

## Environmental engineering Aplinkos inžinerija

# ALTERNATYVIŲ VĒDINIMO SISTEMŲ IR MIKROKLIMATO TYRIMAI GYVENAMAJAME NAME

Rokas PETRAŠIŪNAS, Artur ROGOŽA, Violeta MISEVIČIŪTĖ  \*

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2018 m. birželio 10 d.; priimta 2018 m. birželio 20 d.

**Santrauka.** Tyrimo tikslas buvo nustatyti, kokia vėdinimo sistema – centralizuota ar decentralizuota – ekonominiu, energiniu bei komforto požiūriu yra pranašesnė individualiame gyvenamajame name. Darbo aktualumas susijęs su didėjančiais energinio efektyvumo reikalavimais naujai statomiems pastatams ir iš to kylančiomis ligoto pastato sindromo problemomis dėl nepakankamo patalpų vėdinimo. Darbe buvo nustatyti sistemų įrengimo bei eksploatavimo kaštai, pritaikytas gyvavimo ciklo analizės (GCA) metodas, kuriuo įvertinti susidarančių teršalų bei suvartotos pirminės energijos kiekiai per visą vėdinimo sistemų gyvavimo laiką, atlikti patalpų mikroklimato rodiklių matavimai, o gauti rezultatai palyginti su Lietuvoje galiojančiomis higienos normomis. Išanalizavus rezultatus nustatyta, kad ekonominiu ir poveikio aplinkai požiūriais pranašesnė yra decentralizuota vėdinimo sistema, tačiau geresnį patalpų mikroklimatą užtikrina centralizuota vėdinimo sistema.

**Reikšminiai žodžiai:** centralizuota vėdinimo sistema, decentralizuota vėdinimo sistema, ekonominis vertinimas, gyvavimo ciklo analizė (GCA), regeneracija, šilumogrąža, mikroklimatas.

## Įvadas

Įgyvendinant LR energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymo Nr. XII-2702 (Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 2016) nuostatas, naujai statomi ir renovuojami pastatai turi atitikti tuo metu reikalaujamas pastatų energinio efektyvumo klases. Kuo aukštesnė pastato energinė klasė, tuo pastatas efektyvesnis bei sandaresnis, tačiau dėl didelio pastatų sandarumo atsiranda naujų problemų, susijusių su pablogėjusiu pastatų mikroklimatu ir žmonių savijauta būnant pastate. Šią problemą nagrinėjo Vokietijos, Suomijos, Švedijos, Danijos bei kitų šalių mokslininkai, kurie įvardina ją ligoto pastato sindromu (Mackensen, Bullinger ir Morfeld, 1999; Kucek ir Dovjak, 2014). Žmogus, būdamas pastate, jaučia silpnumą, galvos svaigimą, mieguistumą, nors aiškių priežasčių tam nėra. Dar 1984 m. buvo pastebėta, kad šie simptomai dažniausiai pasireiškia sandariuose, renovuotuose namuose (EPA, 1991) ir tai tiesiogiai susiję su patalpų oro kokybe. Nagrinėjant mikroklimato rodiklių užtikrinimą šaltuoju metų laiku įvairių statybos metų Lietuvos daugiabučiuose pastatuose, kuriuose įrengta natūrali vėdinimo sistema, buvo nustatyta (Ankėnas ir Motuzienė, 2015), kad dauguma

daugiabučių pastatų yra vėdinami nepakankamai, viršijama CO<sub>2</sub> koncentracija ir patalpos yra peršildomos.

Gyvenamųjų patalpų vėdinimo būdą pasirenka patys gyventojai, o jų elgsena ne visuomet atitinka energiniu ir komforto požiūriais geriausią sprendimą. Ši problema nagrinėjama kai kurių autorių darbuose (Baborska-Narozny ir Stevenson, 2015). Žmonės, persikraustę gyventi į būstą su įrengta mechanine vėdinimo sistema, sunkiai atsako senų įpročių – atidaro langus ir išjungia mechaninio vėdinimo sistemą. Taip nukenčia ir komfortas, ir sveikata. Be abejo, patalpas vėdinti būtina, tačiau, kuri vėdinimo sistema yra tinkamiausia, vis dar svarstoma. Atlikus mechaninių sistemų palyginimą Europos klimato sąlygomis (Kim ir Baldini, 2016), buvo nustatyta, jog decentralizuota mechaninio vėdinimo sistema yra efektyvesnė energijos sąnaudų požiūriu. Šiai sistemai nėra reikalingi ortakiai, kurie lemia didesnes elektros sąnaudas centralizuotoje vėdinimo sistemoje dėl galingesnių ventiliatorių. Tačiau pusiau centralizuota (centralizuotas oro šalinimas ir decentralizuotas oro tiekimas) vėdinimo sistema Europos klimato sąlygomis galėtų būti naudojama tik ketvirtadalį laiko dėl per žemos arba per aukštos lauko oro temperatūros. Pietų

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [violeta.miseviciute@vgtu.lt](mailto:violeta.miseviciute@vgtu.lt)

Korėjoje atlikto tyrimo objektas buvo hibridinė decentralizuota vėdinimo sistema, montuojama į lango rėmą (Lim, Yun ir Song, 2015). Šios sistemos veikimas pagrįstas nuolatinio vidaus ir išorės rodiklių analizavimu bei optimalaus sistemos veikimo principo – mechaninio vėdinimo su šilumogrąža ar be jos – parinkimu. Rezultatai rodo, jog, naudojant tokią sistemą, galima sumažinti energijos sąnaudas 20 %, lyginant su įprasta mechaninio vėdinimo sistema. K. Valančiaus ir kt. (2015) esamų daugiabučių namų vėdinimo ir jų vėdinimo sistemų atnaujinimo galimybių analizė parodė, kad ekonominiu aspektu geriausias mechaninio vėdinimo sprendimas tipiniame daugiabučiame name yra centralizuota vėdinimo sistema, veikianti kombinuotai su gruntiniu šilumos siurbliu, oro tiekimo ortakius montuojant ant pastato fasadų, o ištraukimą vykdant esamais natūralios vėdinimo sistemos kanalais.

Šiuolaikiniuose pastatuose mechaninis vėdinimas yra neišvengiamas, tačiau tinkamiausia vėdinimo sistema nėra žinoma, todėl šiame straipsnyje yra nagrinėjamos dvi skirtingos vėdinimo sistemos su šilumogrąža – centralizuota ortakinė sistema ir decentralizuota sistema be ortakių. Šios sistemos lyginamos trimis skirtingais aspektais: ekonominiu, poveikio aplinkai bei žmonių komforto (atliekant mikroklimato rodiklių matavimus).

## 1. Tyrimų objektas

Tyrimo nagrinėjamas 325 m<sup>2</sup> ploto sublokuotas dvibutis 2017 m. statybos gyvenamasis namas Vilniuje. Vieno bloko plotas – 162,5 m<sup>2</sup>. Pirmo aukšto plotas yra 86 m<sup>2</sup>, antro aukšto – 76,5 m<sup>2</sup>. Pastatas pagal (STR 2.01.02:2016) atitinka A energinę klasę, todėl įrengtos mechaninio vėdinimo sistemos šilumogrąžos temperatūrinis efektyvumas turi siekti bent 65 %. Pastatas šildomas gamtinėmis dujomis. Viena pastato bloke įrengta centralizuota vėdinimo sistema su cinkuotais ortakiais, o kitame – decentralizuota vėdinimo sistema su vėdinimo įrenginiais išorinėse pastato atitvarose. Abi sistemos suprojektuotos taip, kad atitiktų dabartinius higienos normų reikalavimus (HN 42:2009). Centralizuota sistema susideda iš oro tiekimo ir šalinimo įrenginio, turinčio rotacinį šilumokaitį ir galinčio atgauti iki 85 % šilumos

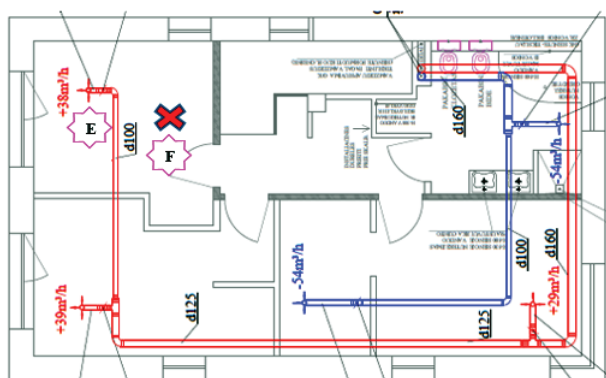
per metus. Įrenginyje įrengtas 1 kW galios elektrinis oro šildytuvas, kad esant labai žemai lauko oro temperatūrai būtų pašildytas į patalpas tiekiamas oras. Oras tiekiamas ir šalinamas cinkuotais ortakiais (1 paveikslas, a).

„X“ pažymėta namo su centralizuota vėdinimo sistema A patalpa (1 paveikslas, a), kurioje buvo atliekami matavimai (E1 ir E2 atitinkamai 1,10 ir 0,28 metro aukštyje matuoti taškai; F1 ir F2 – atitinkamai 1,10 ir 0,28 metro aukštyje matuoti taškai). „X“ pažymėta namo su decentralizuota vėdinimo sistema B patalpa (1 paveikslas, b), kurioje buvo atliekami matavimai (G1 ir G2 atitinkamai 1,10 ir 0,28 metro aukštyje matuoti taškai; H1 ir H2 atitinkamai 1,10 ir 0,28 metro aukštyje matuoti taškai).

Decentralizuota vėdinimo sistema susideda iš septynių mini regeneratorių gyvenamosiose patalpose bei dviejų oro šalinimo įrenginių vonios kambariuose. Mini regeneratoriai sumontuoti išorinėse pastato atitvarose (1 paveikslas, b). Šie įrenginiai veikia regeneraciniu principu, t. y. šiluma atgaunama naudojant keramikos šilumokaitį, kai per jį oras cikliškai (kas 70 sekundžių) keičia oro tekėjimo kryptį. Šiuose įrenginiuose elektrinio pašildymo nėra. Jų faktinis efektyvumas siekia 82 %.

## 2. Metodika

Tyrimo taikomi trys metodai. *Pirmasis metodas* yra ekonominė analizė, kurios metu surenkami duomenys, reikalingi skaičiavimams: sistemų kainos, įrengimo kainos, sistemų techninės charakteristikos (energijos sąnaudos, efektyvumas). Sukaupiti duomenys panaudojami paprastajam ir tikrajam atsipirkimo laikui skaičiuoti bei sistemų ekonominiam naudingumui vertinti 20 metų laikotarpiu. *Antrasis metodas* yra gyvavimo ciklo analizė (GCA), kurios metu vertinamas sistemų poveikis aplinkai atsižvelgiant į elektros energijos sąnaudas ir sistemų sukūrimo, transportavimo bei sunaikinimo etapuose išsiskiriančių teršalų kiekius. Pirmiausia surenkami duomenys apie vėdinimo sistemų sudėtines medžiagas ir jų kiekius. Panaudojami duomenys iš ekonominės analizės apie įrenginių energijos sąnaudas. Naudojant *SimaPro* programą (*SimaPro*, n. d.), yra nustatomi atsinaujinančios ir neatsinaujinančios



a)



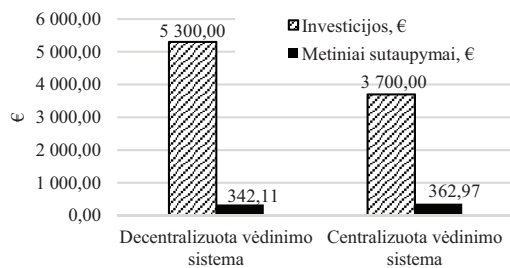
b)

1 paveikslas. Namų su centralizuota (a) ir decentralizuota (b) vėdinimo sistema antro aukšto planas  
Figure 1. The plan of house second floor with centralized (a) and decentralized (b) ventilation system

energijos kiekiai bei ekvivalentiniai aplinkos taršos rodikliai – ozono sluoksnio mažėjimas (CFC11), dirvožemio rūgštėjimas (SO<sub>2</sub>), klimato kaita (CO<sub>2</sub>) ir eutrofikacija (PO<sub>4</sub>) – atitinkantys medžiagų gamybą ir sistemų veikimą. Taikant šiuos rodiklius atliekamas sistemų tarpusio palyginimas. *Trečiasis metodas* yra mikroklimato rodiklių eksperimentinis tyrimas, kuriame taikoma norminė metodika (HN 69:2003). Tyrimams naudoti Vilniaus Gedimino technikos universiteto Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų (PEMS) laboratorijos matavimo prietaisai. Matavimai buvo atliekami 2017 m. gruodžio mėnesį, šildymo sezono metu. Tyrimų rezultatai lyginami su leistomis mikroklimato rodiklių reikšmėmis šaltuoju metų laikotarpiu (HN 42:2009). Matavimams buvo naudojami šie prietaisai: temperatūros ir drėgmės jutiklis „ALMEMO FHAD 46-2“, termoanemometras „ALMEMO FV A605 TA10“ ir duomenų kaupiklis „ALMEMO 2890-9“.

### 3. Rezultatai

Metiniai tiriamųjų vėdinimo sistemų sutaupymai buvo nustatomi lyginant su atveju, kai namuose naudojama priverstinė vėdinimo sistema be šilumogrąžos. Skirtumas tarp šilumos nuostolių, naudojant sistemas su šilumogrąža ir be jos, buvo prilygintas metiniams energijos sutaupymams. Investicijas sudaro įrangos ir montavimo darbų kainos (2 paveikslas). Centralizuotos vėdinimo sistemos įrangos kaina yra 2100 Eur, o montavimo kaina – 1600 Eur. Decentralizuotos vėdinimo sistemos – atitinkamai 4400 Eur ir 900 Eur. Į kainas nėra įtrauktas pridėtinės vertės mokestis (PVM). Pirminės investicijos į centralizuotą vėdinimo sistemą yra mažesnės, o metinė sutaupyta

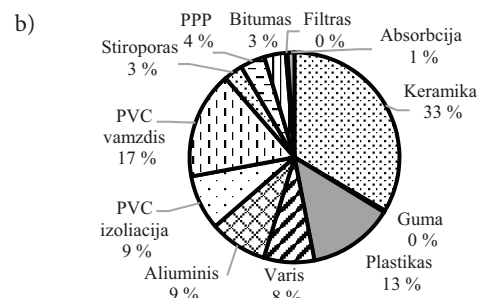
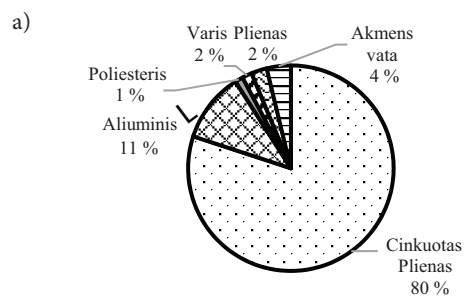


2 paveikslas. Centralizuotos ir decentralizuotos vėdinimo sistemų investicijos ir sutaupytos sumos  
Figure 2. Investment and savings of centralized and decentralized ventilation systems

suma yra didesnė, nes centralizuotos vėdinimo sistemos šilumogrąžos efektyvumas (teorinis) yra didesnis nei decentralizuotos (atitinkamai 90,6 % ir 82 %).

Atlikus paprastojo atsipirkimo laiko skaičiavimus, buvo nustatyta, kad centralizuota vėdinimo sistema atsiperka per daugiau nei 10 metų, o decentralizuota – per daugiau nei 15 metų. Atlikus tikrojo atsipirkimo laiko skaičiavimus, buvo nustatyta, kad centralizuota vėdinimo sistema atsiperka per kiek daugiau nei 12, o decentralizuota per kiek daugiau nei 22 metus. Vėdinimo sistemų eksploataciniai kaštai pateikti 1 lentelėje. Sudėjus pradines investicijas į sistemas, veikimo, keitimo ir priežiūros kaštus buvo nustatyta, kad centralizuota vėdinimo sistema 20 metų laikotarpiui iš viso kainuoja 9091 Eur, o decentralizuota vėdinimo sistema – 8592 Eur, t. y. 5,5 % pigesnė nei centralizuota.

Siekiant nustatyti tiriamųjų vėdinimo sistemų poveikį aplinkai buvo atlikta GCA. Skirtingas vėdinimo sistemas sudarančių medžiagų gauti kiekiai procentine išraiška pateikti 3 paveiksle.



3 paveikslas. Medžiagos, sudarančios decentralizuotą (a) ir centralizuotą (b) vėdinimo sistemas  
Figure 3. Materials forming the decentralized (a) and centralized (b) ventilation systems

1 lentelė. Vėdinimo sistemų eksploataciniai kaštai  
Table 1. Operational costs of ventilation systems

Vėdinimo sistema	Metinės elektros sąnaudos, kWh		Veikimo kaštai, Eur*	Priežiūros darbai	Priežiūros kaštai, Eur	Keičiamieji elementai	Keitimo kaštai, Eur
	Ventiliatoriai	Elektrinis šildytuvas					
Centralizuota vėdinimo sistema	876	175	2886	Filtrų keitimas, ortakių valymas	1440	Vėdinimo įrenginys ir elektrinis tenas	2250
Decentralizuota vėdinimo sistema	223	–	476	Filtrų valymas ir keitimas	308	Vėdinimo įrenginiai ir oro šalinimo ventiliatoriai	2310

\* Per 20 metų gyvavimo laiką įvertinant elektros pabrangimą.

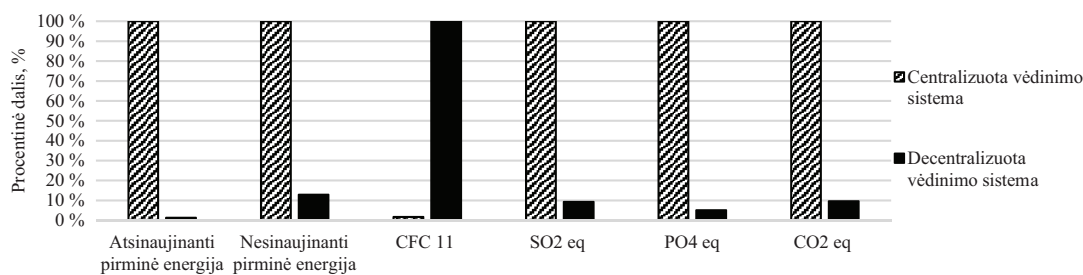
Decentralizuotą vėdinimo sistemą sudarančių medžiagų bendras svoris yra apie 42,5 kg. Didžiausią dalį šios sistemos masės sudaro keramika (33 %). Šis komponentas yra svarbiausia sistemos dalis, nes, naudojant keramikos šilumogrąžį, atgaunama iš patalpų šalinamo oro šiluma. PVC vamzdžiai yra antra pagal kiekį medžiaga, iš kurios pagaminti į sieną montuojami ortakiai. Kitos, didesnę dalį sudarančios, medžiagos yra plastikas, PVC izoliacija ir aliuminis. Centralizuotos vėdinimo sistemos bendras svoris yra apie 317 kg. 3 paveiksle, b, matyti, kad 80 % visos vėdinimo sistemos masės sudaro cinkuotas plienas, iš kurio gaminami ortakiai. Aliuminis taip pat sudaro didelę (11 %) sistemos svorio dalį. Iš jo gaminama didžioji dalis oro ruošimo įrenginio detalių. Visos likusios medžiagos sudaro labai nežymią dalį.

4 paveiksle pateiktas centralizuotos ir decentralizuotos vėdinimo sistemų palyginimas pagal jas sudarančių medžiagų poveikį aplinkai per 20 metų eksploatacavimo laikotarpį. Grafike pateiktas palyginimas pagal šešias įtakos kategorijas. Didesnę įtaką darančios sistemos poveikis prilyginamas 100 procentų, o mažesni poveikį daranti sistema yra pateikta kaip procentinė dalis nuo maksimalios reikšmės. Absoliučiosios rodiklių reikšmės pateikiamos 2 lentelėje.

Pagal visas įtakos kategorijas, išskyrus ozono sluoksnio mažėjimą, centralizuota vėdinimo sistema daro didesni poveikį aplinkai. Decentralizuota sistema sudaro tik iki

10 procentų centralizuotos vėdinimo sistemos daromos įtakos. Taip yra dėl to, kad decentralizuotos vėdinimo sistemos svoris yra mažesnis. Tačiau pagal CFC11 rodiklį decentralizuota vėdinimo sistema daro žymiai didesni poveikį aplinkai. Tą lemia medžiagos (PPP, bitumas, PVC vamzdis, PVC izoliacija), kurių gamyboje naudojami naftos produktai. Sistemų įkūnytąją dalį sudaro pradinės ir pakeitimo metu naudojamos medžiagos. Energijos sąnaudas eksploatacijos metu sudaro variklių ir elektrinių tenų suvartojama elektra.

Be ekonominių rodiklių (investicijų, eksploatacinių kaštų), kurie yra svarbūs vėdinimo sistemos naudotojui, bei vėdinimo sistemų poveikio aplinkai, vėdinimas atlieka mikroklimato rodiklių užtikrinimo bei oro kokybės pastate gerinimo funkciją, todėl, lyginant nagrinėjamas vėdinimo sistemas, tyrime vertinama, kaip jos užtikrina mikroklimatą pastate. Mikroklimato rodikliai matuoti 2017 m. gruodžio 12 dieną nuo 17 iki 22 val., kai lauko oro temperatūra buvo 6–8 °C. Pirmiausia buvo išmatuoti A patalpos, esančios name su centralizuota vėdinimo sistema, rodikliai. Paskui išmatuoti tie patys kito namo su decentralizuota vėdinimo sistema rodikliai B patalpoje. Matavimai atlikti vadovaujantis bendraisiais mikroklimato rodiklių matavimo reikalavimais (HN 42:2009). A ir B patalpose matavimai buvo atliekami dviejose skirtingose vietose ir dviejuose aukščiuose – 0,28 ir 1,10 m nuo grindų. A patalpoje buvo atlikti matavimai E ir F taškuose, o B patalpoje G ir H taškuose.

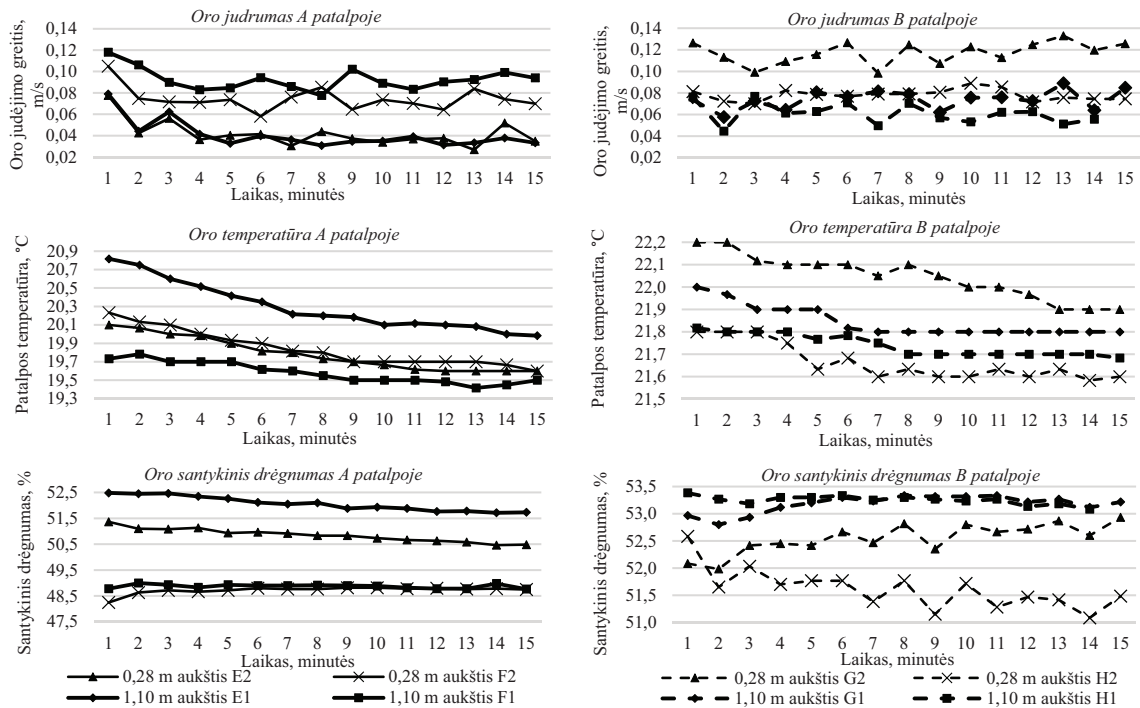


4 paveikslas. Vėdinimo sistemų poveikio aplinkai palyginimas  
Figure 4. Comparison of the environmental impact of ventilation systems

2 lentelė. Vėdinimo sistemų poveikio aplinkai rezultatai  
Table 2. Results of ventilation systems impact on environment

Poveikio aplinkai įtakos kategorijos	Įkūnytoji dalis (medžiagos)				Energija eksploatacijos metu			
	Centralizuota sistema		Decentralizuota sistema		Centralizuota sistema		Decentralizuota sistema	
Atsinaujinanti pirminė energija, GJ	2,73	3,7 %	0,04	0,2 %	71,10	96,3 %	15,10	99,8 %
Neatsinaujinanti pirminė energija, GJ	37,70	17,6 %	4,84	11,5 %	176,00	82,4 %	37,30	88,5 %
Ozono sluoksnio mažėjimas, CFC11 eq, kg	1,74E-04	87,3 %	1,01E-02	99,9 %	2,53E-05	12,7 %	5,38E-06	0,1 %
Dirvožemio rūgštėjimas, SO <sub>2</sub> eq, kg	3,84E+01	14,7 %	3,54E+00	7,0 %	2,22E+02	85,3 %	4,70E+01	93,0 %
Eutrofikacija, PO <sub>4</sub> eq, kg	1,09E+00	84,1 %	5,55E-02	56,0 %	2,06E-01	15,9 %	4,36E-02	44,0 %
Klimato kaita, CO <sub>2</sub> eq, kg	2,46E+03	21,0 %	2,36E+02	10,7 %	9,27E+03	79,0 %	1,97E+03	89,3 %





5 paveikslas. Oro judrumas, temperatūra ir santykinis drėgnumas A ir B patalpose  
 Figure 5. Air velocity, temperature and relative humidity in rooms A and B

Atliekant matavimus tiekiamo ir šalinamo oro kiekis buvo apie 20,5 m<sup>3</sup>/h, patalpos durys buvo uždarytos, o viduje žmonių nebuvo. A patalpoje buvo palaikoma 2 laipsniais žemesnė temperatūra nei likusiose patalpose (tokių patalpų temperatūros reguliavimo būdą buvo pasirinkęs namo šeimininkas). Oro judrumo, temperatūros ir santykinio drėgnumo matavimai buvo atliekami kas 10 sekundžių 15 minučių (90 matavimų). 5 paveiksle yra pateikti šių rodiklių vidutiniai vienos minutės matavimų rezultatai.

A patalpoje F taške oro judėjimo greičiai yra didesni nei E taške, nes per uždarytų durų apačią oras išeina į koridorių, o matavimo įranga buvo įrengta šalia durų. E taškas buvo toliausiai nuo kambario įėjimo, nutolęs 1 metro atstumu nuo lango. B patalpoje G2 taške oro judėjimo greičiai yra didesni nei kituose taškuose, nes šis taškas buvo priešais orą tiekiantį mini regeneratorių. Tiekiamo oro temperatūra šiame taške buvo žemesnė nei patalpose, nes sunkesnis šviežias oras leidosi šalia sienos žemyn ir tekėjo link kambario durų, per kurias kambarys susisiekiama su greta esančia patalpa. Mažiausias oro tekėjimo greitis buvo išmatuotas H1 taške. Taip yra todėl, kad šis taškas buvo šalia durų, o durys atliekant matavimus buvo užda-

rytos. Dėl šios priežasties oras patekti ir išeiti galėjo tik per apačioje esantį tarpą. Intensyviausias oro judėjimas vyko būtent toje zonoje. Oro temperatūra A ir B patalpose visų matavimų metu mažėjo, nes tiekiamo oro temperatūra buvo žemesnė nei patalpos oro temperatūra. Matavimų pradžioje temperatūra buvo sąlygiškai aukšta, nes prieš pradėdamatavimus buvo įrengiama įranga, o temperatūra pakilo dėl žmonių veiklos joje. A patalpoje temperatūra kito sparčiau nei B patalpoje. B patalpoje temperatūra pradiniu laiko momentu buvo aukštesnė ir viršijo 22 laipsnius. Be to, B patalpoje fiksuojami didesni temperatūros svyravimai, nes decentralizuota sistema veikia cikliška. Santykinis oro drėgnumas patalpose svyravo labai nežymiai tiek A patalpoje, tiek B patalpoje (5 % ribose). Santykinis oro drėgnumas B patalpoje svyravo labiau, palyginti su A patalpa, nes naudojant mini regeneratorių oras tiekiamas ir šalinamas per vieną angą sienoje, todėl patalpoje oras keičiamas netolygiai. Tačiau, net esant pastebimiems svyravimams, santykinis drėgnumas atitiko patalpų orui keliamus reikalavimus. Apibendrinti matavimų rezultatai pateikiami 3 lentelėje. Nustatyti minimalūs ir maksimalūs oro judėjimo greičiai, temperatūros bei drėgmės rodikliai buvo palyginti su leistinomis higienos normų reikšmėmis.

3 lentelė. Mikroklimato rodiklių A ir B patalpose palyginimas su HN 42:2009 normomis  
 Table 3. Comparison of indoor climate parameters in premises A and B with HN 42:2009

Mikroklimato rodikliai	Ribinės vertės šaltuoju metų laikotarpiu	Centralizuota vėdinimo sistema (A)	Decentralizuota vėdinimo sistema (B)
Oro temperatūra, °C	18,0–22,0	19,6–20,9	21,8–22,2
Temperatūrų skirtumas 0,3 m ir 1,1 m aukštyje	3,0	1,3	0,4
Santykinė oro drėgmė, %	35,0–60,0	48,1–52,7	50,8–54,8
Oro judėjimo greitis, m/s	0,050–0,150	0,016–0,189	0,024–0,181

Atliekant centralizuotos vėdinimo sistemos matavimus oro judėjimo greitis patalpoje buvo nežymiai viršytas, tačiau tai truko vos 0,6 % laiko. Atliekant decentralizuotos vėdinimo sistemos matavimus oro temperatūra patalpoje visuomet buvo gana aukšta, ir apie 33 % laiko ji buvo aukštesnė nei 22 °C. Šioje patalpoje oro judėjimo greitis buvo nežymiai viršytas, bet tai truko tik 1,1 % laiko.

## Išvados

Decentralizuota vėdinimo sistema ekonominiu požiūriu yra patrauklesnė, nes jos eksploatacijos kaštai 20 metų laikotarpiui yra mažesni. Ji yra 5,5 % pigesnė nei centralizuota vėdinimo sistema. Tiek centralizuota, tiek decentralizuota vėdinimo sistemos neatsiperka, nes jų nustatytas gyvavimo laikas (10 metų) yra trumpesnis nei atsipirkimo laikai. Tą iš dalies lemia mažos dabartinės dujų ir elektros kainos.

Decentralizuotos vėdinimo sistemos elektros sąnaudos sudaro tik penktadalį centralizuotos vėdinimo sistemos poreikių, todėl decentralizuotos vėdinimo sistemos poveikis aplinkai pagal elektros sąnaudas taip pat yra apie 5 kartus mažesnis. Centralizuotą vėdinimo sistemą sudarančios medžiagos daro iki 10 kartų didesnę įtaką aplinkai nei decentralizuotos vėdinimo sistemos medžiagos, nes centralizuotos vėdinimo sistemos medžiagų masė yra apie 6,5 karto didesnė.

Centralizuota vėdinimo sistema užtikrina pastovesnius patalpų mikroklimato rodiklius, nes ji tiekia ir šalina orą atskirais ortakiais. Tiek centralizuota, tiek decentralizuota vėdinimo sistemos didžiąją laiko dalį tirtose patalpose užtikrina mikroklimato rodiklius, nustatytus higienos normose, tačiau, norint plačiau nagrinėti sistemų veikimą ir jų komforto sąlygų užtikrinimą, reikia atlikti ilgalaikius mikroklimato rodiklių (taip pat ir CO<sub>2</sub>) matavimus. Matavimai turėtų būti atliekami šiltuoju ir šaltuoju metų laiku, apimti bent kelias skirtingos paskirties patalpas.

## Literatūra

- Ankėnas, V. ir Motuzienė, V. (2015). Daugiabučių pastatų mikroklimato parametrų tyrimas. Iš *18-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius. <https://doi.org/10.3846/pinzs.2015.001>
- Baborska-Narozny, M., & Stevenson, F. (2015). Continuous mechanical ventilation in housing – understanding the gap between intended and actual performance and use. *Energy Procedia*, 83, 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.207>
- EPA. (1991). *Indoor Air Facts No. 4. Sick Building Syndrome*. HN 42:2009. (2009). Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas. *Valstybės žinios*, 2009 m. gruodžio 31 d., Nr. 159-7219.
- HN 69:2003. (2003). Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai. *Valstybės žinios*, 2004 m. kovo 26 d., Nr. 45-1485.
- Kim, M. K., & Baldini, L. (2016). Energy analysis of a decentralized ventilation system compared with centralized ventilation systems in European climates: based on review of analyses. *Energy and Buildings*, 111, 424-433. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.044>
- Kucek, A., & Dovjak, M. (2014). Prevention and control of Sick Building Syndrome (SBS). Part 1: identification of risk factors. *International Journal of Sanitary Engineering Research*, 8(1), 16-40. Retrieved from <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-OARWGT8R/1c22104a-219b-40ca-b952-852725f3b53c/PDF>
- Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. (2016). *Lietuvos Respublikos energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymas Nr. XII-2702*. Retrieved from <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/1bd85ba0a27b11e68987e8320e9a5185?jfwid=wny8rgfbk>
- Lim, Y., Yun, H., & Song, D. (2015). Indoor environment control and energy saving performance of G hybrid ventilation system for a multi-residential building. *Energy Procedia*, 78, 2863-2868. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.653>
- Mackensen, von S., Bullinger, M., & Morfeld, M. (1999). The sick building syndrome as a subjective perception-theoretical approach and assessment methods. *Zentralblatt fur Hygiene und Umweltmedizin*, 202(2-4), 243-248. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10507132>
- SimaPro. (n.d.). Retrieved from <https://simapro.com/>
- STR 2.01.02:2016. Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas. *TAR*, 2016 m. gruodžio 1 d., Nr. 27 896.
- Valančius, K., Paulauskaitė, S. ir Motuzienė, V. (2015). Daugiabučių gyvenamųjų namų vėdinimo tyrimai ir sistemų atnaujinimo galimybių analizė. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 7(4), 485-492. <https://doi.org/10.3846/mla.2015.825>

## INVESTIGATION OF ALTERNATIVE VENTILATION SYSTEMS AND INDOOR CLIMATE IN LIVING HOUSE

R. Petrašiūnas, A. Rogoža, V. Misevičiūtė

### Abstract

The purpose of the study was to determine which ventilation system centralized or decentralized in viewpoint of economic, energy and comfort is more advantageous in an individual residential house. The relevance of the work is related to the increasing energy efficiency requirements for newly built buildings and the resulting problems of the sick building syndrome due to insufficient ventilation of the rooms. The installation and operation costs of systems were identified. The Life Cycle Analysis (LCA) method was applied to estimate the amount of pollutants and primary energy consumed throughout the lifetime of ventilation systems. Measurements of indoor climate parameters were made; the results compared with the hygiene norms valid in Lithuania. The results of the analysis showed that the decentralized ventilation system is the most advantageous for economic and environmental impacts, but centralized ventilation system ensuring a better indoor climate.

**Keywords:** centralized ventilation system, decentralized ventilation system, economic evaluation, life cycle analysis (LCA), regeneration, heat recovery, indoor climate.