



DAUGIABUČIŲ GYVENAMŲJŲ NAMŲ VĒDINIMO TYRIMAI IR SISTEMŲ ATNAUJINIMO GALIMYBIŲ ANALIZĖ

Kęstutis VALANČIUS¹, Sabina PAULAUSKAITĖ², Violeta MOTUZIENĖ³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹kestutis.valancius@vgtu.lt; ²sabina.paulauskaite@vgtu.lt; ³violeta.motuziene@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje pateikiami daugiabučių gyvenamųjų namų vėdinimo parametrų eksperimentiniai tyrimai, kurie buvo atlikti šildymo sezono metu. Tyrimų rezultatai rodo, kad esamuose daugiabučiuose namuose dažniausiai nėra užtikrinamos higieninės sąlygos, kurios yra tiesiogiai susijusios su šių namų vėdinimu. Taip pat straipsnyje pateikiama daugiabučio vėdinimo sistemų atnaujinimo galimybių analizė. Ekonomiškai išnagrinėti keturi vėdinimo sistemų atnaujinimo variantai. Atlikus ekonominę analizę, nustatyta, jog ekonominiu aspektu geriausias mechaninio vėdinimo sprendimas tipiniame daugiabučiame name yra centralizuota vėdinimo sistema, veikianti kombinuotai su gruntu šilumos siurbliu, kai tiekiamieji ortakiai montuojami ant pastato fasadų, o ištraukimas vyksta esamais natūralios vėdinimo sistemos kanalais.

Reikšminiai žodžiai: daugiabučiai gyvenamieji namai, vėdinimas, oro parametrų tyrimas, ekonominė analizė.

Įvadas

Lietuva geografiniu požiūriu yra vidutinių platumų klimato juostoje, todėl šalyje būdingi ryškūs keturi metų laikai. Tyrimų duomenimis, šaltuoju metų laiku žmonės vidutiniškai iki 90 % viso savo laiko praleidžia uždaroje patalpose, iš kurių daugiausiai – savo namuose, todėl, norint išvengti negalavimų, didelę reikšmę turi gyvenamųjų namų vėdinimo sistema ir jos nuolat užtikrinami norminiai oro kokybės parametrai. Dėl daugelio priežasčių įdiegti vienu ar kitu techniniu sprendimu vėdinimo sistemas sudėtingiausia daugiabučiuose pastatuose. Būtent šių pastatų gyventojai labiausiai susiduria su problemomis, kylančiomis dėl nepakankamo šviežio oro kiekio patekimo į patalpas. Visuose Lietuvoje esančiuose senos statybos bei 95 % renovuotuose ir naujai pastatytuose daugiabučiuose pastatuose yra įrengta natūrali vėdinimo sistema (Dargis 2009). Tačiau pastatai, nuolat kylant energijos sąnaudoms bei tobulėjant statybų technologijoms, tampa praktiškai hermetiški – sandarūs langai, durys ir sienos beveik nepraleidžia oro, todėl per juos į patalpas infiltruojamas šviežio oro kiekis labai sumažėja, o šaltuoju metų laiku vėdinti patalpas per atidarytas orlaides ar langus yra energiniu požiūriu neefektyvu. Taip vėdinant patalpas vidutiniškai prarandama iki 50 % bendrosios energijos būste (Laverge *et al.* 2011), ir tai lemia dideles gyventojų šildymo sąskaitas. Taip pat neorganizuotas vėdinimas sukelia gyventojams nemažą diskomfortą, nes patalpose

nukrenta temperatūra. Esant tik tokiai patalpų vėdinimo per atvirus langus galimybei, daugiabučiai gyvenamieji pastatai tampa praktiškai nevėdinami arba vėdinami nepakankamai. Gerai izoliuotuose nevėdinamuose arba prastai vėdinamuose daugiabučiuose pastatuose oro tarša gali būti kelis ar net keliasdešimt kartų didesnė nei lauko oro (Kim *et al.* 2008), todėl oro kokybės klausimas yra labai svarbus. Pastatuose oras būna užterštas mažais kiekiais įvairiausių junginių, kurie veikia žmogaus sveikatą. Didėja įvairiausių teršalų, alergenų ir CO₂ koncentracijos patalpų ore kiekiai, taip pat dėl didelio drėgmės kiekio padidėja ir pelėsių atsiradimo tikimybė. Tokiose patalpose gyvenantys ir daug laiko praleidžiantys žmonės dažnai skundžiasi neaiškios kilmės negalavimais: nemiga, galvos skausmais, alerginiais susirgimais, kvėpavimo takų ligomis bei kitais ūminiais ar lėtiniais sveikatos sutrikimais, kurie gali pasireikšti ne iš karto, o net po daugelio metų. Šis seniai pastebėtas reiškinys buvo pavadintas „Ligoto pastato sindromu“ (angl. *Sick Building Syndrome*), kuris yra tiesiogiai susijęs su patalpų oro kokybe ir vėdinimu (Bardana 1997).

C. Dimitroulopoulou (2012) straipsnyje akcentuojama, jog blogai patalpų oro kokybei jautriausi yra vaikai ir senyvo amžiaus žmonės. Apžvelgti įvairių šalių norminiai dokumentai, reglamentuojantys patalpų mikroklimato parametrus. Pastebėta, kad daugelyje šiaurės bei vakarų

Europos valstybių teisės aktuose nurodoma minimali būtina oro apykaita, kuri lygi 0,5 karto per valandą, yra tokia pati kaip ir Lietuvos norminiuose dokumentuose. Taip pat šiame straipsnyje atlikta įvairių tyrimų apžvalga, kuri parodė, jog daugelis visų Europos pastatų neatitinka minimalių vėdinimo reikalavimų, pvz.: Danijoje šis skaičius siekia 60 % visų tirtų pastatų, Suomijoje – 50 %, Norvegijoje – 40 % ir t. t. E. Juodžio *et al.* (2003) straipsnyje teigiama, jog natūralus patalpų vėdinimas nėra labai patikimas, todėl projektuojant natūralią vėdinimo sistemą rekomenduojama padidinti oro apykaitą gyvenamosiose patalpose dar bent 0,2 kartais iki 0,7 karto per valandą.

Iki šiol Lietuvoje nėra atlikta rimtesnių faktinių tyrimų, kurie apžvelgtų šalies daugiabučiuose pastatuose bendrą esamą gyvenamųjų patalpų mikroklimato parametrų būklę. Būtent todėl šio darbo vienas iš tikslų yra ištirti patalpų mikroklimato parametrus Lietuvos daugiabučiuose pastatuose šaltuoju metų laiku, o gautus tyrimo duomenis palyginti su norminėmis reikšmėmis, taip įsitikinant, ar įvairiuose literatūros šaltiniuose aprašoma prasta mikroklimato parametrų situacija būdinga ir Lietuvos daugiabučiams pastatams (Ankėnas 2015). Darbo tikslams pasiekti įvairiuose daugiabučiuose pastatuose, kuriuose įrengta natūrali vėdinimo sistema, buvo matuojami patalpų oro parametrai šildymo sezono metu: CO₂ koncentracijos kiekis ore, oro temperatūra bei santykinė drėgmė.

Daugiabučių gyvenamųjų namų vėdinimo tyrimo objektai ir metodika

Tyrimo objektai – įvairiuose Vilniaus miesto mikrorajonuose esančių senos (pastatyti iki 1992 metų) ir naujos statybos bei renovuotų daugiabučių pastatų butai. Visuose tirtuose objektuose yra įrengtos vienodos inžinerinės sistemos – dvivamzdė radiatorinė šildymo ir natūralaus vėdinimo sistemos. Viso tyrimo metu patalpų mikroklimato parametrai tirti 19-oje butų, iš kurių 9 yra senos statybos daugiabučiuose pastatuose, 4 – naujos statybos bei 6 – renovuotuose daugiabučiuose. Visi matavimai buvo atliekami šildymo sezono metu, t. y. laikotarpiu, kurio trijų parų iš eilės lauko oro vidutinė paros temperatūra yra žemesnė kaip 10 °C. Iš viso 2014 metų laikotarpiu nuo vasario 4 iki 25 dienos bei nuo kovo 25 iki 31 dienos imtinai.

Visuose tirtuose butuose yra įdėti plastikiniai langai, kurie kur kas sandaresni už senus dvigubus medinius langus.

Daugiabučių pastatų mikroklimato parametrų matavimai atliekami remiantis norminių dokumentų (HN 42:2009 ir STR 2.09.05:2005) reikalavimais ir rekomendacijomis, o išmatuotos reikšmės lyginamos su šiuose dokumentuose nurodytomis reikšmių ribomis.

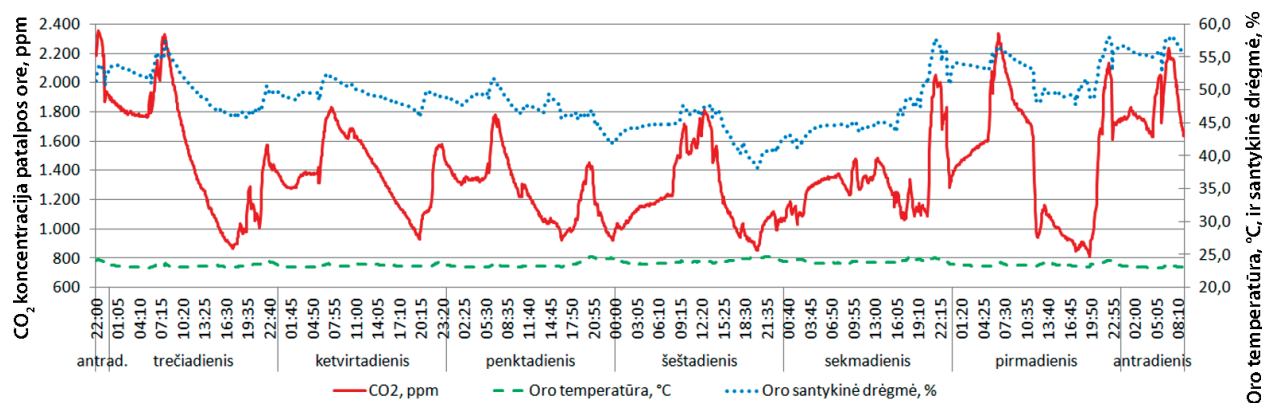
Kiekviename daugiabučio pastato bute, kuriame buvo atliekami anglies dvideginio (CO₂) koncentracijos, oro temperatūros bei santykinės drėgmės matavimai, savaitei laiko buvo paliekama po prietaisą „Telaire 7001“ ir „Hobo U12“, kurie 5 minučių intervalu savo vidinėje atmintyje fiksavo šių mikroklimato parametrų esamas vertes. Esant galimybėms, kiekviename bute savaitei laiko buvo paliekama tik po vieną mikroklimato matavimo prietaisų komplektą, todėl, siekiant visuose butuose suvienodinti matavimų sąlygas, patalpų oro kokybės tyrimams buvo pasirinktos tos pačios paskirties patalpos – butų svetainės. Svetainės kaip matavimo objektas buvo pasirinktos todėl, kad būdami namie įprastai daugiabučių namų gyventojai jose praleidžia didžiąją dalį savo laiko (nevertinant laiko, kuris skirtas miegui). Taip pat, siekiant tikslių matavimo rezultatų, minėtus prietaisus buvo stengiamasi statyti tokiose vietose, kurios atitiktų higienos normose (HN 42:2009) nustatytus matavimo reikalavimus, t. y. kad prietaisai stovėtų bent 0,5 metro atstumu nuo sienų ir langų bei būtų apie 1 metro aukštyje nuo patalpos grindų.

Visi tyrimo metu išmatuoti duomenys apdorojami ir pateikiami naudojantis įvairiais statistinės analizės metodais (Ankėnas 2015).

Daugiabučių gyvenamųjų namų vėdinimo tyrimų rezultatai

Skyriuje pateikiami daugiabučių pastatų butų CO₂ koncentracijos, oro temperatūros bei santykinės drėgmės matavimo rezultatai. Atliekama bendrai visų butų kartu minėtų rodiklių analizė, t. y. neskirstant jų pagal daugiabučių statybos metus. Taip yra daroma todėl, kad atlikta preliminari rezultatų analizė parodė panašias tendencijas visose butų amžiaus kategorijose. Gavus mikroklimato parametrų matavimo rezultatus, visiems 19 butų buvo nubraižyti CO₂ koncentracijos patalpų ore, patalpų oro temperatūros kitimo bei santykinės oro drėgmės kitimo grafikai per savaitę. Kaip pavyzdys pateikiamas vienas senos statybos daugiabutyje name esančio 65 m² ploto buto, kuriame gyvena trijų asmenų šeima, mikroklimato parametrų kitimo grafikas (1 pav.).

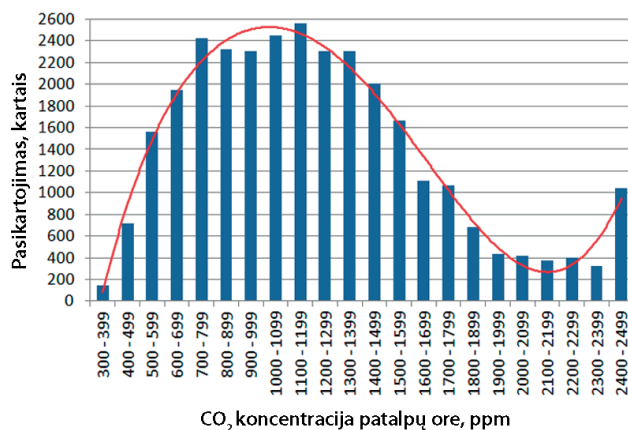
Daugiabučių pastatų butų CO₂ koncentracijos rezultatų analizei atlikti yra sudaromas grupuotų duomenų tankio funkcijos grafikas – histograma. Tam, kad būtų gautas šis grafikas, visos išmatuotos daugiabučių pastatų butų CO₂ koncentracijos ore reikšmės suskirstytos į intervalus bei nustatytas jų pasikartojimo per savaitę dažnis. Intervalai skirstomi kas 100 ppm nuo mažiausios lauko oro CO₂ koncentracijos reikšmės iki didžiausios matavimo prietaisų fiksuojamos 2499 ppm reikšmės. Pateikiama visų tyrimo metu matuotų butų CO₂ koncentracijų patalpų ore pasikartojimų per savaitę histograma (2 pav.).



1 pav. Senos statybos buto CO₂ koncentracijos ore, oro temperatūros bei santykinės drėgmės kitimo grafikas per savaitę
Fig. 1. Diagram of indoor CO₂ concentration, relative humidity and temperature fluctuations in old unrenovated apartment buildings per week

Iš pateikto grafiko (2 pav.) matyti, jog matuotu laikotarpiu dažniausiai pasikartojančios CO₂ koncentracijos reikšmės yra intervale tarp 1100–1199 ppm. Šio patalpų mikroklimato parametro vidutinė reikšmė, įvertinus matavimo prietaisų paklaidas, yra lygi 1217±50 ppm. Ji beveik 22 % didesnė už reglamente (STR 2.09.05:2005) rekomenduojamą 1000 ppm koncentracijos ribą. Palyginimui apskaičiuojamas dar vienas šio mikroklimato parametro reikšmių vidurkis. Šiuo atveju nevertinamos reikšmės, užfiksuotos darbo dienomis nuo 8:00 iki 17:00 valandos, kai dauguma daugiabučių namų gyventojų dirbo ir nebuvo namuose. Kai nevertinamos darbo valandos, vidutinė CO₂ koncentracija butuose padidėjo iki 1301±50 ppm. Ši vidutinė reikšmė yra 30 % didesnė už reglamente (STR 2.09.05:2005) rekomenduojamą 1000 ppm koncentracijos ribą.

Apskaičiavus vidutines anglies dvideginio koncentracijos reikšmes skirtingų plotų daugiabučių pastatų butuose, aiškiai matyti, jog ši vidutinė koncentracija yra kur

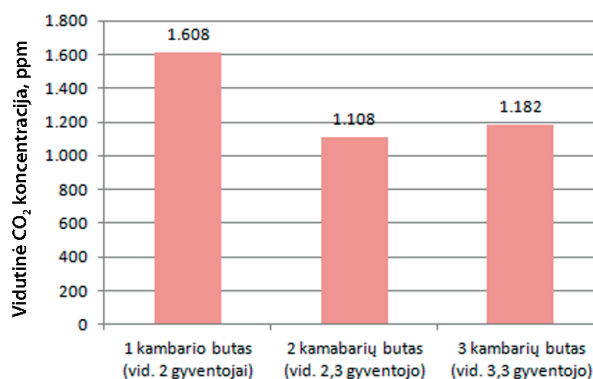


2 pav. CO₂ koncentracijos butuose dažnių histograma (savaitės duomenys)

Fig. 2. Weekly CO₂ concentration frequency histogram in apartments

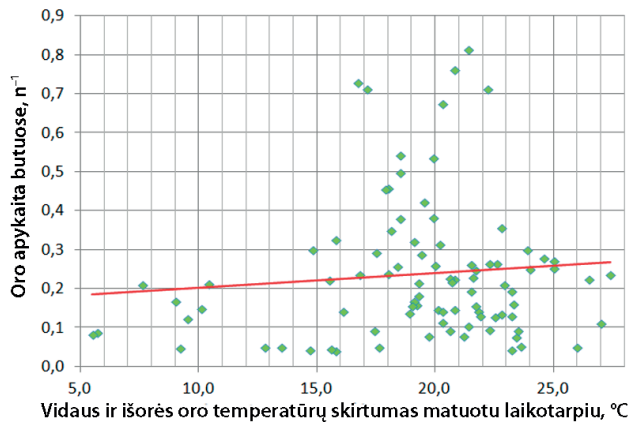
kas didesnė 1 kambario butuose. Matuotu laikotarpiu 2 ir 3 kambarių butuose vidutinė CO₂ koncentracija siekė atitinkamai 1108 ir 1182 ppm, o 1 kambario butuose ji buvo apie 30 % didesnė ir vidutiniškai siekė 1608 ppm. Rezultatų analizė rodo, kad nors ir labai nežymiai, tačiau 3 kambarių butuose vidutinė CO₂ koncentracija yra didesnė nei 2 kambarių butuose, tačiau pastaruosiuose butuose gyvena vidutiniškai 1 žmogumi mažiau, o būtent žmonės ir yra pagrindinis CO₂ išskyrimo šaltinis gyvenamosiose patalpose.

Iš kiekvienam butui nubraižytų CO₂ koncentracijos kitimo grafikų (3 pav.) skirtingomis savaitės dienomis ir skirtingu laiku yra pasirenkamos kelios charakteringos vietos, kur yra aiškios pradinės ir galutinės CO₂ koncentracijos. Žinant šiuos duomenis skaičiuojamos atskirų laiko tarpų butų oro apykaitos reikšmės. Iš viso suskaičiuotos 19 butų 94 oro apykaitos reikšmės tam tikrais charakteringais laiko momentais. Rezultatai vertinti pagal statistinio Šovene



3 pav. Vidutinės CO₂ koncentracijos 1, 2 ir 3 kambarių butuose reikšmės (savaitės duomenys)

Fig. 3. Average CO₂ concentrations in 1, 2 and 3 rooms apartments (one week data)



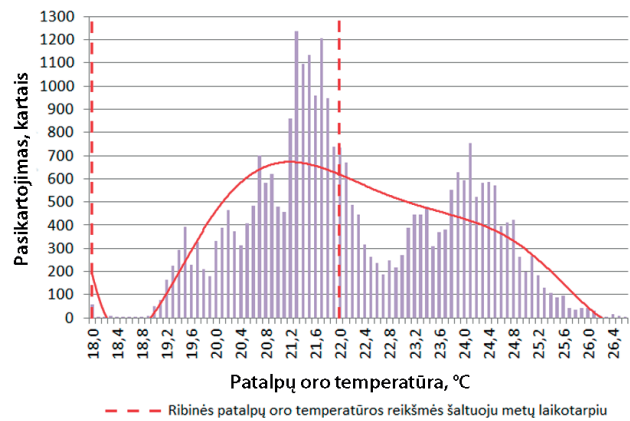
4 pav. Oro apykaitos butuose priklausomybė nuo vidaus ir lauko temperatūrų skirtumo matuotu laikotarpiu

Fig. 4. Dependence of apartments' air change rate on internal and external temperature difference during the measuring period

(ang. *Chauvenet*) kriterijaus testo rezultatus. Atmestos 7 didžiausios ir mažiausios oro apykaitos gyvenamosiose patalpose reikšmės, kurios gana smarkiai išsiskiria iš visų kitų likusių reikšmių. Iš likusių neatmestų reikšmių sudaroma diagrama (4 pav.), kurioje pavaizduota oro apykaitų butuose priklausomybė nuo vidaus ir lauko vidutinių temperatūrų skirtumo matuotu laikotarpiu.

Iš anksčiau pateikto grafiko (4 pav.) matyti, jog nors ir nežymiai, tačiau didėjant skirtumui tarp patalpos ir išorės oro temperatūrų, didėja ir patalpų oro apykaita. Vidutiniškai, kai temperatūrų skirtumas tarp patalpos ir lauko oro yra apie 10 °C, tai oras patalpose pasikeičia 0,20 karto per valandą. Kai skirtumas tarp patalpos ir lauko oro temperatūrų siekia 25 °C – vidutinė oro apykaita gyvenamosiose patalpose padidėja iki 0,26 karto per valandą. Taip pat gauta ir bendra statistinė vidutinė visų tyrime matuotų butų oro apykaita, kuri lygi 0,276 karto per valandą. Ši vidutinė oro apykaitos reikšmė yra mažesnė už reglamentuotą (STR 2.09.05:2005) 0,5 karto per valandą reikšmę gyvenamosiose patalpose.

Tyrimo metu matuotų daugiabučių pastatų butų oro temperatūros kitimo analizė yra atliekama tokiu pačiu principu, kaip ir CO₂ koncentracijos patalpose analizė, t. y. sudarant temperatūros reikšmių histogramą. Grafikas sudaromas visas išmatuotas daugiabučių pastatų butų oro temperatūros reikšmes suskirstant intervalais bei nustatant jų pasikartojimo dažnius per savaitę. Intervalai skirstomi kas 0,1 °C nuo mažiausios norminės gyvenamųjų patalpų oro temperatūros šaltuoju metų laikotarpiu reikšmės, kuri yra lygi 18 °C, iki didžiausios tirtuose butuose matavimo prietaisų užfiksuotos oro temperatūros, kuri yra lygi 27 °C. Pateikiama visų tyrimo metu matuotų butų oro temperatūros pasikartojimo dažnių per savaitę histograma (5 pav.).



5 pav. Patalpų oro temperatūros dažnių per savaitę histograma
Fig. 5. Weekly indoor temperature frequency histogram

Iš pateikto patalpų oro temperatūros dažnių grafiko (5 pav.) matyti, jog matuotu laikotarpiu dažniausiai pasikartojanti patalpų oro temperatūros reikšmė buvo lygi 21,3 °C. Vidutinė oro temperatūra butuose, įvertinus matavimo prietaisų paklaidas, yra lygi 21,8±0,4 °C, ji patenka į higienos normose (HN 42:2009) nustatytą ribinių reikšmių intervalą 18–22 °C šaltuoju metų laikotarpiu (5 pav., ribos pažymėtos punktyrine linija). Iš to paties grafiko taip pat matyti, kad gana didelė dalis užfiksuotų oro temperatūros reikšmių butuose (apie 45 %) viršija didžiausiąją norminę vertę. Naudojantis turimais matavimo rezultatais bei šio mikroklimato parametro kitimo grafikais pastebėta, jog didžioji dalis higienos normas viršijančių oro temperatūros reikšmių užfiksuota senos statybos daugiabučių namų butuose, kuriuose nėra šildymo prietaisų reguliavimo galimybių, todėl šie butai buvo peršildomi. Aukštesnėms oro temperatūroms palaikyti patalpose reikalingas didesnis šilumos poreikis, kuris taip pat lemia ir didesnes išlaidas butams šildyti.

Vėdinimo sistemų atnaujinimo galimybių analizė

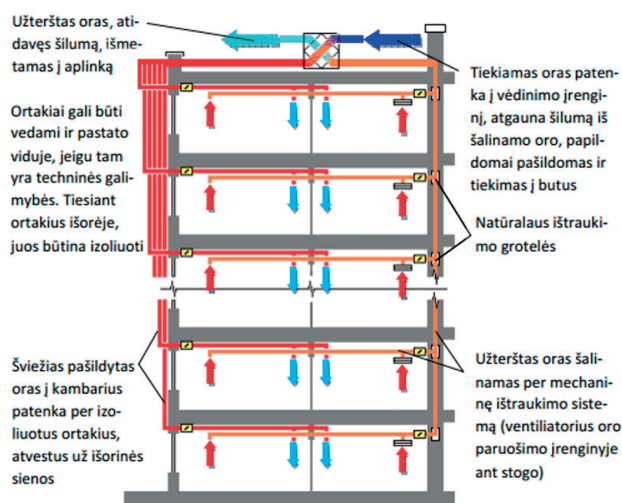
Modernizuojant daugiabučių gyvenamąjį namą ir jame įdiegiant centrinę rekuperacinę vėdinimo sistemą, vėdinimo įrenginys dažniausiai yra keliamas ant stogo. Taip pat yra galimybė vėdinimo įrenginį įrengti rūsyje, bet šiuo atveju iškyla papildomas poreikis išleidžiamam orui nukreipti (iš natūralios traukos kanalo) iki vėdinimo įrenginio. Iš patalpų oras šalinamas per esamus natūralaus vėdinimo ortakius specialiai įrengtose vertikaliuose šachtose. Kiekvienas butas turi atskirą ortakį, pro kurį ištraukiamas užterštas patalpų oras. Oro ištraukimo šachtos turi būti periodiškai valomos ir sureguliuojamos reikalingiems oro kiekiams ištraukti. Daugeliu atvejų erdvė oro tiekimo ortakiams tarp aukštų namų konstrukcijose nėra numatyta. Šią problemą galima

sprešti iškeliant oro tiekimo ortakius už išorinės sienos ir įkomponuojant juos į pastato išorinių sienų šiltinimo konstrukcijas (tiekiamo oro ortakiai privalo būti izoliuoti, kad patenkantis į patalpas pašildytas oras neatvėstų).

Kitas techninis keblumas yra vėdinimo ortakių išvedžiojimas pačiuose butuose. Absoliučioje daugumoje daugiabučių gyvenamųjų namų Lietuvoje nėra specialių nišų skirstymo ortakiams išvedžioti. Siekiant kuo mažiau paveikti buto interjerą, vėdinimo sistemos ortakius galima būtų išvedžioti po pakabinamomis lubomis, pavyzdžiui, koridoriuje. Iš čia ortakiai tiesiai per atitvarą būtų sujungiami su vėdinamomis patalpomis. Taip būtų išvengiama ortakių įrengimo pačiose vėdinamose patalpose. Deja, taip galima elgtis tik tam tikro suplanavimo butuose. Tuo atveju, jeigu ortakių vedžiojimas per kambarius tampa neišvengiamas, juos galima būtų slėpti palubės kampuose atliekant apdailą.

Diegiant mechaninę vėdinimo sistemą, šalia techninių problemų sprendimo, taip pat labai svarbu aiškiai ir argumentuotai spręsti žmonių informavimo klausimus. Šalia visiems gerai suvokiamo investicijų poreikio, energijos sutaupymo ir atsipirkimo, būtina išsiaiškinti ir kitus mechaninės vėdinimo sistemos įdiegimo privalumus, kurie dažnai yra labai svarbūs, bet negali būti materialiai įvertinti (Autukas 2015). Tai bendras gyvenamosios aplinkos komforto lygio padidėjimas, kai patalpos yra nuolatos vėdinamos, dulkių kiekio sumažėjimas, sąlygų pelėsiams augti nesudarymas, kartu sumažėja alergizuojančių veiksnių poveikis. Toliau pateiktoje schemoje (6 pav.) vaizduojama centralizuota mechaninė vėdinimo sistema, kai vėdinimo įrenginys yra statomas ant stogo, o oro tiekimo ortakiai tarp aukštų yra išnešami už pastato išorinių atitvarų.

Sistemą galima diegti tiek visam pastatui, tiek kompiškai pastato daliai. Tačiau vertinant iš jau įdiegtų dau-



6 pav. Centralizuotos vėdinimo sistemos principinė schema
Fig. 6. Schematic of the centralized ventilation system

giabučių namų modernizacijos projektu, ši sistema nėra itin populiarė. Atsižvelgiant į esamą daugiabučių namų techninę ir valdymo organizavimo situaciją, centralizuota rekuperacinė sistema turi ir tokių trūkumų kaip:

- didelis pastatų aukštingumas sudaro techninių problemų ilgiems ortakiams įrengti. Be numatytų techninių aukštų, pastatams, didesniems nei 5 aukštų, ši sistema tampa techniškai sudėtinga net ir iškeliant ortakius už išorinių atitvarų;
- tokiose sistemose santykinai mažos galimybės kontroliuoti oro srautus. Tai ypač svarbu siekiant turėti individualią vartojamos energijos reguliavimo ir apskaitos galimybę.

Siekiant name įdiegti centralizuotą rekuperacinę vėdinimo sistemą, reikia gauti praktiškai visų namo gyventojų sutikimą. Įvertinant turimą patirtį galima teigti, kad visuomet atsiras dalis gyventojų, kurie prieštarauja priemonei, net jei tai itin prisidėtų prie jų pačių gyvenamosios aplinkos komforto sąlygų pagerinimo bei lemtų patrauklius ekonominius rodiklius.

Nagrinėjami vėdinimo sistemų variantai

Kaip pagrindinis variantas nagrinėjamas tipinio renovuoto daugiabučio pastato butas su natūralaus vėdinimo sistema. Nagrinėjamas tipinis 45 butų pastatas, kurio bendras plotas yra 2535,4 m². Šildymo sezono metu vidutinė lauko oro temperatūra yra apie 0 °C, o bute palaikoma 20 °C temperatūra. Bendras metinis šilumos poreikis, reikalingas pastato šilumos nuostoliams per atitvaras padengti, šildymo sezono metu yra 63,6 kWh/m² (renovuotas tipinis daugiabutis). Pagrindinio varianto bute šviežias lauko oras patenka per pastato languose sumontuotas orlaides, o šalinamas per virtuvėje, vonioje ir tualete esančias vėdinimo šachtas. Daroma prielaida, jog patalpos natūraliai vėdinamos visą parą. Šios orlaidės languose sureguliuotos taip, kad patalpose užtikrintų norminę šviežio oro apykaitą, kuri yra lygi 0,5 karto per valandą.

Hibridinės vėdinimo sistemos techniniai rodikliai (1 derinys)

Šios alternatyvos atveju šviežias lauko oras patenka per buto languose sumontuotas orlaides (kaip ir pagrindinio varianto atveju), tačiau šalinamas iš virtuvės, vonios ir tualetų patalpų naudojant kanalinių ventiliatorių. Kadangi ši hibridinė sistema turi valdiklį (valdomas oro ištraukimo ventiliatorius), nustatyta, jog patalpos bus vėdinamos tik tada, kai gyventojai bus namie, t. y. šokiadieniais nuo 18:00 iki 8:00 valandos bei savaitgaliais. Ši sistema sureguliuota taip, kad gyventojams esant namuose patalpose yra užtikrinama norminė šviežio oro apykaita, kuri yra lygi 0,5 karto per valandą.

Decentralizuotos mechaninės vėdinimo sistemos su šilumos regeneracija techniniai rodikliai (2 derinys)

Šiuo atveju nagrinėjamas daugiabučio pastato butas, vėdinamas sieniniais regeneraciniais vėdinimo įrenginiais. Kiekviename buto kambaryje, kur reikia mechaninio vėdinimo, įrengta po vieną tokių įrenginių. Gyvenamosios patalpos taip bus vėdinamos, kai gyventojai bus namie, t. y. darbo dienomis nuo 18:00 iki 8:00 valandos bei savaitgaliais.

Centrinės mechaninės vėdinimo sistemos su šilumos rekuperacija, naudojant rotacinį rekuperatorių (ir šilumos siurbli), techniniai rodikliai (3 derinys)

Šiuo atveju daugiabutis pastatas bus vėdinamas taikant anksčiau aptartą centralizuotą vėdinimo sistemą, kai šiluma gražinama naudojant gruntinį šilumos siurbli (pakeičiant jo efektyvumą).

Centrinės mechaninės vėdinimo sistemos su šilumos rekuperacija, naudojant plokštelinį kryžminių srautų rekuperatorių, techniniai rodikliai (4 derinys)

Pasirinkus šią alternatyvą numatoma, kad daugiabutis bus vėdinamas naudojant vėdinimo įrenginį su aukšto efektyvumo plokšteliu kryžminių srautų rekuperatoriumi.

Kadangi šis vėdinimo įrenginys turi programuojamą valdymo pultelį, todėl jis numatytas veikti, kai buto gyventojai yra namie, t. y. darbo dienomis nuo 18:00 iki 8:00 valandos bei savaitgaliais. Vartotojų patogumui vėdinimo įrenginys gali būti valdomas ne tik valdymo pulteliu, bet ir nuotoliniu būdu išmaniaisiais prietaisais su „Android OS“ operacine sistema.

Ekonominis vėdinimo atnaujinimo galimybių įvertinimas

Čia yra pateikiami visų darbe (Autukas 2015) nagrinėjamų buto vėdinimo variantų ekonominių rodiklių skaičiavimai. Nagrinėjami šie ekonominiai rodikliai: paprastas atsi-

pirkimo laikas (PAL), tikrasis atsipirkimo laikas (TAL), grynoji dabartinė vertė (GDV) bei vidinė gražos norma (VGN) (1 lentelė).

Paprastasis atsipirkimo laikas (PAL) – tai laikas, per kurį projekto nauda padengia jo sąnaudas. Skaičiuojant PAL nevertinamas pinigų nuvertėjimas.

Iš 1 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad 3 derinio paprastas atsipirkimo laikas yra trumpiausias iš visų variantų ir siekia 4,9 metų. Ilgiausią PAL turi 2 derinys, ši vėdinimo sistema atsipirks tik per 104,2 metus.

Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL) – tai laikas, per kurį projekto nauda padengia jo sąnaudas įvertinus pinigų nuvertėjimą laikui bėgant. Skaičiavimuose priimta 5,5 % dydžio diskonto norma.

Iš 1 lentelės rezultatų matyti, kad 3 derinio tikrasis atsipirkimo laikas yra trumpiausias iš visų variantų ir siekia 5,9 metų. Deriniai 2 ir 4 neatsiperka.

Grynoji dabartinė vertė (GDV) – tai yra skirtumas tarp investicijos dabartinės vertės rinkoje ir jos sąnaudų. GDV apskaičiuojama diskontuojant visus laukiamus šio investicinio projekto pinigų srautus.

Pagal 1 lentelę akivaizdu, kad 3 derinio grynoji dabartinė vertė yra didžiausia iš visų variantų ir siekia 111 568 eurus. Mažiausią GDV turi pagrindinis variantas, praėjus 15 metų ši vertė bus –314 601 euras.

Vidinė gražos norma (VGN) – tai yra diskonto norma, kuriai esant projekto grynoji dabartinė vertė lygi nuliui. Ji nurodo palūkanų normą, kuriai esant apsimoka investuoti. Jeigu vidinė gražos norma aukštesnė negu kapitalo išlaidos, projekto verta imtis finansiniu požiūriu. Kuo aukštesnė vidinė gražos norma, tuo geresnis projektas. VGN skaičiuojama programoje „Excel“ taikant „IRR“ funkciją.

1 lentelėje pateikti duomenys rodo, kad 3 derinio vidinė gražos norma yra didžiausia iš visų variantų ir siekia 24 %. Mažiausią VGN turi 2 derinys ir ji šiuo atveju yra –6 %.

1 lentelė. PAL, TAL, GDV ir VGN skaičiavimų rezultatai

Table 1. Results of Simple Payback Period (PAL), Discounted Payback Time (TAL), Net Present Value (GDV) and Internal Rate of Return (VGN) calculations

Daugiabučio namo vėdinimo variantas	Pradinės investicijos, EUR	Paprastasis atsipirkimo laikas (PAL)	Tikrasis atsipirkimo laikas (TAL)	Grynoji dabartinė vertė (GDV), EUR	Vidinė gražos norma (VGN)
Pradinis variantas	12 681				
–	–12 681	–	–	–314 601	–
1 derinys	29 194				
Sutaupyta suma taikant 1 derinį	–29 194	12,8	22,9	2701	7 %
2 derinys	100 097				
Sutaupyta suma taikant 2 derinį	–100 097	104,2	Neatsiperka	–64 352	–6 %
3 derinys	60 580				
Sutaupyta suma taikant 3 derinį	–60 580	4,9	5,9	111568	24 %
4 derinys	144 152				
Sutaupyta suma taikant 4 derinį	–144 152	26,1	Neatsiperka	–70 956	–3 %

Parametrinės rodiklių analizės tikslas yra nustatyti ekonominių rodiklių kitimo priklausomybę nuo investies parametru. Atliekama pagrindinio varianto bei visų jo alternatyvų (derinių) parametrinė rodiklių analizė. Keičiami šie investies parametrai:

- metinė diskonto norma sumažinama nuo 5,5 % iki 3 %;
- Vyriausybei panaikinus CŠT lengvatą šilumos pridėtinės vertės mokestis pakiltų nuo buvusių 9 % iki 21 %. Tai tiesiogiai paveiktų ir šilumos kainą vartotojams, kuri padidėtų 12 % nuo buvusios 7,7 ct/kWh iki 8,6 ct/kWh.

Visi kiti investies duomenys paliekami tokie patys kaip ir skaičiuojant pirminį ekonominių rodiklių variantą.

Darbe nagrinėjamų buto vėdinimo variantų ekonominių rodiklių duomenys pirminiu skaičiavimo atveju ir pakeitus investies parametrus pateikti 2 lentelėje.

Iš 2 lentelės matyti, jog metinę diskonto normą sumažinus iki 3 %, o centralizuotai tiekiamos šilumos kainą pakėlus 12 %, sumažėjo visų pastato vėdinimo derinių paprastasis atsipirkimo laikas. Taip yra dėl to, jog pabrangus šilumos kilovatvalandės kainai, sutaupoma santykinai didesnė pinigų suma lyginant su pagrindiniu pastato vėdinimo variantu. Labiausiai sutrumpėjo sieninio rekuperatoriaus su keraminiu šilumokiačiu (2 derinys) atsipirkimo laikas.

Parametru pakeitimas turėjo didelę įtaką visų pastato vėdinimo sistemų tikrajam atsipirkimo laikui. Šiuo atveju didelę įtaką turėjo ne tik šilumos kainos vartotojams padidėjimas, bet ir diskonto normos sumažinimas. Didžiausias TAL skirtumas prieš investies duomenų pakeitimą ir juos pakeitus yra vėdinimo sistemos su plokščieliniu rekuperatoriumi (4 derinys).

Palyginus GDV prieš keičiant investies parametrus ir juos pakeitus, matyti, jog praėjus 15 metų laikotarpiui pagrindinio varianto pastato vėdinimo sistemos GDV bus dar mažesnė ir sumažės 118 086 eurais. Visų kitų derinių GDV išaugs. Didžiausias GDV prieaugis bus centralizuotos vėdinimo sistemos, veikiančios kombinuotai su šilumos siurbliu (3 derinys), šiam variantui GDV padidės net 86 018 eurais.

Visų kitų derinių GDV išaugs. Didžiausias grynosios dabartinės vertės prieaugis bus centralizuotos vėdinimo sistemos, veikiančios kombinuotai su šilumos siurbliu (3 derinys), šiam variantui GDV padidės net 86 018 eurais.

Metinę diskonto normą sumažinus nuo 5 % iki 3 %, o centralizuotai tiekiamos šilumos kainą pakėlus nuo 7,7 iki 8,6 ct/kWh, 2–6 % padidėjo ir visų derinių vidinė gražos norma. Didžiausias VGN padidėjimas matyti 2 ir 3 derinių atvejais.

Atlikus parametrinę rodiklių analizę ir pakeitus minėtus investies duomenis, matyti aiškus visų pastato vėdinimo variantų (išskyrus pagrindinį) ekonominių rodiklių pagerėjimas. Taip yra todėl, kad padidėjus šilumos kainai gana smarkiai išaugo buto šildymo išlaidos naudojant natūralią vėdinimo sistemą. Išlaidos išaugo ir kitais dviem pastato vėdinimo variantais (1 ir 2 derinių), kurių nuostoliams dėl vėdinimo padengti yra vartojama šiluma, gaunama iš centrinių šilumos tinklų, tačiau esant šilumos taupymo mechanizmui šių išlaidų padidėjimas yra santykinai mažesnis. Nemažą įtaką ekonominiams rodikliams, ypač TAL, turi ir diskonto normos mažėjimas. Mažėjant šiai normai įrenginių ekonominiai rodikliai gerėja, nes pinigai bėgant metams ne taip greit nuvertėja.

Išvados

1. Tirtų butų CO₂ koncentracijos ore vidutinė reikšmė visu matavimo laikotarpiu, kuris kiekviename bute truko po savaitę, buvo lygi 1217 ppm. Ši reikšmė yra 22 % didesnė už rekomenduojamą 1000 ppm koncentracijos ribą.
2. Gauta bendra vidutinė visų tyrimo metu matuotų butų oro apykaita, kuri lygi 0,276 karto per valandą. Ši vidutinė oro apykaitos reikšmė yra beveik 45 % mažesnė už rekomenduojamą 0,5 karto per valandą reikšmę gyvenamosiose patalpose. Kaip rodo CO₂ koncentracijos matavimai, butams tokios oro apykaitos nepakanka ir yra būtina papildomai vėdinti patalpas per atidarytus langus.
3. Atlikus ekonominę analizę, nustatyta, jog ekonominiu požiūriu geriausias mechaninio vėdinimo sprendinys

2 lentelė. Ekonominiai rodiklių duomenys prieš investies duomenų pakeitimą ir juos pakeitus

Table 2. Data of economic indicators before and after input data change

Variantas	PAL, metais		TAL, metais		GDV, EUR		VGN, %	
	Prieš pakeitimą	Pakeitus	Prieš pakeitimą	Pakeitus	Prieš pakeitimą	Pakeitus	Prieš pakeitimą	Pakeitus
Pagrindinis	–	–	–	–	–314 602	–432 688	–	–
1 derinys	12,8	10,7	22,9	13,2	2701	16 237	7	9
2 derinys	104,2	49,7	–	–	–64 353	–41 953	–6	–3
3 derinys	4,9	4	5,9	4,3	111 568	197 586	24	30
4 derinys	26,1	20,5	–	32,5	–70 956	–34 750	–3	0

tipiniame daugiabučiame name yra centralizuota vėdinimo sistema, veikianti kombinuotai su gruntuoju šilumos siurbliu, kai tiekiamieji ortakiai montuojami ant pastato fasadų, o ištraukimas vyksta esamais natūralios vėdinimo sistemos kanalais. Tokios sistemos atsipirkimo laikas yra apie 5 metai, tačiau pastate turi būti įrengtas šilumos siurblys „žemė – vanduo“. Nesant šilumos siurblių sistemos daugiabučiame pastate, ekonominiu aspektu naudingiausias mechaninio vėdinimo sprendinys yra įrengti programuojamus kanalinius ventiliatorius sanitariniuose mazguose ir virtuvės patalpoje, o oro pritekėjimą užtikrinti įrengiant mikroventiliacines orlaides.

Padėka

Autoriai dėkoja VGTU Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų laboratorijai bei magistrams V. Ankėnui ir T. Autukui už pagalbą atliekant reikiamus tyrimus.

Literatūra

- Ankėnas, V.; Motuzienė, V. 2015. Daugiabučių pastatų mikroklimato parametrų tyrimas. Pastatų inžinerinės sistemos, iš *18-osios teminės Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, 2015 m. balandžio 16 d., Vilnius, Lietuva. Vilnius: Technika, 5–10.
- Autukas, T. 2015. *Mechaninių vėdinimo sistemų įrengimo daugiabučiuose pastatuose galimybių analizė*: baigiamasis magistro darbas. Vilnius. 71–94.
- Bardana, E. J. 1997. Sick building syndrome: a wolf in sheep's clothing, *Annals of Allergy, Asthma and Immunology* 79(1997): 283–294.
[http://dx.doi.org/10.1016/s1081-1206\(10\)63017-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1081-1206(10)63017-7)
- Dargis, G. 2009. Hibridinis vėdinimas – optimalus energijos išteklių tausojimo būdas, *Architektūra, projektavimas ir statyba* 3: 108–111.
- Dimitroulopoulou, C. 2012. Ventilation in European dwellings: A review, *Building and Environment* 47: 109–125.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.016>
- HN 42:2009. Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas, *Valstybės žinios*, 2009 m. gruodžio 31 d., Nr. 159–7219.
- Juodis, E. 2009. *Vėdinimas*: vadovėlis. Vilnius: Technika.
- Kim, S. S.; Kang, D. H.; Choi, D. H.; Yeo, M. S.; Kim, K. W. 2008. Comparison of strategies to improve indoor air quality at the pre-occupancy stage in new apartment buildings, *Building and Environment* 43(2008): 320–328.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.03.026>
- Laverge, J.; Bossche, N.; Heijmans, N.; Janssens, A. 2011. Energy saving potential and repercussions on indoor air quality of demand controlled residential ventilation strategies, *Building and Environment* 46(2011): 1497–1503.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.023>

STR 2.09.02:2005. Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas, *Valstybės žinios*, 2005 m. birželio 16 d., Nr. 75-2729, 31 p.

RESEARCH OF APARTMENT BUILDINGS' VENTILATION SYSTEMS AND ANALYSIS OF SYSTEM RENEWAL OPTIONS

K. Valančius, S. Paulauskaitė, V. Motuzienė

Abstract

The paper presents experimental study of apartment buildings' ventilation parameters which was carried out during the heating season. The results show that the existing apartment buildings often don't guarantee the hygienic conditions that are directly related to the indoor air ventilation. Also article contains an analysis of possibilities to upgrade the ventilation systems of apartment buildings. Four ventilation systems' upgrade options were examined. The economic analysis showed that according to the economic aspect the best solution for mechanical ventilation in the typical apartment houses is a centralized ventilation system which operates in combination with ground heat pump when supply ducts are mounted on the building facade, and extraction takes place at existing natural ventilation system channels.

Keywords: apartment buildings, ventilation, air parameters investigation, economic analysis.