:

$$n = \frac{(\ln(2100 - 400) - \ln(500 - 400)) \cdot 3600}{21600} = \frac{(7,438 - 4,605) \cdot 3600}{21600} = 0,47 h^{-1}$$

Gauta patalpoje oro kaita yra lygi apie 0,5 karto per valandą.

10. DCV sistemos įrengimo kaštų skaičiavimas

Energijos poreikį kontroliuojančią vėdinimo sistemą galima įrengti ir jau esamose senose pastoviojo oro tūrio sistemose, taip pagerinant patalpos mikroklimatą bei sutaupant eksploatacijos išlaidas. Jeigu vėdinimo sistemos agregatas aptarnauja vieną didelę patalpą, tokiu atveju sistemos patobulinimas būtų paprastesnis ir pigesnis. Jei vėdinimo įrenginys aptarnauja daug ir įvairios paskirties patalpų, tokiu atveju sistemos patobulinimo darbai taptų brangesni ir labiau komplikuoti. Mūsų nagrinėjamo atveju turimoje patalpoje reikėtų įrengti CO₂ jutiklį, oro srautą reguliuojančią sklendę su pavara bei valdymo mechanizmu, taip pat pagrindinį CO₂ valdymo kontrolerį.

8 lentelė. Pagrindiniai DCV sistemos elementai

Elementas	Aprašymas	Kaina, Lt be PVM
	Oro srautą reguliuojanti sklendė su elektrine pavara bei valdymo mechanizmu.	954,89

	Sieninis CO ₂ jutiklis su ekranu, rodančiu koncentraciją nuo 0 iki 3000 ppm.	467,77
	Pagrindinis valdiklis, priimantis ir apdorojantis signalus su reguliavimo galimybe.	1328,78
	Dažnio keitiklis. Jeigu sistemoje yra sumontuotas dažnio keitiklis, tai papildomas jau nebereikalingas. Dažnio keitiklis parenkamas pagal ventiliatoriaus variklio galią.	300,90

Apskaičiuojama bendra nagrinėjamos patalpos įrangos kaina (priimame, kad dažnio keitiklis yra jau sumontuotas esamoje pastoviojo oro tūrio sistemoje):

$$M = 954,89 + 467,77 + 1328,78 = 2751,44 \text{ Lt}$$

Viso už vienai patalpai reikalingą įrangą reikėtų sumokėti 2751,44 Lt be PVM. Atitinkamai dar būtų reikalingi kabeliai, bei kiti tvirtinimo elementai, kurių kaina sudarytų apie 200-300 Lt. Tad galime teigti, kad visos medžiagos bei įrangą kainuos apie 3051,44 Lt be PVM. Papildomą išlaidų sumą dar sudarys montavimo darbai, kurie gali siekti apie 40 % medžiagų vertės. Tokiu atveju montavimo darbų kaina bus apie 1220,58 Lt be PVM.

Gauti duomenys pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė. DCV sistemos įrengimo kainos

Pavadinimas	Kaina, Lt be PVM
Įranga	3051,44
Medžiagos	300,00
Montavimo darbai	1220,58
Viso:	4572,02

Viso už energijos poreikį kontroliuojančios vėdinimo sistemos įdiegimą į esamą seną pastoviojo oro tūrio sistemą reikės sumokėti 4572,02 Lt be PVM.

10.1 Atsipirkimo laiko skaičiavimas

Atliktų tyrimų bei skaičiavimų metu gauta, kad naudojant DCV sistemą su CO₂ jutikliais vietoje pastoviojo oro tūrio vėdinimo sistemos galimi šilumos ir elektros energijos sutaupymai.

Per metus sutaupomas elektros energijos kiekis yra 207,6 kWh. Tai yra tik tiekiamo ventiliatoriaus elektros sutaupymai. Skaičiuojant suminį elektros energijos sutaupymą reikia pridėti ir ištraukiamo ventiliatoriaus suvartojamą elektros energijos kiekį (dar + 207,6 kWh) ir vėdinimo kameros valdymo skydo bei elektrinių pavarų naudojamą energiją (priimame 300 kWh). Viso gauname, kad naudojant DCV sistemą per metus sutaupome 715,20 kWh elektros energijos. Elektros energijos kainą priimame 0,386 Lt, tokiu atveju per metus sutaupome apie 276,07 Lt.

Šilumos energijos sutaupymai per šildymo sezoną bus lygūs 1578,0 kWh. 1 kWh šilumos kaina Vilniuje yra 27,20 cnt. Tada šilumos kainos sutaupymai bus lygūs 429,22 Lt be PVM.

10.1.1 Paprasto atsipirkimo laiko skaičiavimas

10 lentelė. Paprastas atsipirkimo laikas

Metai	Išlaidos ir pajamos, Lt	Išlaidos ir pajamos augančia tvarka
0	-4572,02	-4572,02
1	705,29	-3866,73
2	705,29	-3161,44
3	705,29	-2456,15
4	705,29	-1750,86
5	705,29	-1045,57
6	705,29	-340,28
7	705,29	365,01
8	705,29	1070,30

Pastaba: Suminiai sutaupymai per metus gauti sudėjus elektros ir šilumos sutaupymus, viso gauta suma 705,29 Lt be PVM.



24 pav. Paprastas atsipirkimo laikas

Paprastas atsipirkimo laikas sudarys $(6 + (340,28 / 705,29) \cdot 12) = 6$ metus ir 6 mėnesius

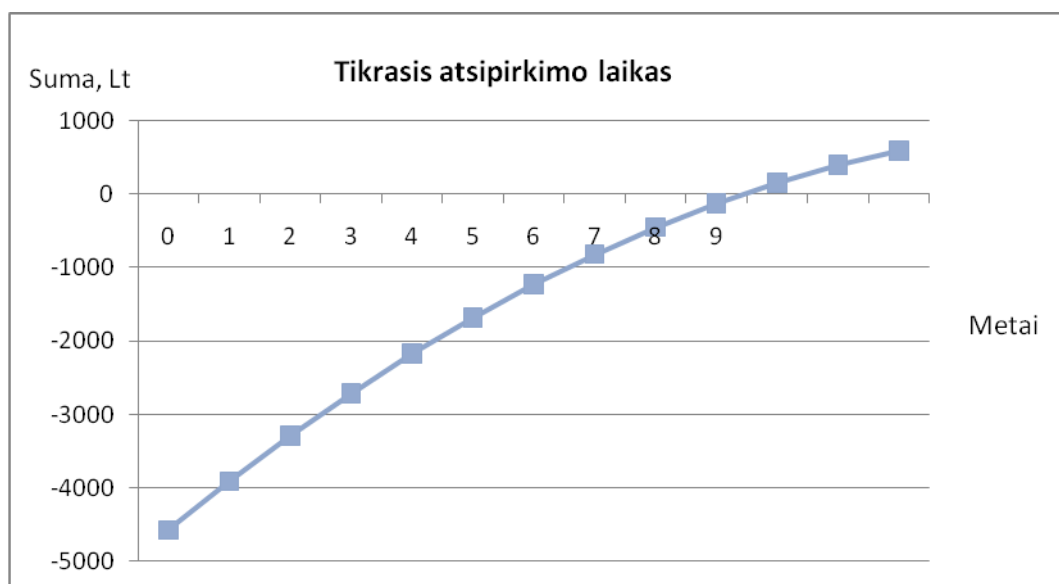
10.1.2 Tikrojo atsipirkimo laiko skaičiavimas

Tikrasis atsipirkimo laikas įvertina investicijų atsipirkimą įskaitant ir diskontavimo koeficientą. Mūsų skaičiavimuose priimame, kad diskonto norma yra lygi 6 %. Skaičiavimai pateikiami 11 lentelėje.

11 lentelė. Tikrasis atsipirkimo laikas

Metai	Išlaidos ir pajamos tūkst. Lt.	Išlaidos ir pajamos augančia tvarka	Diskontavimo koeficientas, k=6%	grynoji esamoji vertė	Išlaidos ir pajamos augančia tvarka
0	-4572,02	-4572,02	1,00	4572,02	-4572,02
1	705,29	-3866,73	0,94	662,97	-3909,05
2	705,29	-3161,44	0,88	620,66	-3288,39
3	705,29	-2456,15	0,82	578,34	-2710,05
4	705,29	-1750,86	0,76	536,02	-2174,03
5	705,29	-1045,57	0,70	493,70	-1680,33
6	705,29	-340,28	0,64	451,39	-1228,95
7	705,29	365,01	0,58	409,07	-819,88
8	705,29	1070,30	0,52	366,75	-453,13
9	705,29	1775,59	0,46	324,43	-128,69
10	705,29	2480,88	0,40	282,12	153,42
11	705,29	3186,17	0,34	239,80	393,22
12	705,29	3891,46	0,28	197,48	590,70

Gauti rezultatai pateikiami grafine išraiška, kuri parodyta 25 paveiksle.

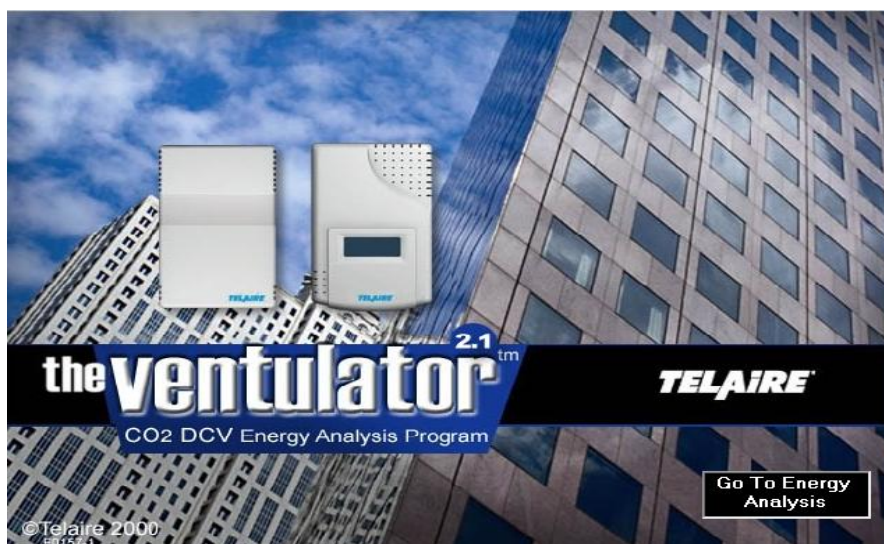


25 pav. Tikrasis atsipirkimo laikas

Tikrasis atsipirkimo laikas sudarys $(9 + (128,69/282,12) \cdot 12) = 9$ metus ir 5 mėnesius

11. „Telaire“ CO₂ DCV sistemos energijos analizės programa

DCV sistemų išlaidų sutaupymams apskaičiuoti yra naudojama keleta programų, tokių kaip „Carrier HAP 4.51“, „Honeywell DCV energy saving estimator“ bei „Telaire The Ventulator“. Šiame darbe detaliau apžvelgti „Telaire“ gamintojo „The Ventulator“ energijos analizės programos ypatumai bei skaičiavimo metodika. Šioje programoje galima nurodyti patalpą pagal paskirtį, jos užimtumą, tiekiamo oro parametrus atitinkamai pagal patalpoje esantį žmonių kiekį. Taip pat pasirenkamas vėdinimo sistemos kalorifero šildymo būdas, elektra, ar dujos ir gauti elektros bei šilumos sutaupymus. Kalbant apie energijos sutaupymus, tai jie yra daug didesni apie 60% ten, kur patalpos yra rečiau naudojamos, bei skirtos dideliui kiekiui žmonių (pvz., auditorijos, ofisai). Naujos statybos pastatuose, gali būti papildomų teršalų šaltinių, nemalonių kvapų. Pavyzdžiui nauji baldai, kilimai, dažai, biuro įranga, ar kiti komercinės veiklos procesai gali prisidėti prie nemalonaus kvapo pasklidimo patalpoje. Sumontuotiems patalpos jutikliams bus sunku aptikti tokius kvapus, todėl tokiais atvejais žmogui manant, kad vėdinimo sistema turėtų veikti, ji gali neveikti. Būtent, kad išspręsti tokią problemą patalpose siūlome įrengti valdymo pultą, kuriame būtų rodomi patalpos parametrai bei esant poreikiui galima būtų patalpoje esančiam žmogui pačiam reguliuoti vėdinimo sistemos darbo režimą. Tokiu būdu užtikrinant komfortines sąlygas automatiniu – rankiniu valdymo būdu. Skaičiuojant Tiekiamo oro kiekį į patalpą labai svarbus ordiklis yra vidaus patalpos ir lauko CO₂ koncentracijos skirtumas. Nes pagal jį yra nustatoma kiek oro reikia tiekti į patalpą m³/h.



26 pav. TELAIRE „The Ventulator“ CO₂ analizės programa

11.1 „Telaire“ programos skaičiavimas

Visų pirmą norint gauti galutinius rezultatus reikia suvesti įvesties duomenis. Pradžioje atsidarius programos langą spaudžiame dešinėje apačioje esantį mygtuką „Go to Energy Analysis“.

Programa skirstoma į tris pagrindines dalis:

- **Projekto aprašymas (angl. *project overview*);**
- **Energijos/klimato duomenys (angl. *energy/climate data*);**
- **Vėdinimo informacija (angl. *ventilation information*).**

Toliau detaliau pateikti kiekvienos dalies skaičiavimo ypatumai.

Projekto aprašymas (angl. *project overview*) atsidariusiame lange suvedame pagrindinius pradinius duomenis:

Projekto pavadinimas (angl. *project name*);

Projekto adresas (angl. *project address*);

Kliento vardas (angl. *client name*);

Kliento adresas (angl. *client address*);

Projekto aprašymas (angl. *project description*);

Analizės paruošėjas (angl. *analysis prepared by*).

Kiti duomenis nėra būtini bet juos taip pat galima įvesti.

Projekto aprašymo duomenys naudinga tada, kada yra analizuojami keli objektai. Taip pat kada skaičiavimo rezultatai siunčiami užsakovui ar kitam asmeniui.

Ventulator (TM): Inputs

File Units Options Help Register Software

C:\Users\Santjana\Documents\UAB Grinda.tpj

Project Overview Energy/Climate Data Ventilation Information

Project Name: VGTU Magistras

Project Address: Vilnius

Project City, State(Ctry), Zip:

Client Name: UAB "Grinda"

Client Address: Vilnius, Eigulių g. 7

Client City, State(Ctry), Zip:

Client Telephone:

Client Fax:

Client e-mail:

Analysis Prepared By: Eduardas Jermolajevs

Project Description/Notes: Eigulių g. 7, Vilnius, UAB "Grinda" administracinis pastatas

TELAIRE

27 pav. Projekto aprašymas (angl. *project overview*)

Atlikę pirmus žingsnius viršuje centre spaudžiame **<energy/climate data>** ir pereiname prie energijos bei vietovės klimato duomenų.

Energijos/klimato duomenys (angl. *energy/climate data*) šiame lange suvedami šie parametrai:

1. Vietovės duomenys (angl. *select location*) – kadangi programoje nėra Lietuvos miestų duomenų, tai pasirinktas artimiausias miestas bei šalis iš duotų galimų t.y. Prancūzija (angl. *France*) ir miestas Lyon (angl. *Lyon*).
2. Patalpos matmenys (angl. *define space*) – suvedamas patalpos plotas 37,2 m² bei aukštis 3m.
3. Patalpos užimtumo priklausomybė nuo ventiliacijos (angl. *occupancy/ventilation*) – šiuo atveju pasirenkame, kad patalpoje maksimaliai gali būti 15 žmonių ir esant tokiam žmonių skaičiui vėdinimo sistema dirbs maksimaliai 100%.
4. Šildymo ir aušinimo įrangos pasirinkimas (angl. *select heating and cooling equipment*) – pasirenkame, kad patalpa vėsinama bus su ant stogo esančios vėdinimo kameros freonine vėsinimo sekcija. O šildoma vandeniniu kaloriferiu.
5. Energijos kainos (angl. *energy costs*) – įvedame elektros kainą 0,386 Lt arba 0,15 \$/kWh.
6. Vidaus patalpos klimato apibūdinimas (angl. *indoor climate condition*) – pasirenkame šiltą ir sausą vidaus patalpos klimatą (angl. *warm and dry*).

Ventulator (TM): Inputs

File Units Options Help Register Software

C:\Users\Santjana\Documents\UAB Grinda.tpj

Project Overview

1. SELECT LOCATION

Select region
Europe

Then select state, province, or country
France

Then select city
Lyon

Altitude above sea level, meters
219

2. DEFINE CONDITIONED SPACE

Area, sq.m.
37

Height, m.
3

3. OCCUPANCY/VENTILATION

Design occupancy = 100 (%)

Enter Design Max Occupancy
100

Specify Occupancy

4. SELECT HEATING AND COOLING EQUIPMENT

HVAC Parameters

User-Defined Parameters

Use Stored List of Equipment

5. ENERGY COSTS

Electric (\$/kWh) .150

Gas (\$/kWh) .027

Oil (\$/lit.) .311

Steam (\$/1000kg) 26.45

Chilled Water (\$/kWh) .080

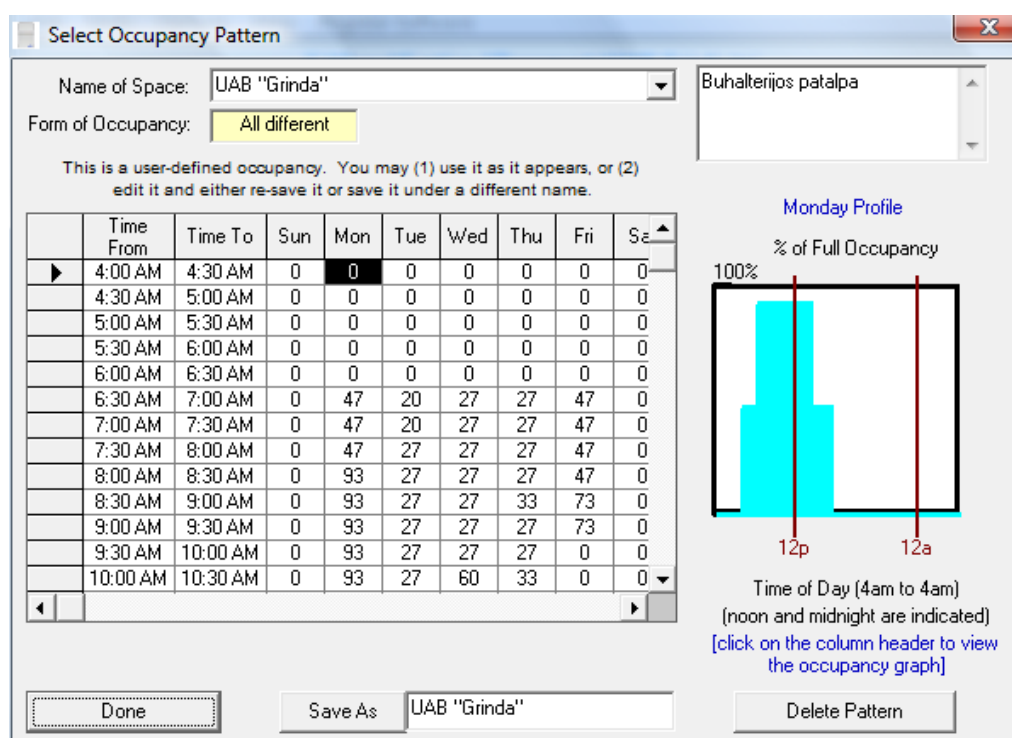
6. SELECT CLIMATE/INDOOR CONDITIONS

Select Climate

Warm and Dry

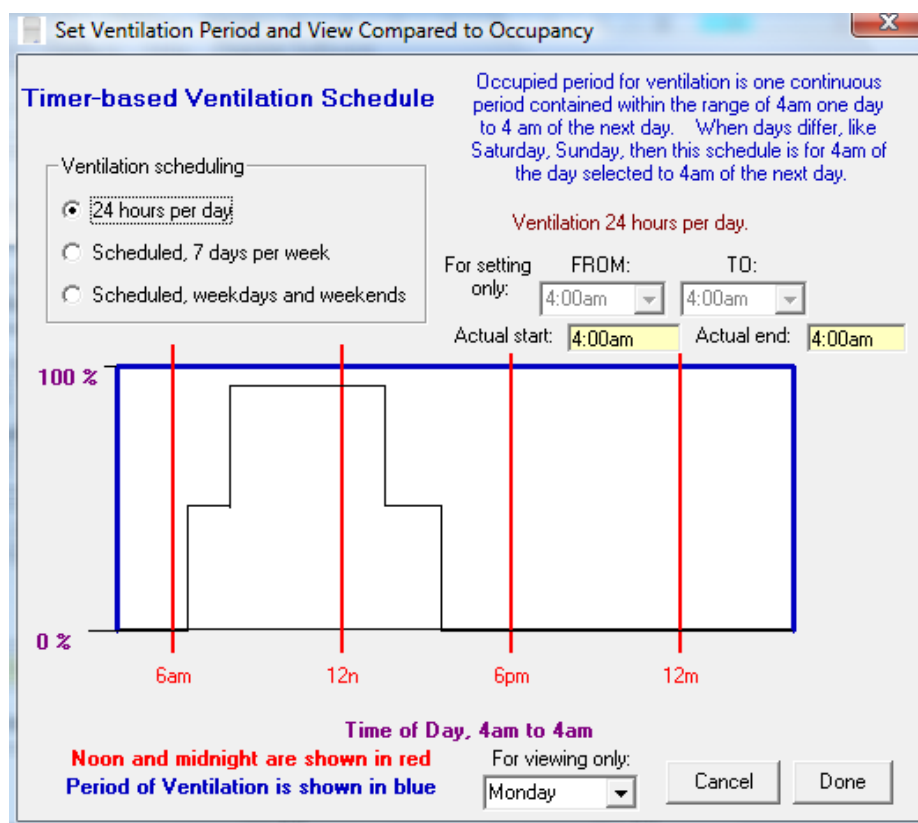
28 pav. Energijos/klimato duomenys (angl. *energy/climate data*)

Suvedus visus energijos ir klimato parametrus pasirenkame <Specify Occupancy> ir suvedame patalpos užimtumą % kiekvienai savaitės dienai atskirai. 100% patalpos užimtumo atitiks 15 žmonių skaičiaus. Žmonių kiekis suvedamas remiantis 1 lentelės duomenimis. Pirmadienio patalpos užimtumo grafikas pateiktas 29 paveiksle.



29 pav. Patalpos užimtumo grafiko nustatymas (angl. *occupancy pattern*)

Suvedę visos savaitės dienų užimtumą spaudžiame <Done> mygtuką ir pereiname prie kito lango <Timer-based Ventilation schedule>, kuris pateikiamas 30 paveiksle.



30 pav. Vėdinimo sistemos darbo laiko nustatymas (angl. *Timer-based Ventilation schedule*)

Šiame lange pasirenkame mechaninio vėdinimo sistemos darbo laiką. Jis reikalingas skaičiavimuose tam, kad būtų galima palyginti DCV ir CAV sistemų darbo laikus. Mūsų atveju parenkame, kad CAV vėdinimo sistema dirba visą laiką <25 hour per day>, nes toks parametras nustatymas buvo nagrinėjamame objekte. Ir spaudžiame <Done> klavišą.

Vėdinimo informacija (angl. ventilation information) šioje dalyje suvedami tiekiamo oro kiekiai, CO₂ informacija ir pereinama prie rezultatų pateikimo. Suvedami šie parametrai:

7. Ventiliacijos ribos (angl. *define ventilation*) – pasirenkamas tiekiamo oro kiekis vienam žmogui 15 cfm arba 25,5 m³/h.
8. Patikrinimas vėdinimo sistemos darbo laikas (angl. *revise ventilation*) – galime dar kartą patikrinti vėdinimo sistemos darbo laiką ir esant reikalui jį pakoreguoti.
9. CO₂ parametrai (angl. *define CO₂ parameters*) – nustatome lauko oro CO₂ koncentraciją. Pasirenkame 400ppm.

Suvedus šiuos duomenis galime spausti <Go To Results> ir pereiti prie rezultatų gavimo lango.

File Units Options Help Register Software

C:\Users\Santjana\Documents\UAB Grinda.tpj

Project Overview	Energy/Climate Data	Ventilation Information
7. DEFINE VENTILATION Target Per Person Ventilation Rate 15 cfm Design Occupancy 100 Ppl Design Ventilation 3100 cfm ?	8. REVISE VENTILATION SCHEDULE (if desired) Revise Ventilation Schedule ?	9. DEFINE CO2 PARAMETERS Assumed Outside CO2, ppm 400 Base Ventilation Rate as a % of Design Ventilation Rate (to control non-occupant sources) 30.0 % = 930 cfm ?
10. INDICATE TYPE OF CONTROL USED WITH DCV SCENARIO Type of Control ☒ Proportion Integral (PI) Control ?	11. REVIEW ASSUMPTIONS Review Summary of Inputs R Print Summary of Inputs P Save Input File S ?	12. GO TO ANALYSIS Start Go To Results Set Custom Footer Note

31 pav. Vėdinimo informacija (angl. *ventilation information*) darbo langas

Rezultatų gavimas. Programai atlikus skaičiavimus pateikiamas darbo langas, kuriame pasirenkami kokie rezultatai norimi pamatyti.

Select Results for Viewing

File Help

C:\Users\Santjana\Documents\UAB Grinda.tpj

1. VIEW SUMMARY REPORT OF ENERGY SAVINGS ☐ Include in Full Report View Summary Return to Inputs	2. VIEW FULL REPORT View and print full report containing individual reports that have been checked. View Full Report	3. VIEW MONTHLY ENERGY USAGE/SAVINGS ☐ Include in Full Report View Monthly Cost Comparisons
4. VIEW MODEL ASSUMPTIONS ☐ Include in Full Report View Supporting Information	5. ADDITIONAL APPLICATION, CODE, AND TECHNICAL INFORMATION View and print in Acrobat Reader. View Literature	Feature available in Expert Mode only.

32 pav. Rezultatų apžiūros (angl. *results for viewing*) darbo langas

Spaudžiame <View Summary> ir gauname pagrindinius rezultatus, kurie pateikiami 33 paveiksle.

Ventulator™ Energy Analysis Report
©Telaire 2001, 2003 www.telaire.com



Project Description

Project Name: VGTU Magistras
Project Address: Vilnius

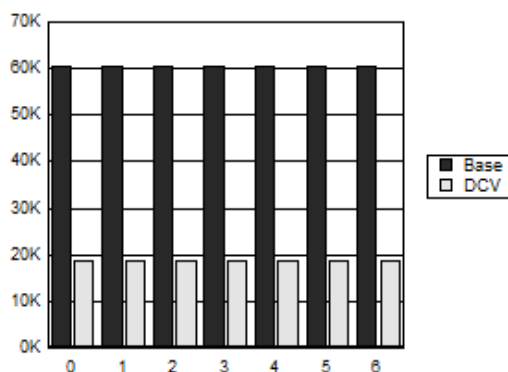
Client Name: UAB "Grinda
Client Address: Vilnius, Eigulių g. 7
Prepared by: Eduardas Jermolajevs

Description: Eigulių g. 7, Vilnius, UAB "Grinda" administracinis pastatas

Daily Total

Cubic Liters

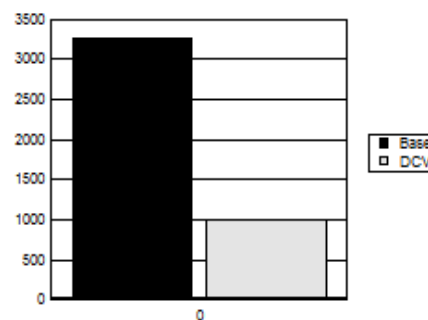
(Sunday = 0)



Cost Savings with DCV 2,267,34

Percent Savings: 69

Annual Cost (\$)



33 pav. Energijos sutaupymų grafikas (ištrauka iš „Ventulator“ programos)

Iš gautų grafikų matome, kad naudojant energijos poreikį kontroliuojančią vėdinimo sistemą vietoje pastoviojo oro tūrio vėdinimo sistemos, mes galime sutaupyti apie 69% išlaidų elektros ir šilumos energijai. Kairiame grafike pateikiami sutaupymai atskirai kiekvienai dienai. Kadangi vėdinimo sistema dirba visą laiką, tai ir sutaupymai skirtingomis dienomis bus vienodi.

Spustelėję <view supporting information> galime pamatyti visus įvesties duomenis, kurie buvo naudojami skaičiavimuose.

Paspaudę <View Monthly costs comparison> pamatysime galimus šilumos ir vėsinimo sutaupymus atskirai kiekvienam mėnesiui.

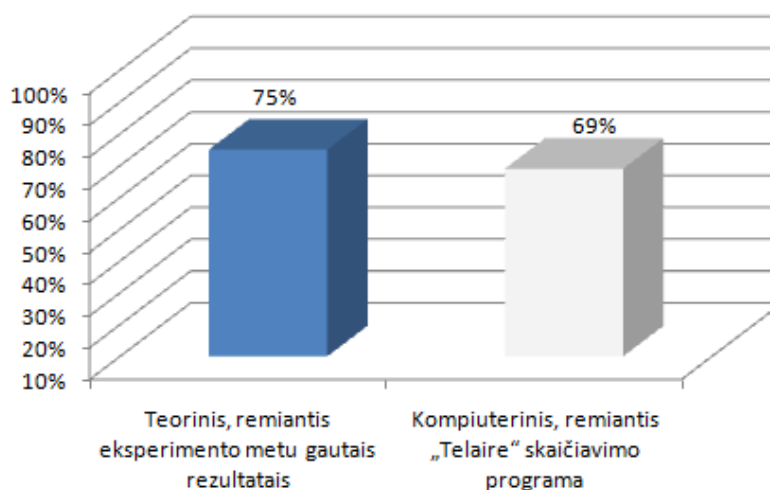
Norėdami pamatyti techninę literatūrą spaudžiame <view literature> ši funkcija galima tik tuo atveju jei programa yra užregistruota. Taip pat galimas programos modifikavimas už papildomus pinigus. Tokiu atveju atveriamos didesnės pasirinkimo galimybės ir gaunami dar tikslesni duomenys.

11.2 „Telaire“ CO₂ DCV sistemos energijos analizės programos gautų rezultatų palyginimas su gautais eksperimento būdu

Eksperimento būdu gauti duomenys buvo apdoroti ir atlikus skaičiavimus gauti elektros ir šilumos energijos kiekiai kWh reikalingi energijos poreikį kontroliuojančiai sistemai per metus. Naudojantis „Telaire“ CO₂ DCV sistemos energijos analizės programa buvo gauti elektros bei šilumos sąnaudų rezultatai. Šilumos sąnaudas negalime lyginti, kadangi skaičiuojant programa nebuvo galima pasirinkti karšto vandens šilumos kainos. O elektros kainą buvo galima įvesti todėl pagrindiniame skaičiavimų palyginime lyginsime tik elektros sąnaudas ir sutaupymus. Programa skaičiuoja pinigų sutaupymus %, o mūsų skaičiavimuose skaičiuojame kWh sutaupymus. Kadangi kWh tiesiogiai proporcingos piniginiam srautui tai galime palyginti procentinius elektros energijos sutaupymus per metus. Gauti rezultatai pateikiami 12 lentelėje.

12 lentelė. Eksperimento gautų rezultatų palyginimas su gautais skaičiuojant programa

Skaiciavimo tipas	Elektros energijos sutaupymai naudojant DCV sistemą vietoje CAV, %
Teorinis, remiantis eksperimento metu gautais rezultatais	75%
Kompiuterinis, remiantis „Telaire“ skaičiavimo programa	69%



34 pav. Elektros energijos sutaupymų grafikas, %

Pagal gautus rezultatus matome, kad yra 6% rezultatų nesutapimo paklaida. Ši paklaida galėjo atsirasti dėl to, kad buvo pasirinkti ne Vilniaus miesto klimatologiniai duomenys, o Prancūzijos. Programa Lietuvos miestų pasirinkimo galimybės neturi. Taip pat Eksperimento metu gauti duomenys buvo naudojami teoriniams skaičiavimams pagal [1] metodiką, o programa skaičiuoja pagal savo gamintojų sukurtą matematinį modelį, kuris skiriasi. Apibendrinant galime teigti, kad 6% paklaida yra leistina ir skaičiavimai atlikti teisingai.

Išvados

Vėdinimo sistema, valdoma pagal reikiamus energijos poreikius gali sumažinti išlaidas tiek šilumai tiek elektros energijai nuo 2 iki 4 kartų, priklausomai nuo to ar palyginamoji pastoviojo oro srauto sistema veikia visą laiką ar ne. Protingai naudojama vėdinimo įranga gali užtikrinti kokybišką patalpų mikroklimatą ir tuo pačiu sumažina energijos sąnaudas iki minimumo išvengdama patalpų pervėdinimo bei kitų diskomforto veiksnių, susijusių su vėdinimo sistema.

Šiame darbe atlikti matavimai ir skaičiavimai įrodo, kokia svarbi yra vėdinimo sistemos kontrolė, darbo režimų reguliavimas atsižvelgiant į reikiamą vėdinimo poreikį patalpoje. Paprastai vėdinimo sistema veikia pastoviai nustatytu laiku, o patalpos teršalų koncentracija kinta. Apskaičiavus nagrinėjamos patalpos energijos poreikius, gauta, kad naudojant DCV sistemą elektros energijos kaštai yra 4 kartus mažesni, o šilumos sąnaudos 2,3 karto mažesnės palyginus su pastoviojo oro tūrio vėdinimo sistema. Lyginamiejo šilumos rodikliai DCV sistemos naudojimo atveju yra tokie: $Q_{DCV} = 32,34 \text{ kWh/m}^2$, kai tuo tarpu naudojant CAV sistemą $Q_{CAV} = 74,75 \text{ kWh/m}^2$. Elektros $E_{DCV} = 1,81 \text{ kWh/m}^2$, kai tuo tarpu naudojant CAV sistemą $E_{CAV} = 7,39 \text{ kWh/m}^2$. Matome, kad naudojant energijos poreikį kontroliuojančią sistemą lyginamieji pastato šilumos ir elektros rodikliai yra mažesni. Pagrindinę įtaką tokiems rezultatams turėjo sistemos darbo laikas bei tiekiamo į patalpas oro kiekis, kuris DCV sistemoje kinta, o CAV sistemoje yra pastovus.

Apskaičiavus ir įvertinus sistemos įdiegimo kaštus, kurie vienai patalpai siekia apie 4572,02 Lt buvo gautas paprastas ir tikrasis atsipirkimo laikas. Paprastojo atsipirkimo laiko gauti rezultatai neįvertina diskonto normos (pinigų nuvertėjimo), todėl šie rezultatai nėra tokie patikimi. Gauta, kad paprastas atsipirkimo laikas yra 6 metai ir 6 mėnesiai. Tikrasis atsipirkimo laikas gautas įvertinus 6% diskonto normą. Gauti rezultatai rodo, kad tokiu atveju DCV sistema atsipirktų po 9 metų ir 5 mėnesių. Šis atsipirkimo laikas tam tikrais atvejais gali būti skirtingas, priklausomai nuo patalpos paskirties ir ją lankančių žmonių skaičiaus, taip pat nuo sumontuotos įrangos elektros galios bei veikimo efektyvumo.

Naudojantis „Telaire“ energijos poreikį kontroliuojančią vėdinimo sistemos skaičiavimo programą buvo gauti elektros energijos sutaupymai. Programos rezultatai skiriasi nuo gautų skaičiavimo būdu 6%. Todėl galime teigti, kad visa duomenų skaičiavimo analizė atlikta teisingai ir su DCV sistema galima sutaupyti nuo 60 iki 70% elektros energijos lyginant su CAV sistema, kuri dirba visą laiką.

Šis atliktas eksperimentinio pobūdžio magistrinis darbas turi didelį teorinį bei praktinį pritaikomumą, todėl, kad vėdinimo sistemos naudotojai, turėdami analogiškos paskirties ir ploto patalpą, gali palyginti savo metinius elektros ir šilumos sutaupymus, jeigu jie naudotų DCV sistemą vietoje CAV. Taip pat žinodami reikalingos įrangos kainą ir kiekį galima paskaičiuoti atsipirkimo laiką.

Literatūros sąrašas

1. STR 2.09.04:2008 „Pastato šildymo sistemos galia. Energijos sąnaudos šildymui“. Valstybės žinios, 2008-05-22, Nr. 58-2185;
2. STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“. Valstybės žinios, 2005-06-16, Nr. 75-2729;
3. HN 42:2009 "Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas" (Žin., 2009, Nr.159-7219).
4. RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“. Žin., 1994, Nr. 24-394;
5. Juodis, E. (1998). Vėdinimas. Vilnius, „Enciklopedija“. 350p ;
6. U.S. Department of Energy, 2002, „Spot ventilation, “ (Vietinio vėdinimo sistemos)
7. MIKE SCHELL, 2002, “Operational control of ventilation systems using sensors that measure CO2 concentrations”, AirTest Technologies Santa Barbara, Calif.
8. Schell, M.B., Turner, S.C., & Shim, R.O., 1998. Application of CO₂-based demand-controlled ventilation using ASHRAE Standard 62: Optimizing energy use and ventilation. *ASHRAE Transactions*, 104, 1213-1225.
9. Andrew Persily, Amy Musser, Steven Emmerich, Michael Taylor, 2003, Simulations of Indoor Air Quality and Ventilation Impacts of Demand Controlled Ventilation in Commercial and Institutional Buildings. *NISTIR 7042*.
10. Marty Stipe, 2003, “Demand Controlled Ventilation: A Design Guide”, *Northwest Energy Efficiency Alliance*.
11. Michael G. Apte, 2006, “A Review of Demand Control Ventilation”, Environmental Energy Technologies Division Indoor Environment Department Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA, 94720, USA
12. Product Management Bus & System Integration Europe, 2006, “Ventilation systems with VAV zone control Cost and energy-optimised primary fan control” The Belimo MP-Bus technology.
13. John J. Lauria, Carrier Corporation, 1998, „How demand controlled ventilation increases air quality and reduces costs“, Farmington, Connecticut.
14. Carrier Corporation, 2001, „Demand Controlled Ventilation System Design“ Syracuse, New York.
15. DCV sistemos panaudojimas administraciniuose pastatuose [interaktyvus]. Žiūrėta 2012 m. gegužės mėn. 5 d., prieiga per internetą: http://findarticles.com/p/articles/mi_m0BPR/is_2_23/ai_n16085716/.

16. Elektros energijos kainos struktūra. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija [interaktyvus]. Žiūrėta 2012 m. gegužės mėn. 8 d. Prieiga per internetą: <[http://www.regula.lt/lt/idomu/Elektros kainos struktura 2011.pdf](http://www.regula.lt/lt/idomu/Elektros_kainos_struktura_2011.pdf)>.
17. Šilumos energijos kainos struktūra [interaktyvus]. Žiūrėta 2012 m. gegužės mėn. 4 d., prieiga per internetą: <<http://www.vilniaus-energija.lt/content/silumos-ir-karsto-vandens-kainos-vilniaus-gyventojams-2012-m-vasario-men>>.
18. CO₂ matavimo jutikliai bei davikliai [interaktyvus]. Žiūrėta 2012 m. gegužės mėn. 7 d., prieiga per internetą: <<http://www.nit.lt/produktai-paslaugos/co2-keitikliai/apie-co2-keitiklius/>>.
19. „Telaire“ gamintojo programa „The ventulator“ [interaktyvus]. Žiūrėta 2012 m. gegužės mėn. 9 d., prieiga per internetą: <<http://www.ge-mcs.com/en/ndt-software/285-software-download/2167-2167.html>>.
20. DCV sistemos energijos sutaupymo analizė [interaktyvus]. Žiūrėta 2012 m. gegužės mėn. 9 d., prieiga per internetą: <<http://www.rehva.eu/en/385.demand-controlled-ventilation-dcv-for-better-iaq-and-energy-efficiency>>.