

**Rīgas Tehniskā universitāte**  
BŪVNICĪBAS UN MAŠĪNINĪBU  
FAKULTĀTE  
ILGTSPĒJĪGO BŪVMATERIĀLU UN  
INŽENIERSISTĒMU INSTITŪTS



**Riga Technical University**  
FACULTY OF CIVIL AND  
MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF SUSTAINABLE  
BUILDING MATERIALS AND  
ENGINEERING SYSTEMS

Kipsalas iela 6A, LV-1048, Rīga, Latvija  
Tālr./fakss 67089080

Kipsalas 6A, LV-1048, Riga, Latvia  
Phone/Fax: +371 67089080

---

# Rekomendācijas par ilgtspējīgiem ventilācijas sistēmas kā inženiersistēmas sastāvdaļas risinājumiem ēku energoefektivitātes veicināšanai

Līgums Nr. IL/48/2025/KEM

## **Projekta vadītājs:**

Dr.sc.ing. Aleksandrs Zajacs

## **Izstrādāja:**

M.sc.ing. Artūrs Paļčikovskis

Dr.sc.ing. Anatolijs Borodiņecs (sert. 3-00721)

Ph.d. Raimonds Bogdanovičs (sert. 3-02397)

Dr.sc.ing. Jurgis Zemītis (sert. 3-00435)

**Rīga, 2026**

## Saturs

Kopsavilkums .....	3
Metodoloģija.....	7
Latvijas būvnormatīvu un standartu prasību pārskats.....	10
1.metode.....	15
2. metode.....	16
3. metode.....	20
Nedzīvojamo ēku ventilācijas intensitātes noteikšanas piemēri .....	20
Skolas klases telpa .....	20
Bērnudārza telpa .....	24
Biroja telpa.....	26
Dažādu ventilācijas risinājumu energopatēriņu novērtējums .....	30
Skolas klases telpa .....	32
Bērnudārza telpa .....	37
Biroja telpa.....	41
Ēkas enerģijas patēriņš atkarībā no ventilācijas risinājuma.....	46
Ventilācijas iekārtu zonēšana .....	50
Decentralizētās ventilācijas risinājumi .....	52
Secinājumi.....	61
Vadlīniju pamatprincipi ilgtspējīgas ventilācijas ieviešanai publiskās ēkās .....	64
Rekomendācijas ventilācijas sistēmu efektīvākai izmantošanai.....	65
Ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmu inspicēšana un uzturēšana .....	66
Priekšlikumi normatīvā regulējuma pilnveidošanai ventilācijas sistēmu ieviešanai .....	67
Izmantotās literatūras saraksts .....	70
Pielikumi.....	72

## Kopsavilkums

Šī darba ietvaros tika veikts ilgtspējīgu ventilācijas sistēmu (gan centralizēto, gan decentralizēto) ieviešanas novērtējums publiskajās ēkās Latvijā un sagatavotas argumentētas rekomendācijas vadlīniju izstrādei. Šīs vadlīnijas ir vērstas uz energoefektīvu, tehnoloģiski pamatotu un uz cilvēka veselības aizsardzību orientētu risinājumu plašāku ieviešanu.

Pirmajā posmā tika veikts esošo ventilācijas risinājumu izvērtējums, tirgus analīze un iekārtu salīdzinājums, kā arī normatīvā regulējuma izpēte un publiskajām ēkām piemērojamo gaisa apmaiņas intensitātes noteikšanas metožu apkopojums. Analīze fokusējas uz izglītības iestādēm (skolām un pirmsskolas izglītības iestādēm) un biroju ēkām. Papildus tika veikta dažādu telpu energopatēriņa analīze, ņemot vērā telpu izmantošanas veidu, noslodzi, iekštelpu gaisa kvalitātes prasības un citus būtiskus parametrus.

Energoapatēriņa aprēķini tika veikti, izmantojot dinamiskās simulācijas programmatūru IDA ICE, kas ļauj modelēt reālus ekspluatācijas apstākļus, tostarp iekšējos siltuma ieguvumus, gaisa piesārņojuma avotus, ārējā klimata ietekmi un ventilācijas radītos siltuma zudumus. Atšķirībā no statiskām metodēm, dinamiskā modelēšana nodrošina būtiski precīzāku ventilācijas sistēmu ietekmes novērtējumu uz enerģijas patēriņu un iekštelpu mikroklimatu. Kopumā tika analizēti 24 scenāriji (skolu, biroju un bērnu dārzu telpām), kas ļāva strukturēti salīdzināt dažādus ventilācijas risinājumus.

Otrajā posmā tika veikta papildu modelēšana ēkas mērogā, izvērtējot dažādu ventilācijas risinājumu ietekmi uz kopējo enerģijas patēriņu apkurei un ventilācijas sistēmu darbībai. Tika analizēti vēl 8 scenāriji, kas ietver dažādas renovācijas un ventilācijas sistēmu kombinācijas. Rezultāti ļāva novērtēt ietekmi uz iekštelpu gaisa kvalitāti, energoefektivitāti un sistēmu darbības optimizāciju.

Pētījuma rezultāti parāda, ka ventilācijas sistēmām ir būtiska ietekme gan uz ēku enerģijas patēriņu, gan uz lietotāju veselību un komfortu. Liela daļa pieplūdes gaisa nepieciešama cilvēku radītā piesārņojuma, īpaši CO<sub>2</sub>, samazināšanai, un CO<sub>2</sub> koncentrācija kalpo kā būtisks ventilācijas

efektivitātes rādītājs. Dabiskā ventilācija bieži ir nepietiekama, jo tā ir grūti kontrolējama, savukārt mehāniskās ventilācijas sistēmas nodrošina stabilāku un normatīviem atbilstošu gaisa apmaiņu.

Darba ietvaros tika izvērtētas dažādas ventilācijas aprēķinu metodes, secinot, ka praksē visdrošāk pielietojamas ir metodes, kas balstītas uz uztverto gaisa kvalitāti un normatīvi noteiktiem gaisa daudzumiem. Analīze arī apliecina, ka visefektīvākie risinājumi ir mehāniskās ventilācijas sistēmas ar siltuma atgūšanu un automātisku gaisa plūsmas daudzuma regulāciju, kas ļauj pielāgot sistēmas darbību faktiskajai telpu noslodzei.

Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, tika definēti pamatprincipi vadlīniju izstrādei ilgtspējīgu ventilācijas sistēmu ieviešanai publiskajās ēkās. Tika izskaidroti sistēmu izvēles kritēriji, tehniskie ierobežojumi, zonēšanas iespējas un decentralizēto risinājumu pielietošanas nosacījumi. Apkopotā informācija kalpo par pamatu rekomendācijām publisko ēku īpašniekiem un apsaimniekotājiem par ventilācijas sistēmu izvēli, ieviešanu un efektīvu ekspluatāciju.

Pētījumā tika izmantota kombinēta metodoloģija, apvienojot kvantitatīvo analīzi un dinamisko modelēšanu ar kvalitatīvu normatīvu dokumentu un labās prakses izvērtējumu. Rezultātā izstrādāts strukturēts, datus balstīts un praktiski pielietojams materiāls, kas var kalpot kā pamats turpmākai politikas plānošanai, vadlīniju izstrādei un sabiedrības izpratnes veicināšanai par ilgtspējīgiem ventilācijas risinājumiem.

## Summary

The objective of this study is to assess the current situation through modelling of sustainable ventilation system implementation (both centralized and decentralized) in public buildings in Latvia, and to develop well-founded recommendations for the preparation of guidelines. These guidelines aim to promote the wider adoption of energy-efficient, technologically sound, and human health-oriented solutions.

The study is structured in two interrelated phases.

In the first phase, an evaluation of existing ventilation solutions was carried out, including market analysis, comparison of equipment, and a review of the regulatory framework. In addition, methods for determining ventilation rates applicable to public buildings were compiled and assessed, with a focus on educational institutions (schools and kindergartens) and office buildings.

An analysis of energy consumption in different types of spaces was performed, taking into account room usage, occupancy levels, indoor air quality requirements, and other relevant parameters.

Energy performance calculations were conducted using the dynamic simulation software IDA ICE, which allows modelling of real-life operating conditions, including internal heat gains, sources of air pollution, outdoor climate impact, and ventilation-related heat losses. Compared to static methods, dynamic modelling provides a significantly more accurate assessment of the impact of ventilation systems on energy consumption and indoor environmental quality. In total, 24 simulation scenarios were analyzed (for school, office, and kindergarten spaces), enabling a structured comparison of different ventilation solutions.

In the second phase, additional modelling was carried out at the building level to evaluate the impact of different ventilation solutions on total energy consumption for heating and ventilation system operation. A further 8 simulation scenarios were developed, representing various combinations of building renovation and ventilation system solutions. These simulations allowed assessment of their impact on indoor air quality, overall energy efficiency, and system performance.

The results demonstrate that ventilation systems have a significant impact on both building energy consumption and occupant health and comfort. A large portion of the supply air is required to dilute human-generated pollutants, particularly CO<sub>2</sub>, which is identified as a key indicator of ventilation performance. Natural ventilation is often insufficient due to its limited controllability, whereas mechanical ventilation systems ensure more stable and standards-compliant air exchange.

Different ventilation calculation methods were evaluated in the study, concluding that methods based on perceived air quality and predefined airflow rates are the most reliable in practice. The analysis also shows that the most efficient solutions are mechanical ventilation systems with heat recovery and demand-controlled operation, allowing system performance to adapt to actual occupancy levels.

Based on the modelling results, key principles for the development of guidelines for sustainable ventilation system implementation in public buildings were defined. The study outlines system selection criteria, technical constraints, zoning possibilities, and application conditions for decentralized solutions. The compiled information serves as a basis for recommendations to public

building owners and operators regarding the selection, implementation, and efficient operation of ventilation systems.

The study applies a combined methodology, integrating quantitative analysis and dynamic modelling with qualitative assessment of regulatory documents and best practices. As a result, a structured, data-driven, and practically applicable output has been developed, which can support future policy planning, guideline development, and increased public awareness of sustainable ventilation solutions as a key factor in improving building energy efficiency and indoor environmental quality.

# Metodoloģija

Metodoloģija balstīta uz Latvijas normatīvo aktu prasību analīzi un to praktisku pielietošanu ventilācijas projektēšanā. Visi aprēķini un simulācijas tiek veikti, ievērojot Latvijas būvnormatīvu LBN 231-15 [1] un standartu LVS EN 16798-1:2021 [2], kas nosaka iekštelpu klimata un ventilācijas pamatnosacījumus. Nepieciešamā pieplūdes gaisa daudzuma noteikšanai tiek pielietotas visas trīs aprēķina metodes, kuras aprakstītas standartā LVS EN 16798-1:2021. Šīs metodes nodrošina vairāku pieeju salīdzinājumu un atbilstošas metodes izvēli atkarībā no datu pieejamības un telpas lietošanas specifikas. Standartā definētās pieejas ir šādas:

1. Metode, kas balstīta uz uztverto gaisa kvalitāti – aprēķins, kur ventilācijas apjoms tiek noteikts pēc cilvēku radītā diskomforta ierobežošanas (uztveres jeb komforta kritēriji).
2. Metode ar piesārņojuma koncentrācijas robežvērtībām – aprēķins, kurā tiek nodrošināta piesārņojošo vielu (piemēram, CO<sub>2</sub>) koncentrāciju nepārsniegšana noteiktajās robežās, izmantojot attiecīgas formulas un pieļaujamās koncentrācijas.
3. Metode ar iepriekš noteiktiem ventilācijas lielumiem – aprēķins, kas balstās uz normatīvi noteiktām (iepriekš definētām) ventilācijas gaisa plūsmas vērtībām. Šajā pieejā var izmantot standartā dotās vadlīnijas, piemēram, minimālo svaigā gaisa daudzumu uz vienu cilvēku, uz telpas platību vai citiem parametriem.

Papildus statistiskajiem aprēķiniem metodoloģijā izmantota arī dinamiskā simulācija, lai novērtētu ventilācijas intensitātes ietekmi uz iekštelpu gaisa kvalitāti un termālo komfortu reālos apstākļos. Tiek lietota ēku energosnieguma simulācijas programmatūra IDA ICE (Indoor Climate and Energy), kas ļauj veikt laika gaitā mainīgu daudzzonu ēku modelēšanu. Ar IDA ICE iespējams vienlaikus modelēt ēkas norobežojošās konstrukcijas, HVAC sistēmas (t.sk. ventilācijas iekārtas) un to vadības algoritmus. Tas dod iespēju kompleksi izvērtēt gan iekštelpu komforta rādītājus, gan energoefektivitāti katrā scenārijā. IDA ICE izmantošanas piemēri zinātniskos darbos:

- Englund u. c. pētījumā “*Measured and simulated energy use in a secondary school building in Sweden: a case study of validation, airing, and occupancy behaviour*” IDA ICE izmantots skolas ēkas enerģijas patēriņa simulācijai un validācijai [3].
- Jung u. c. rakstā “*Energy performance analysis of an office building in three climate zones*” IDA ICE lietots biroja ēkas energoefektivitātes analīzei dažādās klimata zonās [4].

- Serageldin u.c. pētījumā “*Development and validation of reduced-order building energy model for an Austrian zero-energy school using IDA ICE*” IDA ICE izmantots nulles enerģijas skolas ēkas modeļa izstrādei un validācijai [5].

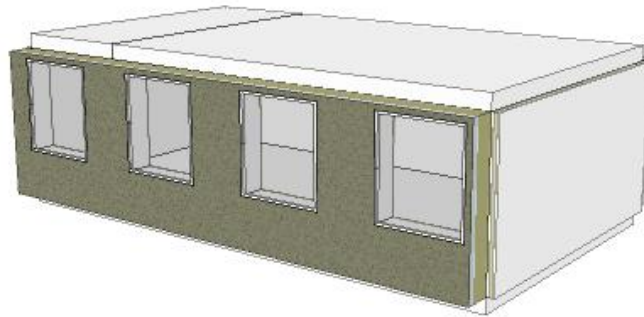
Darba ietvaros simulācijas programmatūra IDA ICE tiek izmantota iekštelpu klimata simulācijām dažādos scenārijos. Telpai tiks mainītas iemītnieku skaits, slodzes, ārējais klimats kā arī gaisa daudzumi, kuri tiks aprēķināti saskaņā ar esošiem valsts likumiem un pieņemtiem standartiem.

IDA ICE simulācijas veikšana tika izmantota Vidzemes novada skolas ēkas projekts, kuru ģeometrija no rasējumiem tiek ievadīta IDA ICE simulācijas programmā. Skolas ēkas izskats ir parādīts 1. attēlā:



1. attēls. IDA ICE simulācijas modelis skolas ēkai.

Nedzīvojamo ēku ventilācijas sistēmu projektēšanas ietvaros pieplūdes gaisa daudzuma noteikšanas piemēri tiks aprēķināti tipveida telpai no skolas ēkas (skat. 1. att.) ar grīdas platību  $64.72 \text{ m}^2$ , griestu augstumu  $3.0 \text{ m}$  un telpas tilpumu  $194.16 \text{ m}^3$ . Infiltrācija tiek pieņemta ka  $2.5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{ārējās virsmas}})$  pie spiediena starpības  $50 \text{ Pa}$  starp ārējo vidi un iekšējām. Klases telpas izskats ir parādīts 2. attēlā:



2. attēls. IDA ICE simulācijas modelis klases telpai.

Aprēķini tiks veikti vairākām ēkas un telpas lietojuma kategorijām, lai salīdzināmi novērtētu nepieciešamo pieplūdes gaisa apjomu un ventilācijas sistēmas patēriņu atkarībā no telpas funkcijas, paredzamās noslodzes un iekštelpu gaisa kvalitātes prasībām. Tiek izvēlētas trīs ēkas un telpas lietojuma kategorijas:

- biroja telpa;
- skola (mācību klase);
- bērnudārza telpa.

Projektējamais cilvēku skaits telpā ir atkarīgs no telpas lietojuma veida un izmantotā normatīvā avota, tādēļ starp LVS EN 16798-1:2021 un LVS CEN/TR 16798-2:2022 [6] var būt atšķirīgi pieņēmumi par platību uz vienu cilvēku. Saskaņā ar LV EN 16798-1:2021 klases telpām tiek pieņemta raksturīgā grīdas platība  $5.4 \text{ m}^2/\text{cilv.}$ , savukārt LVS CEN/TR 16798-2:2022 šai pašai telpu kategorijai norāda būtiski lielāku lietojuma intensitāti, attiecīgi pieņemot  $2.0 \text{ m}^2/\text{cilv.}$  Līdzīga neatbilstība vērojama arī bērnudārza un dienas aprūpes telpām: LV EN 16798-1:2021 paredz  $3.8 \text{ m}^2/\text{cilv.}$ , bet LVS CEN/TR 16798-2:2022 –  $2.0 \text{ m}^2/\text{cilv.}$  Pretstatā tam biroju telpu gadījumā abas atsauces ir savstarpēji saskaņotas, paredzot  $10.0 \text{ m}^2/\text{cilv.}$

Praktiskās ekspluatācijas kontekstā klases telpām raksturīgā  $5.4 \text{ m}^2/\text{cilv.}$  vērtība bieži vien ir mazticama, jo tā ir relatīvi zems telpas noslogojums, kas ne vienmēr atbilst faktiskajam skolēnu skaitam un telpu plānošanas praksei. Šajā darbā telpu raksturīgā grīdas platība uz vienu cilvēku visām aplūkotajām telpu funkcijām tiek pieņemta atbilstoši LVS CEN/TR 16798-2:2022. Attiecīgi klases telpām, bērnudārza un dienas aprūpes telpām tiek lietota vērtība  $2.0 \text{ m}^2/\text{cilv.}$ , bet biroja telpām –  $10.0 \text{ m}^2/\text{cilv.}$

## Latvijas būvnormatīvu un standartu prasību pārskats

Ventilācijas sistēmas mērķis ir nodrošināt kontrolētu gaisa apmaiņu iekštelpās, uzturot higiēnisku un cilvēka veselībai drošu mikroklimatu. Tās pamatfunkcija ir piesārņoto iekštelpu gaisa masu izvadīšana un svaiga gaisa pieplūdes nodrošināšana, tādējādi regulējot ogļskābes gāzes koncentrāciju, mitruma režīmu un siltuma bilanci telpā.

Prasības ventilācijas sistēmām ir noteiktas Latvijas būvnormatīvā LBN 231-15 “Dzīvojamo un publisko ēku apkure un ventilācija”. Saskaņā ar būvnormatīva 75. punktu ventilācijas sistēmas projektē un ierīko tā, lai telpu paredzētās izmantošanas laikā netiktu apdraudēta cilvēku veselība un telpās tiktu nodrošināta sanitāri higiēniskajām normām atbilstoša gaisa kvalitāte, kā arī piemērojamajiem standartiem atbilstošs komforta līmenis.

Saskaņā ar LBN 231-15 90. punktu, ventilācijas sistēmas jāprojektē atbilstoši standartam LVS EN 16798-1:2021 *“Ēku energoefektivitāte. Ēku ventilācija. 1. daļa: Telpu mikroklimata ievades parametri ēku energoefektivitātes projektēšanai un novērtēšanai, ņemot vērā telpu gaisa kvalitāti, temperatūras režīmu, apgaismojumu un akustiku. M1-6 modulis”*.

Saskaņā ar LBN 231-15 90.1. punktu, ja telpās ir nodrošināts dabiskais apgaismojums, paredz dabisko vēdināšanu caur atveramām logu vērtnēm vai citām ietaisēm, nodrošinot vienreizēju gaisa apmaiņu stundā. Savukārt saskaņā ar LBN 231-15 90.6. punktu publiskajām telpām projektē autonomas ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmas atbilstoši telpu paredzētās izmantošanas normatīviem un tehnoloģiskajām prasībām.

Saskaņā ar LBN 231-15 96. punktu, ventilācijas sistēmas ražīgumu nosaka, balstoties uz projektēšanas izejas datiem. Sistēmas ražīgumam jābūt pietiekamam, lai apkalpojamajā zonā nodrošinātu svaiga gaisa padevi un attiecīgu komforta līmeni vai tehnoloģisko apstākļu izpildi. Ja projektēšanas uzdevumā attiecīgās ēkas ekspluatācijai nav noteiktas īpašas prasības, telpu iekšējās vides parametru un komforta rādītāju novērtējumu veic saskaņā ar LVS EN ISO 7730:2006 *“Siltuma vides ergonomika. Termālā komforta analītiska noteikšana un interpretācija, izmantojot paredzamā vidējā balsojuma (PMV) un paredzamā neapmierināto personu procenta (PPD) indeksu kalkulāciju un lokālā termālā komforta kritērijus”* [7], kā arī LVS EN 16798-1:2021 *“Ēku energoefektivitāte. Ēku ventilācija. 1. daļa: Telpu mikroklimata ievades parametri ēku*

*energoefektivitātes projektēšanai un novērtēšanai, ņemot vērā telpu gaisa kvalitāti, temperatūras režīmu, apgaismojumu un akustiku. M1–6 modulis”.*

Saskaņā ar LBN 231-15 97. punktu, ja vienīgais telpas gaisa piesārņojuma avots ir cilvēki, svaigā gaisa padeves absolūtais minimums ir **15 m<sup>3</sup>/h** uz vienu cilvēku. Savukārt 95. punkts nosaka, ka publiskas ēkas iekštelpu gaisa kvalitāte jānodrošina tā, lai CO<sub>2</sub> koncentrācija nepārsniegtu **1000 ppm**.

Saskaņā ar LBN 231-15 98. punktu, svaigā gaisa padevi projektē sabalansēti ar no telpām izvadāmā piesārņotā gaisa daudzumu, vienlaikus paredzot nepieciešamo spiediena starpību starp vairāk un mazāk piesārņotām telpām vai telpas zonām.

Saskaņā ar LBN 231-15 99. punktu, ventilācijas sistēmas ražīgumu nosaka tā, lai nodrošinātu pietiekamu svaigā gaisa sajaukšanos ar telpas gaisu; enerģijas patēriņa samazināšanas nolūkā pieļauj gaisa recirkulāciju, ja telpā neizdalās kaitīgas vielas, baktērijas vai izteikti nepatīkamas smakas, un recirkulāciju piemēro funkcionāli vienādās telpās (piemēram, viena dzīvokļa, viesnīcas numura vai viengimenes mājas ietvaros).

Saskaņā ar LBN 231-15 100. punktu, lai taupītu energoresursus, paredz ventilācijas sistēmas ražīguma regulēšanas iespējas atkarībā no telpas gaisa piesārņojuma līmeņa, kas ekspluatācijas laikā var mainīties. Vienlaikus tam, saskaņā ar LBN 231-15 104. punktu, lai taupītu enerģiju, priekšroka dodama telpu dabiskās ventilācijas sistēmām, vienlaikus paredzot apmaināmā gaisa daudzuma regulēšanas iespējas atbilstoši mainīgiem āra gaisa parametriem.

Saskaņā ar LBN 231-15 105. punktu, ja ar dabisko ventilāciju nav iespējams nodrošināt gaisa kvalitātes prasības apkalpojamajā zonā, paredz mehāniskās ventilācijas sistēmu projektēšanu, bet saskaņā ar 105.1. punktu, ja tiek būvēta jauna izglītības iestāde, centralizētas mehāniskās ventilācijas sistēmas izbūve ir obligāta.

Saskaņā ar LBN 231-15 106. punktu, telpām vai telpu zonām, kurās nav iespējams nodrošināt dabisko ventilāciju, paredz mehāniskās ventilācijas sistēmas.

Saskaņā ar LBN 231-15 107. punktu ar mehāniskās nosūces ventilācijas sistēmām lokalizē kaitīgos izdalījumus telpas gaisā, nodrošinot atbilstošu spiediena starpību starp telpām, kurās kaitīgo izdalījumu apjoms atšķiras; gaisam jāplūst no telpām ar tīrāku gaisu uz telpām ar piesārņotāku gaisu.

Saskaņā ar LBN 231-15 108. punktu mehāniskās nosūces ventilācijas sistēmu izvadāmo gaisa daudzumu kompensē ar atbilstošu pieplūdes gaisa daudzumu, ko sagatavo un padod telpās mehāniskās pieplūdes ventilācijas sistēmas; pieplūdes gaisa padeves ātrums nedrīkst pārsniegt piemērojamajos standartos noteiktos komforta kritērijus.

Saskaņā ar LBN 231-15 109. punktu mehāniskās nosūces ventilācijas projektēšana, neparedzot mehānisko pieplūdes ventilāciju, ir pieļaujama gadījumos, kad izvadāmā gaisa daudzums ir neliels un siltuma izdalīšanās telpā vai apkures sistēma spēj nodrošināt infiltrētā gaisa uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu, kā arī telpās nerodas caurvēja vai pazemināta spiediena (vakuuma) efekts; šāds risinājums nav pieļaujams, ja āra gaisa putekļu koncentrācija pārsniedz telpās pieļaujamo putekļu koncentrāciju.

Saskaņā ar standartu LVS EN 16798-1:2021 ir noteikti četri iekštelpu vides kvalitātes kategoriju līmeņi:

- IEQ I – augsta vēlmju līmenis;
- IEQ II – vidējs vēlmju līmenis;
- IEQ III – mērens vēlmju līmenis;
- IEQ IV – zems vēlmju līmenis.

Kategorijas ir saistītas ar ēkas lietotāju vēlmju līmeni. Par normālu līmeni tiek uzskatīts vidējais. Augstāku līmeni var izvēlēties lietotājiem ar īpašām vajadzībām, piemēram, bērniem, senioriem, personām ar invaliditāti. Zemāks līmenis neradīs veselības risku, taču var samazināt komforta līmeni.

Iekštelpu termiskā komforta kategoriju (I–IV) klasifikācija un katrai kategorijai atbilstošais paredzamais neapmierināto īpatsvars (PPD), kas izteikts procentos (%), ir apkopots 1. tabulā. PPD (angļu val. *Predicted Percentage of Dissatisfied*) ir termiskā komforta rādītājs, kas prognozē, kāda daļa cilvēku (procentos) noteiktos iekštelpas apstākļos jutīsies neapmierināti ar termisko vidi. Šis rādītājs ir cieši saistīts ar PMV (angļu val. *Predicted Mean Vote*), kas raksturo vidējo subjektīvo termisko sajūtu skalā no aptuveni –3 (auksti) līdz +3 (karsti).

Praksē PPD visbiežāk aprēķina no PMV, izmantojot empīrisku sakarību saskaņā ar standartu LVS EN ISO 7730:2006, kas dota 1. vienādojumā:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)}, \quad (1.)$$

kur: PPD – paredzamais neapmierināto īpatsvars, %; PMV – prognozētais vidējais vērtējums.

Pat termiski neitrālos apstākļos ( $PMV \approx 0$ ) PPD rādītāja teorētiski sasniedzamā minimālā vērtība ir aptuveni 5%, kas nozīmē, ka arī optimāli izvēlētos mikroklimata parametros saglabājas neliela paredzamā lietotāju daļa, kuras termiskā komforta uztvere individuālo fizioloģisko un subjektīvo atšķirību dēļ neatbilst “apmierinātības” kritērijam.

1. tabula

Termiskā komforta kategorijas un paredzamais neapmierināto procentuālais daudzums (PPD), %.

Kategorija	Paredzamais neapmierināto procentuālais daudzums (PPD)
	%
I	15
II	20
III	30
IV	40

Standarts LVS EN 16798-1:2021 papildus četrām iekštelpu vides kvalitātes kategorijām nosaka arī trīs ēku kategorijas:

- Ēka ar ļoti zemu piesārņojumu (LPB-1) – ēka, kurā pārsvarā tiek izmantoti materiāli un mēbeles ar ļoti zemu emisiju līmeni, ir aizliegtas darbības, kas rada piesārņojošo vielu emisijas, kā arī nav bijuši iepriekšēji emisiju avoti (piemēram, tabakas dūmi vai emisijas no tīrīšanas līdzekļiem).
- Ēka ar zemu piesārņojumu (LPB-2) – ēka, kurā pārsvarā tiek izmantoti materiāli ar zemu emisiju līmeni, turklāt ir ierobežota tādu materiālu izmantošana un darbību veikšana, kas rada piesārņojošo vielu emisijas.
- Ēka bez zema piesārņojuma statusa (LPB-3) – ēka, kurā nav veikti pasākumi zemu emisiju materiālu izvēlei un kurā darbības, kas rada piesārņojošo vielu emisijas, nav ierobežotas vai aizliegtas.

Pēc noklusējuma ēka tiek **uzskatīta par ēku ar zemu piesārņojumu**, ja vien iepriekšējās darbības nav izraisījušas tās piesārņojumu (piemēram, smēķēšana). Šādos gadījumos ēka tiek klasificēta kā ēka ar normālu piesārņojuma līmeni. Savukārt kategorija “ļoti zems piesārņojums” paredz, ka lielākajai daļai iekštelpu apdares būvmateriālu jāatbilst valsts vai starptautiski noteiktiem ļoti zema piesārņojuma materiālu kritērijiem.

Saskaņā ar LVS EN 17698-1:2021 B.4 sadaļu, ēku var uzskatīt par zema vai ļoti zema piesārņojuma ēku, ja lielākajai daļai iekšdarbu materiālu raksturīga zema vai ļoti zema emisija. Pie šādiem materiāliem pieskaitāmi akmens, stikls, keramiskie materiāli un neapstrādāts metāls, jo tie parasti neizraisa emisijas iekštelpu gaisā. Savukārt materiāli, kuriem var būt nelielas emisijas, tiek klasificēti kā zemas vai ļoti zemas emisijas materiāli, ja to rādītāji tiek apstiprināti, veicot testēšanu ventilētā kamerā pēc 28 dienām atbilstoši starptautiskajiem standartiem, piemēram, EN 16516 vai ISO 16000-3.

Zema vai ļoti zema piesārņojuma ēku kritēriji ir attēloti 2. tabulā:

2. tabula

Kritēriji zema vai ļoti zema piesārņojuma ēku tipiem.

Avots	Izstrādājumi ar zemu emisiju ēkām ar zemu piesārņojumu	Izstrādājumi ar ļoti zemu emisiju ēkām ar ļoti zemu piesārņojumu
Kopējā <i>VOV TVOC</i> (EN 16516)	< 1000 µg/m <sup>3</sup>	< 300 µg/m <sup>3</sup>
Formaldehīds	< 100 µg/m <sup>3</sup>	< 30 µg/m <sup>3</sup>
C1A vai C1B klasificēts kancerogēns <i>VOV</i>	< 5 µg/m <sup>3</sup>	< 5 µg/m <sup>3</sup>
R vērtība (EN 16516)	< 1.0	< 1.0

Standarts LVS EN 16798-1:2021 nosaka ventilācijas sistēmas parametrus iekštelpu gaisa kvalitātei nodrošināšanai, izmantojot trīs metodēs:

1. **metode**, kas balstīta uz uztvertā gaisa kvalitāti;
2. **metode**, kurā izmanto gaisa piesārņojošo vielu koncentrācijas robežvērtības;

### 3. metode, kas balstīta uz iepriekšdefinētu ventilācijas gaisa plūsmas intensitāti.

Vienlaikus tam, projektējamie ventilācijas gaisa plūsmas daudzumi ir jāizmanto jebkura veida ventilācijas sistēmas projektēšanai, tostarp mehāniskajām, dabiskajām un hibrīdajām ventilācijas sistēmām.

Pēc LVS EN 16798-1:2021 noteikumiem, cilvēku veselības apsvērumu dēļ kopējais minimālais gaisa plūsmas ātrums cilvēku klātbūtnes laikā, izteikts kā l/s uz cilvēku, nekad nedrīkst būt mazāks par **4 l/s uz cilvēku**.

#### 1.metode

Lai samazinātu veselības apdraudējumu, ko rada konkrēts gaisa piesārņotājs, nepieciešams atsevišķi izvērtēt ventilācijas intensitāti, kas nodrošina vēlamo uztverto gaisa kvalitātes līmeni. Projektēšanā kā noteicošo jāpieņem lielākā no iegūtajām ventilācijas intensitātes vērtībām. Gadījumā, ja tiek identificēti veselībai kaitīgi emisiju avoti, papildus jāpārlicinās, ka piesārņotāju koncentrācijas nepārsniedz veselības robežvērtības (skatīt 2. metodi). Ventilācijas gaisa daudzums tiek noteikts, apvienojot nepieciešamo gaisa daudzumu cilvēkiem un telpai, un, saskaņā ar standarta pirmo aprēķināšanas metodi, tiek noteikta pēc 2. formulas:

$$q_{tot} = n \cdot q_p + A_R \cdot q_B, \quad (2.)$$

kur:  $q_{tot}$  – nepieciešamais gaisa daudzums, l/s;  $n$  – projektētais cilvēku skaits telpā;  $q_p$  – nepieciešamais gaisa daudzums cilvēkiem, l/(s·persona);  $A_R$  – telpas laukums, m<sup>2</sup>;  $q_B$  – nepieciešamais gaisa daudzums telpai, l/(s·m<sup>2</sup>).

Uztvertās gaisa kvalitātes līmeņi pēc noklusējuma ir definēti cilvēkiem, kuri nav adaptējušies attiecīgās ēkas iekštelpu videi. Dzīvojamās ēkās parasti pieņem, ka iemītnieki ir adaptējušies, savukārt nedzīvojamās ēkās kā pamatpieņēmums tiek izmantota neadaptētu personu klātbūtne. Ja nedzīvojamās ēkās uzturas adaptējušies cilvēki, šāds pieņēmums ir jāpamato.

Nepieciešamais gaisa daudzums cilvēku emisiju novadīšanai dažādu telpu kategorijām ir parādīts 3. tabulā:

3. tabula

Projektējamā ventilācijas gaisa daudzums mazkustīgām pieaugušo personām cilvēku emisiju atšķaidīšanas nodrošināšanai.

Kategorija	Gaisa plūsma uz cilvēku, kas nav adaptējies, l/s uz cilvēku
I	10
II	7
III	4
IV	2.5

Nepieciešamais gaisa daudzums telpu vai ēku emisiju atšķaidīšanai dažādu ēku kategorijām ir parādīts 4. tabulā:

4. tabula.

Projektējamā ventilācijas gaisa plūsma emisiju atšķaidīšanai dažādu ēku tipos.

Kategorija	Ēka ar ļoti zemu piesārņojumu, LPB-1	Ēka ar zemu piesārņojumu, LPB-2	Ēka, kas nav ar zemu piesārņojumu, LPB-3
	l/(s·m <sup>2</sup> )	l/(s·m <sup>2</sup> )	l/(s·m <sup>2</sup> )
I	0.5	1	2
II	0.35	0.7	1.4
III	0.2	0.4	0.8
IV	0.15	0.3	0.6

## 2. metode

Projektētais pieplūdes gaisa daudzums, kas nepieciešams atsevišķu kaitīgu un piesārņojošo vielu atšķaidīšanai, jāaprēķina pēc 3. vienādojuma:

$$Q_h = \frac{G_h}{c_{h,i} - c_{h,o}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (3.)$$

kur:  $Q_h$  – gaisa daudzums, kas nepieciešams kaitīgu un piesārņojošo vielu atšķaidīšanai, m<sup>3</sup>/s;  
 $G_h$  – kaitīgu un piesārņojošo vielu veidošanās ātrums, μg/s;  $C_{h,i}$  – kaitīgu un piesārņojošo vielu pieļaujamā robežvērtība, μg/m<sup>3</sup>;  $C_{h,o}$  – kaitīgu un piesārņojošo vielu koncentrācija pieplūdes gaisā, μg/m<sup>3</sup>;  $\varepsilon_v$  – ventilācijas sistēmas efektivitāte.

2. vienādojums ir piemērojams, ja kaitīgu un piesārņojošo vielu koncentrācija pieplūdes gaisā ir zemāka nekā to koncentrācija iekštelpās.  $C_{hi}$  noklusējuma vērtības ir dotas standart B.3.1.3. apakšpunktā (CO<sub>2</sub> gadījumam; skat. 5. tabulu) un B.7. apakšpunktā (citām vielām). Ventilācijas

efektivitātes  $\varepsilon_v$  noklusējuma vērtības (pieņemot pilnīgu sajaukšanos,  $\varepsilon_v = 1$ ) ir noteiktas standartā LVS EN 16798-3:2021. Koncentrāciju  $C_{h,0}$  var izteikt arī ppm vienībās, t. i., kā  $\text{ppm} \cdot 10^{-6}$  (tilpums/tilpums). Šādā gadījumā piesārņojuma slodze  $G_h$  jāizsaka l/s.

Pasaules Veselības organizācijas (PVO) veselības kritēriji iekštelpu gaisam (standarta LVS EN 16798-1:2021 B.7. apakšpunkts) praktiski tiek lietoti kā atskaites robežvērtības, īpaši situācijās, kad nav pieejamas detalizētākas nacionālās vadlīnijas. Tie raksturo gan īstermiņa, gan ilgtermiņa ekspozīcijas riskus un palīdz definēt mērķus ventilācijai un citiem gaisa kvalitātes uzlabošanas pasākumiem.

Kopsavilkums par kritēriju struktūru:

1. Piesārņotāji, kuriem PVO nenosaka drošu sliekšni:

- Benzols un policikliskie aromātiskie ogleņūdeņraži: vielas, kurām drošs koncentrācijas sliekšnis netiek definēts kancerogēnas iedarbības dēļ, tādēļ riska mazināšanas princips ir koncentrāciju samazināšana līdz iespējami zemākam līmenim.

2. Īstermiņa (akūtas) ekspozīcijas vadlīnijas:

- Oglekļa monoksīds (CO): 15 min 100 mg/m<sup>3</sup>; 1 st. 35 mg/m<sup>3</sup>; 8 st. 10 mg/m<sup>3</sup>; 24 st. 7 mg/m<sup>3</sup>;
- Formaldehīds: 30 min. 100 µg/m<sup>3</sup>;
- Slāpekļa dioksīds (NO<sub>2</sub>): 1 st 200 µg/m<sup>3</sup>;
- Sēra dioksīds (SO<sub>2</sub>): 10 min 500 µg/m<sup>3</sup>;
- Ozons (O<sub>3</sub>): 8 st 100 µg/m<sup>3</sup>.

3. Ilgtermiņa (hroniskas) ekspozīcijas vadlīnijas:

- NO<sub>2</sub>: gada vidējais līmenis 20 µg/m<sup>3</sup>;
- Naftalīns: gada vidējais līmenis 10 µg/m<sup>3</sup>;
- PM<sub>2.5</sub>: 24 st vidējais līmenis 25 µg/m<sup>3</sup>; gada vidējais līmenis 10 µg/m<sup>3</sup>;
- PM<sub>10</sub>: 24 st vidējais līmenis 50 µg/m<sup>3</sup>; gada vidējais līmenis 20 µg/m<sup>3</sup>;
- Radons: 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Vadlīnijas var izmantot kā minimālo veselības aizsardzības līmeni, it īpaši gadījumos, kad iekštelpām nav specifisku robežvērtību. Paaugstinātu iekštelpu piesārņojuma gadījumā rekomendējama ventilācijas intensitātes palielināšana (lai uzlabotu piesārņotāju atšķaidīšanu) un, ja nepieciešams, papildu gaisa attīrīšanas pasākumu izvērtēšana.

Izmantojot šo metodi, pieplūdes gaisa daudzuma noteikšanai izmanto CO<sub>2</sub> koncentrāciju gaisā kā cilvēku klātbūtnes un aktivitātes marķieris. Metode piedāvā izmantot masas bilances vienādojumu vielas koncentrācijai telpā, vienlaikus ņemot vērā attiecīgās vielas fona koncentrāciju ārā gaisā.

Papildus normatīvajā regulējumā noteiktajai robežvērtību pieejai zinātniskajā literatūrā CO<sub>2</sub> koncentrācijas mērījumi tiek plaši izmantoti arī faktiskās ventilācijas intensitātes novērtēšanai ekspluatācijas apstākļos. Pollozhani u. c. parādīja [8], ka klašu telpās ventilācijas intensitāti no CO<sub>2</sub> datiem iespējams noteikt ar dažādām masas bilances pieejām, un ka metode, kas balstīta uz diennakts vidējo CO<sub>2</sub> koncentrāciju, dod rezultātus, kas ir cieši saskaņoti ar pārejas režīma masas bilances metodi, relatīvajai atšķirībai nepārsniedzot aptuveni 10 %. Vienlaikus autori uzsver, ka CO<sub>2</sub> datos balstītu ventilācijas intensitātes novērtējumu būtiski ietekmē pieņēmumi par cilvēku skaitu telpā un CO<sub>2</sub> emisijas intensitāti, tādēļ interpretācijā jāņem vērā nenoteiktība.

Noklusējuma projektētās CO<sub>2</sub> koncentrācijas virs āra fona koncentrācijas pieņemot, ka standarta CO<sub>2</sub> emisijas intensitāte ir 20 l/(h·persona) ir attēlotas 5. tabulā:

5. tabula

Noklusējuma projektētās CO<sub>2</sub> koncentrācijas virs āra fona koncentrācijas.

Ēkas kategorija	Iekštelpu CO <sub>2</sub> koncentrācija virs ārēja gaisa CO <sub>2</sub> koncentrācijas, ppm
I	550
II	800
III	1350
IV	1350

Norādītās CO<sub>2</sub> robežvērtības var izmantot pieprasījuma kontrolētās ventilācijas sistēmās (piemēram, mainīga gaisa tilpuma (VAV) tipa sistēmās), nodrošinot ventilācijas intensitātes pielāgošanu reālajai telpas noslodzei.

Ventilācijas efektivitāte vai piesārņojuma izvadīšanas efektivitāte  $\epsilon_v$  ir radītājs, kas kvantitatīvi apraksta pieplūdes gaisa un telpas gaisa sadales (plūsmu struktūras, sajaukšanās un slāņošanās) spēju nodrošināt piesārņotāju atšķaidīšanu un izvadīšanu tieši apdzīvotajā zonā, īpaši elpošanas līmenī.

Normatīvajos aprēķinos pieņēmums  $\epsilon_v = 1$  tiek lietots kā ideāls (references) gadījums, kurā pieņem, ka telpas gaiss ir efektīvi un vienmērīgi sajaukts. Attiecīgi piesārņotāju koncentrācija elpošanas zonā tiek uzskatīta par vienādu ar telpas vidējo koncentrāciju, un tabulās noteiktās

ventilācijas gaisa plūsmas tiek definētas šim ideālajam gaisa sadales scenārijam, nepiemērojot korekcijas par konkrētās sistēmas gaisa sadales īpatnībām.

Saskaņā ar standartu LVS EN 16798-3:2025 piesārņojuma izvadīšanas efektivitāte  $\varepsilon_v$  varētu būt izrēķināta ar 4. vienādojumu:

$$\varepsilon_v = \frac{C_e - C_s}{C_i - C_s}, \quad (4.)$$

kur:  $\varepsilon_v$  – ventilācijas sistēmas efektivitāte;  $C_e$  ir piesārņotāja koncentrācija nosūces gaisā;  $C_s$  ir piesārņotāja koncentrācija pieplūdes gaisā;  $C_i$  ir piesārņotāja koncentrācija elpošanas līmenī.

Saskaņā ar standartu LVS EN 16798-3:2025, bez individuāla projekta izstrādes piesārņojuma izvadīšanas efektivitātes koeficients jāpieņem  $\varepsilon_v = 1$ .

Ventilācijas efektivitāte ir atkarīga no konkrētiem projektēšanas risinājumiem un var mainīties atkarībā no temperatūras, gaisa tilpuma plūsmas, gaisa sadales un termiskajām slodzēm. Faktiski projektēšanas laikā koeficienta  $\varepsilon_v$  vērtība parasti nav zināma, izņemot tādus gadījumus, kad tā ir izmērīta kādā agrāk izbūvētā analogiskā telpā.

Papildus ventilācijas efektivitātes  $\varepsilon_v$  nenoteiktībai projektēšanas stadijā jāņem vērā arī tas, ka parasti nav zināma faktiskā CO<sub>2</sub> izdalīšanās intensitāte telpā. Standartos izmantotās CO<sub>2</sub> emisijas vērtības (piemēram, 20 l/(h·persona)) ir tipveida pieņēmumi, kas apraksta “standarta” metabolismu un aktivitāti, taču reālajā ekspluatācijā izdalījums būtiski variē atkarībā no cilvēku skaita, vecuma un ķermeņa masas, fiziskās slodzes, uzturēšanās ilguma, kā arī telpas faktiskās noslodzes dinamikas. Līdz ar to arī CO<sub>2</sub> kā klātbūtnes un aktivitātes marķiera izmantošana otrajā aprēķinu metodē balstās uz pieņēmumiem par emisiju, nevis uz verificētu piesārņojuma slodzi  $G_h$ .

Rezultātā vienlaikus pastāv divi principiāli nenoteikti ievades parametri: gan  $\varepsilon_v$ , gan faktiskā CO<sub>2</sub> ģenerācija ( $G_h$ ), un tas nozīmē, ka otro aprēķinu metodi pārliecinātā, ar izmērāmiem un pārbaudāmiem pieņēmumiem pamatotam aprēķinam parasti nevar izmantot. Šī metode praktiski dod tikai references novērtējumu (pieņemot tipveida CO<sub>2</sub> emisiju un ideālu sajaukšanos), ja vien konkrētā objektā nav pieejami mērījumi vai cita ticama validācija, kas ļauj pamatoti noteikt gan gaisa sadales efektivitāti, gan emisijas intensitāti.

### 3. metode

Trešajā metodē izmanto iepriekš definētu minimālo ventilācijas gaisa daudzumu, kas nodrošina gan pieplūdes gaisa kvalitātes, gan veselības prasību izpildi telpas elpošanas zonā. Iepriekš definētie ventilācijas gaisa daudzumi jāizsaka, izmantojot vienu vai vairākus no turpmāk minētajiem parametriem:

1. kopējais projektētais pieplūdes gaisa daudzums cilvēkiem un ēkas komponentiem;
2. projektētais pieplūdes gaisa daudzums uz grīdas platības vienību;
3. projektētais pieplūdes gaisa daudzums uz vienu cilvēku;
4. projektētā gaisa apmaiņa;
5. projektētais gaisa daudzums pa telpām un ēkas tiem.

Projektēto ventilācijas gaisa daudzumu var izteikt kā nepieciešamo āra gaisa plūsmu uz vienu personu ( $l/(s \cdot \text{cilvēku})$ ) vai kā nepieciešamo āra gaisa plūsmu uz grīdas platības vienību ( $l/(s \cdot m^2)$ ). Atsevišķiem telpu un ēku tiem pieplūdes gaisa daudzumu vērtības dažādām kategorijām ir pieejamas tehniskajā ziņojumā LVS CEN/TR 16798-2:2022.

## Nedzīvojamo ēku ventilācijas intensitātes noteikšanas piemēri

### Skolas klases telpa

Balstoties uz standarta LVS EN 16798-1 pirmo aprēķinu metodi, skolas klases telpai ar 32 cilvēkiem un ēkai ar zemu piesārņojuma līmeni ventilācijas intensitāti nosaka, izmantojot 2. formulu un 3. un 4. tabulas datus. Aprēķinu rezultāti apkopoti 6. tabulā.:

6. tabula

Projektējama ventilācijas intensitāte  $64.72 m^2$  klases telpai ar 32 cilvēkiem, aprēķināts ar pirmo aprēķinu metodi.

Ēkas kategorija	Ventilācijas intensitāte	
	l/s	$m^3/h$
I	<b>388.32</b>	<b>1397.88</b>

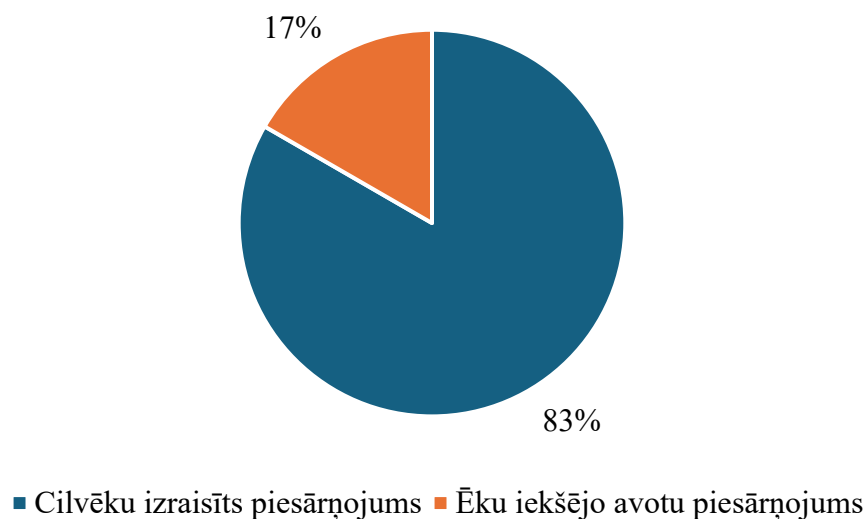
II	<b>271.82</b>	<b>978.55</b>
III	<b>155.33</b>	<b>559.18</b>
IV	<b>100.32</b>	<b>361.15</b>

Trešā aprēķinu metode ir balstīta uz LVS CEN/TR 16798-2:2022 datiem, un klases telpas rezultāti apkopoti 7. tabulā:

Projektējama ventilācijas intensitāte 64.72 m<sup>2</sup> klases telpai ar 32 cilvēkiem, aprēķināts ar trešo aprēķinu metodi.

Kategorija	Cilvēku blīvums	Minimāla gaisa plūsma uz vienu personu		Ventilācijas gaisa plūsma emisiju atšķaidīšanai (ēka ar zemu piesārņojumu)			Projektējamais pieplūdes gaisa daudzums	
	m <sup>2</sup> uz cilvēku	l/(s·m <sup>2</sup> )	l/s uz cilvēku	l/s, m <sup>2</sup>	l/s, m <sup>2</sup>	l/s uz cilvēku	l/s	m <sup>3</sup> /h
I	2	5	10	1	6	12	<b>388.32</b>	<b>1397.88</b>
II	2	3.5	7	0.7	4.2	8.4	<b>271.82</b>	<b>978.55</b>
III	2	2	4	0.4	2.4	4.8	<b>155.33</b>	<b>559.18</b>
IV	2	1.25	2.5	0.3	2	4	<b>100.32</b>	<b>361.15</b>

Attēlā 3. redzams pieplūdes gaisa daudzuma procentuālais sadalījums piesārņojuma atšķaidīšanas nodrošināšanai. Lielākā daļa pieplūdes gaisa (83%) ir paredzēta cilvēku radītā piesārņojuma (piemēram, CO<sub>2</sub>) atšķaidīšanai, savukārt 17% tiek novirzīti ēku un telpu iekšējo avotu piesārņojuma (piemēram, emisiju no apdares materiāliem, mēbelēm un iekārtām) atšķaidīšanai.



3. attēls. Pieplūdes gaisa daudzuma procentuālais sadalījums piesārņojuma atšķaidīšanai klases telpai.

Izmantojot otro aprēķinu metodi, ventilācijas intensitāti nav iespējams noteikt ar tiešu skaitlisku aprēķinu, jo nav zināmi visi aprēķinam nepieciešamie ieejas parametri. Īpaši būtiski ir tas, ka praksē bieži nav pieejami piesārņojošo vielu koncentrācijas pieauguma raksturlielumi (piemēram, emisijas intensitāte vai koncentrācijas pieauguma ātrums telpā noteiktā laika intervālā), kas šajā aprēķinu pieejā tieši nosaka masas bilances vienādojuma locekļus. Līdz ar to nav iespējams viennozīmīgi noteikt ventilācijas intensitāti tikai no metodes formulas, jo trūkstošie parametri rada nenoteiktību un neļauj veikt korektu aprēķinu bez papildu pieņēmumiem vai mērījumiem.

Ventilācijas intensitāti ar otro aprēķinu metodi var noteikt, izmantojot simulācijas programmatūru, tomēr projektēšanas stadijā praksē tas parasti nav iespējams. Līdz ar to otrās aprēķinu metodes dati ir vairāk piemēroti ventilācijas sistēmām ar vadību pēc CO<sub>2</sub> koncentrācijas, piemēram, VAV sistēmām. Saskaņā ar tehniskā ziņojuma LVS CEN/TR 16798-2:2022 B.11. tabulas datiem otrās metodes kritērijus var salīdzināt ar iepriekš aprēķinātajām CO<sub>2</sub> koncentrācijas pieauguma vērtībām (skat. 8. tabulu), kas iegūtas ventilācijas intensitātei, izmantojot pirmo un trešo metodi.

8. tabula

CO<sub>2</sub> līmeņu palielinājums iekštelpās klases telpās.

Ēkas vai telpas tips	Kategorija	Noslodze (cilvēks/m <sup>2</sup> )	ΔCO <sub>2</sub> (ppm)		
			Ļoti zems piesārņojums	Zems piesārņojums	Bez zema piesārņojuma
Klases telpa	I	0.5	505	463	397
	II	0.5	722	661	567
	III	0.5	1 263	1 157	992
	IV	0.5	1543	1 389	1 502

Ārējā CO<sub>2</sub> koncentrācija tika pieņemta 400 ppm saskaņā ar LVS CEN/TR 16798-2. Klases telpai ar noslodzi 0,5 cilvēks/m<sup>2</sup> kategorijās I–III iegūtās ΔCO<sub>2</sub> vērtības visos trijos piesārņojuma scenārijos ir zem attiecīgajām projektēšanas robežām (skat 5. tabulu). Savukārt kategorijai IV dotās ΔCO<sub>2</sub> vērtības robežvērtību pārsniedz visos trijos piesārņojuma scenārijos.

## Bērnudārza telpa

Balstoties uz standarta LVS EN 16798-1 pirmo aprēķinu metodi, bērnudārza telpai ar 32 cilvēkiem un ēkai ar zemu piesārņojuma līmeni ventilācijas intensitāti nosaka, izmantojot 2. formulu un 3. un 4. tabulas datus. Aprēķinu rezultāti apkopoti 9. tabulā.:

9. tabula

Projektējama ventilācijas intensitāte 64.72 m<sup>2</sup> bērnudārza telpai ar 32 cilvēkiem, aprēķināts ar pirmo aprēķinu metodi.

Ēkas kategorija	Projektējama ventilācijas intensitāte	
	l/s	m <sup>3</sup> /h
I	<b>388.32</b>	<b>1397.88</b>
II	<b>271.82</b>	<b>978.55</b>
III	<b>155.33</b>	<b>559.18</b>
IV	<b>100.32</b>	<b>361.15</b>

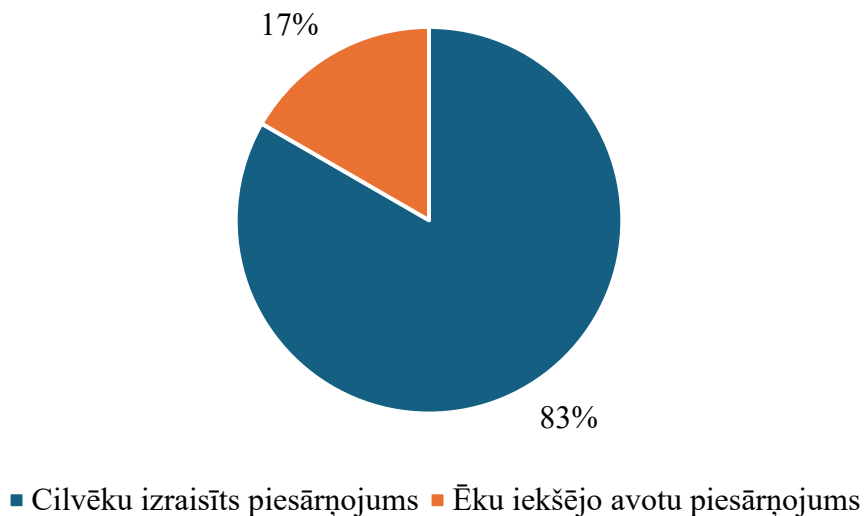
Trešā aprēķinu metode ir balstīta uz LVS CEN/TR 16798-2 datiem, un bērnudārza telpas rezultāti apkopoti 10. tabulā:

10. tabula

Projektējama ventilācijas intensitāte 64.72 m<sup>2</sup> bērnudārza telpai ar 32 cilvēkiem, aprēķināts ar trešo aprēķinu metodi.

Kategorija	Cilvēku blīvums m <sup>2</sup> uz cilvēku	Minimāla gaisa plūsma uz vienu personu		Ventilācijas gaisa plūsma emisiju atšķaidīšanai (ēka ar zemu piesārņojumu)			Projektējamais pieplūdes gaisa daudzums	
		l/(s·m <sup>2</sup> )	l/s uz cilvēku	l/s, m <sup>2</sup>	l/s, m <sup>2</sup>	l/s uz cilvēku	l/s	m <sup>3</sup> /h
I	2	5	10	1	6	12	<b>388.32</b>	<b>1397.88</b>
II	2	3.5	7	0.7	4.2	8.4	<b>271.82</b>	<b>978.55</b>
III	2	2	4	0.4	2.4	4.8	<b>155.33</b>	<b>559.18</b>
IV	2	1.25	2.5	0.3	2	4	<b>100.32</b>	<b>361.15</b>

Attēlā 4. redzams pieplūdes gaisa daudzuma procentuālais sadalījums piesārņojuma atšķaidīšanas nodrošināšanai. Lielākā daļa pieplūdes gaisa (83%) ir paredzēta cilvēku radītā piesārņojuma (piemēram, CO<sub>2</sub>) atšķaidīšanai, savukārt 17% tiek novirzīti ēku un telpu iekšējo avotu piesārņojuma (piemēram, emisiju no apdares materiāliem, mēbelēm un iekārtām) atšķaidīšanai.



4. attēls. Pieplūdes gaisa daudzuma procentuālais sadalījums piesārņojuma atšķaidīšanai bērnodārza telpai.

Izmantojot otro aprēķinu metodi, ventilācijas intensitāti nav iespējams noteikt ar tiešu skaitlisku aprēķinu, jo nav zināmi visi aprēķinam nepieciešamie ieejas parametri. Īpaši būtiski ir tas, ka praksē bieži nav pieejami piesārņojošo vielu koncentrācijas pieauguma raksturlielumi (piemēram, emisijas intensitāte vai koncentrācijas pieauguma ātrums telpā noteiktā laika intervālā), kas šajā aprēķinā pieejā tieši nosaka masas bilances vienādojuma locekļus. Līdz ar to nav iespējams viennozīmīgi noteikt ventilācijas intensitāti tikai no metodes formulas, jo trūkstošie parametri rada nenoteiktību un neļauj veikt korektu aprēķinu bez papildu pieņēmumiem vai mērījumiem.

Ventilācijas intensitāti ar otro aprēķinu metodi var noteikt, izmantojot simulācijas programmatūru, tomēr projektēšanas stadijā praksē tas parasti nav iespējams. Līdz ar to otrās aprēķinu metodes dati ir vairāk piemēroti ventilācijas sistēmām ar vadību pēc CO<sub>2</sub> koncentrācijas, piemēram, VAV sistēmām. Saskaņā ar tehniskā ziņojuma LVS CEN/TR 16798-2:2022 B.11. tabulas datiem otrās metodes kritērijus var salīdzināt ar iepriekš aprēķinātajām CO<sub>2</sub> koncentrācijas pieauguma vērtībām (skat. 11. tabulu), kas iegūtas ventilācijas intensitātei, izmantojot pirmo un trešo metodi.

CO<sub>2</sub> līmeņu palielinājums iekštelpās bērnodārza telpās.

Ēkas vai telpas tips	Kategorija	Noslodze (cilvēks/m <sup>2</sup> )	ΔCO <sub>2</sub> (ppm)		
			Ļoti zems piesārņojums	Zems piesārņojums	Bez zema piesārņojuma
Bērnodārzs	I	0.5	588	539	462
	II	0.5	841	771	660
	III	0.5	1 471	1 348	1 156
	IV	0.5	1 798	1 618	1 749

Ārējā gaisa CO<sub>2</sub> koncentrācija aprēķinos tika pieņemta 400 ppm, kā to paredz LVS CEN/TR 16798-2:2022. Bērnodārza telpai ar noslodzi 0.5 cilvēki/m<sup>2</sup> ēku kategorijās I–III neatbilstība konstatējama tikai “ļoti zema piesārņojuma” scenārijā, jo visās minētajās kategorijās aprēķinātais CO<sub>2</sub> koncentrācijas pieaugums virs āra fona pārsniedz attiecīgās projektēšanas robežvērtības (skat. 5. tabulu). Savukārt scenārijos “zems piesārņojums” un “bez zema piesārņojuma” aprēķinātās ΔCO<sub>2</sub> vērtības kopumā nepārsniedz noteiktās robežvērtības, tādējādi tās uzskatāmas par atbilstošām pieņemtajiem projektēšanas kritērijiem. Pretēji tam kategorijā IV novērojama būtiski atšķirīga situācija: neatkarīgi no izvēlētās piesārņojuma klases visas dotās ΔCO<sub>2</sub> vērtības pārsniedz projektēšanas robežvērtību 1350 ppm, kas norāda uz neatbilstību noteiktajam iekštelpu gaisa kvalitātes mērķim šajos ekspluatācijas apstākļos.

## Biroja telpa

Balstoties uz standarta LVS EN 16798-1:2021 pirmo aprēķinu metodi, biroja telpai ar 6 cilvēkiem un ēkai ar zemu piesārņojuma līmeni ventilācijas intensitāti nosaka, izmantojot 2. formulu un 3. un 4. tabulas datus. Aprēķinu rezultāti apkopoti 12. tabulā.:

12. tabula

Projektējama ventilācijas intensitāte 64.72 m<sup>2</sup> biroja telpai ar 6 cilvēkiem, aprēķināts ar pirmo aprēķinu metodi.

Ēkas kategorija	Projektējamais ventilācijas gaisa daudzums	
	l/s	m <sup>3</sup> /h
I	<b>129.44</b>	<b>465.99</b>
II	<b>90.61</b>	<b>326.20</b>
III	<b>51.78</b>	<b>186.41</b>
IV	<b>35.60</b>	<b>128.16</b>

Trešā aprēķinu metode ir balstīta uz LVS CEN/TR 16798-2:2022 datiem, un biroja telpas rezultāti apkopoti 13. tabulā:

13. tabula

Projektējama ventilācijas intensitāte 64.72 m<sup>2</sup> biroja telpai ar 6 cilvēkiem, aprēķināts ar trešo aprēķinu metodi.

Kategorija	Cilvēku blīvums m <sup>2</sup> uz cilvēku	Minimāla gaisa plūsma uz vienu personu		Ventilācijas gaisa plūsma emisiju atšķaidīšanai (ēka ar zemu piesārņojumu)			Projektējamais pieplūdes gaisa daudzums	
		l/(s·m <sup>2</sup> )	l/s uz cilvēku	l/s, m <sup>2</sup>	l/s, m <sup>2</sup>	l/s uz cilvēku	l/s	m <sup>3</sup> /h
I	10	1	10	1	2	20	<b>129.44</b>	<b>465.99</b>
II	10	0.7	7	0.7	1.4	14	<b>90.61</b>	<b>326.20</b>
III	10	0.4	4	0.4	0.8	8	<b>51.78</b>	<b>186.41</b>
IV	10	0.25	2.5	0.3	0.6	5.5	<b>35.60</b>	<b>128.16</b>

Attēlā 5. redzams pieplūdes gaisa daudzuma procentuālais sadalījums piesārņojuma atšķaidīšanas nodrošināšanai. Lielākā daļa pieplūdes gaisa (50%) ir paredzēta cilvēku radītā piesārņojuma (piemēram, CO<sub>2</sub>) atšķaidīšanai, savukārt 50% tiek novirzīti ēku un telpu iekšējo avotu piesārņojuma (piemēram, emisiju no apdares materiāliem, mēbelēm un iekārtām) atšķaidīšanai.



■ Cilvēku izraisīts piesārņojums ■ Ēku iekšējo avotu piesārņojums

5. attēls. Pieplūdes gaisa daudzuma procentuālais sadalījums piesārņojuma atšķaidīšanai biroja telpai.

Izmantojot otro aprēķinu metodi, ventilācijas intensitāti nav iespējams noteikt ar tiešu skaitlisku aprēķinu, jo nav zināmi visi aprēķinam nepieciešamie ieejas parametri. Īpaši būtiski ir tas, ka praksē bieži nav pieejami piesārņojošo vielu koncentrācijas pieauguma raksturlielumi (piemēram, emisijas intensitāte vai koncentrācijas pieauguma ātrums telpā noteiktā laika intervālā), kas šajā aprēķinā pieejā tieši nosaka masas bilances vienādojuma locekļus. Līdz ar to nav iespējams viennozīmīgi noteikt ventilācijas intensitāti tikai no metodes formulas, jo trūkstošie parametri rada nenoteiktību un neļauj veikt korektu aprēķinu bez papildu pieņēmumiem vai mērījumiem.

Ventilācijas intensitāti ar otro aprēķinu metodi var noteikt, izmantojot simulācijas programmatūru, tomēr projektēšanas stadijā praksē tas parasti nav iespējams. Līdz ar to otrās aprēķinu metodes dati ir vairāk piemēroti ventilācijas sistēmām ar vadību pēc CO<sub>2</sub> koncentrācijas, piemēram, VAV sistēmām. Saskaņā ar tehniskā ziņojuma LVS CEN/TR 16798-2:2022 B.11. tabulas datiem otrās metodes kritērijus var salīdzināt ar iepriekš aprēķinātajām CO<sub>2</sub> koncentrācijas pieauguma vērtībām (skat. 14. tabulu), kas iegūtas ventilācijas intensitātei, izmantojot pirmo un trešo metodi.

CO<sub>2</sub> līmeņu palielinājums iekštelpās biroja telpās.

Ēkas vai telpas tips	Kategorija	Noslodze (cilvēks/m <sup>2</sup> )	ΔCO <sub>2</sub> (ppm)		
			Ļoti zems piesārņojums	Zems piesārņojums	Bez zema piesārņojuma
Klases telpa	I	0.1	317	222	139
	II	0.1	454	317	189
	III	0.1	741	556	347
	IV	0.1	1 235	794	483

Ārējā CO<sub>2</sub> koncentrācija tika pieņemta 400 ppm saskaņā ar LVS CEN/TR 16798-2:2022. Klases telpai ar noslodzi 0.1 cilvēks/m<sup>2</sup> kategorijās I–IV aprēķinātais CO<sub>2</sub> pieaugums virs āra fona (ΔCO<sub>2</sub>) visos trijos iekšējā piesārņojuma scenārijos (“Ļoti zems piesārņojums”, “Zems piesārņojums”, “Bez zema piesārņojuma”) ir zem attiecīgajām projektēšanas robežvērtībām (skat 5. tabulu).

# Dažādu ventilācijas risinājumu energopatēriņu novērtējums

Ventilācijas risinājumu energopatēriņa novērtējums ir būtiska ēku energoefektivitātes un iekštelpu mikroklimata kvalitātes analīzes sastāvdaļa, jo ventilācijas sistēmu darbība tieši ietekmē gan elektroenerģijas patēriņu ventilatoru piedziņām, gan siltumenerģijas pieprasījumu gaisa uzsildīšanai vai dzesēšanai. Šāda novērtējuma mērķis ir kvantitatīvi salīdzināt alternatīvus tehniskos risinājumus (piemēram, dabisko, mehānisko vai hibrīdo ventilāciju), ņemot vērā projektēšanas parametrus, ekspluatācijas režīmus, siltuma atgūšanas iespējas un sistēmas regulēšanas stratēģijas. Rezultātā iespējams identificēt galvenos energopatēriņa veicinātājus un pamatot optimālu risinājumu izvēli, kas nodrošina normatīvajām prasībām atbilstošu gaisa apmaiņu, vienlaikus samazinot kopējās enerģijas izmaksas un ietekmi uz vidi.

Tiek apskatīti sekojošie risinājumi:

- ventilācijas risinājums ar mehānisko pieplūdi vai nosūci;
- ventilācijas risinājums ar sienas rekuperatoru;
- ventilācijas risinājums ar gaisa apstrādes iekārtu;
- ventilācijas risinājums ar gaisa apstrādes iekārtu un mainīga gaisa plūsmas sistēmu (VAV).

Mehāniskās ventilācijas risinājumā (ar mehānisko pieplūdi un/vai mehānisko nosūci) ventilators rada nepieciešamo spiediena starpību starp ārējo un iekšējo vidi. Šis spiediena starpības rezultātā telpā kontrolēti ieplūst aprēķinātais gaisa daudzums, t.i., tiek nodrošināta projektētā gaisa apmaiņa. Līdzīgu vilkmes efektu iespējams panākt arī ar dabisko ventilāciju, piemēram, atverot logus vai ventilācijas lūkas, taču šajā gadījumā faktiskais gaisa apmaiņas apjoms nav kontrolējams un ir būtiski atkarīgs no meteoroloģiskajiem apstākļiem (āra–iekštelpu temperatūras starpības, vēja ātruma, virziena un spiediena pozitīvam vai negatīvam zonām), kā arī no ēkas arhitektūras risinājumiem un aerodinamiskajām īpašībām. Tādēļ praksē nepieciešamais gaisa daudzums ne vienmēr tiek sasniegts, īpaši pie nelielas temperatūras starpības vai vāja vēja. Tā kā pieplūdes gaisa nonāk iekštelpās nekontrolēti un bez gaisa apstrādes, ieplūdes gaisa parametri sakrīt ar ārējā gaisa parametriem: temperatūra un relatīvais mitrums, piesārņojuma līmenis (putekļi, PM frakcijas, smakas, NO<sub>2</sub> utt.). Līdz ar to dabiskā ventilācija daļēji var nodrošināt gaisa atjaunošanu, bet

negarantē projektējamo lielumu sasniegšanu. Papildus, nekontrolētā gaisa pieplūde kompromitē iekštelpu gaisa kvalitāti, termisko komfortu un ietekmē enerģijas patēriņu.

Sienas rekuperators ir lokāls mehāniskās ventilācijas risinājums, kas paredzēts telpas gaisa apmaiņas nodrošināšanai bez centralizētas gaisa vadu sistēmas. Iekārta nodrošina gan āra gaisa pieplūdi, gan telpas gaisa nosūci, izmantojot ventilatoru, un ir aprīkota ar rekuperatoru (siltummaiņu), kura funkcija ir atgūt siltumu no nosūces gaisa un to nodot pieplūdes gaisam, tādējādi samazinot ventilācijas siltuma zudumus un paaugstinot pieplūdes gaisa temperatūru aukstajā periodā. Raksturīgi šīm iekārtām ir periodiska darbība mainīgos režīmos: noteiktā laika posmā tiek nodrošināta nosūce, bet nākamajā posmā – pieplūde. Šādā cikliskā režīmā siltummainis pārmaiņus uzkrāj siltumu nosūces fāzē un atdod to pieplūdes fāzē. Līdz ar to faktiski tiek panākta siltuma atgūšana, vienlaikus saglabājot telpas ventilācijas funkciju.

Pētījumā par lokālu sienas rekuperatoru (decentralizētu ventilācijas iekārtu) konstatēts, ka reālos apstākļos efektivitāte būtiski krītas pie pieaugošas spiediena starpības starp ārtelpu un iekštelpu. Konkrēti, siltuma atgūšanas efektivitāte bija apmēram 96% pie  $\Delta 0$  Pa, bet samazinājās līdz ~76% pie  $\Delta 30$  Pa, jo spiediena starpība izmaina pieplūdes/izplūdes gaisa plūsmu attiecību un pazemina pieplūdes gaisa temperatūru [9].

Gaisa apstrādes iekārta ir mehāniskās ventilācijas un iekštelpu klimata nodrošināšanas risinājums, kas paredzēts telpu gaisa kvalitātes uzturēšanai, organizējot kontrolētu āra gaisa pieplūdi un gaisa nosūci. Iekārta parasti ietver ventilatorus pieplūdes un nosūces gaisa plūsmu nodrošināšanai, filtrācijas posmus putekļu un citu piesārņotāju aizturēšanai, kā arī siltummaiņu (rekuperatoru), kura uzdevums ir atgūt siltumu no nosūces gaisa un to nodot pieplūdes gaisam, tādējādi samazinot ventilācijas siltuma zudumus un uzlabojot energoefektivitāti, īpaši aukstajā periodā. Atkarībā no konfigurācijas iekārta var būt papildināta ar gaisa uzsildīšanas vai atdzesēšanas elementiem, mitrināšanas vai sausināšanas funkcijām.

Papildus gaisa apstrādes iekārta var tikt aprīkota ar mainīgās gaisa plūsmas regulēšanu (VAV – Variable Air Volume), kuras darbība balstās uz pieplūdes gaisa daudzuma automātisku pielāgošanu atbilstoši telpas faktiskajai noslodzei un gaisa kvalitātes rādītājiem. Ja regulēšanas kritērijs ir oglekļa dioksīda ( $\text{CO}_2$ ) koncentrācija, telpā izvietots  $\text{CO}_2$  sensors nepārtraukti mēra rādījumu un vadības automātika, izmantojot VAV vārstu (vai VAV kārbu) un attiecīgi ventilatoru ātruma regulēšanu, palielina gaisa padevi, kad  $\text{CO}_2$  līmenis paaugstinās, un samazina to, kad koncentrācija

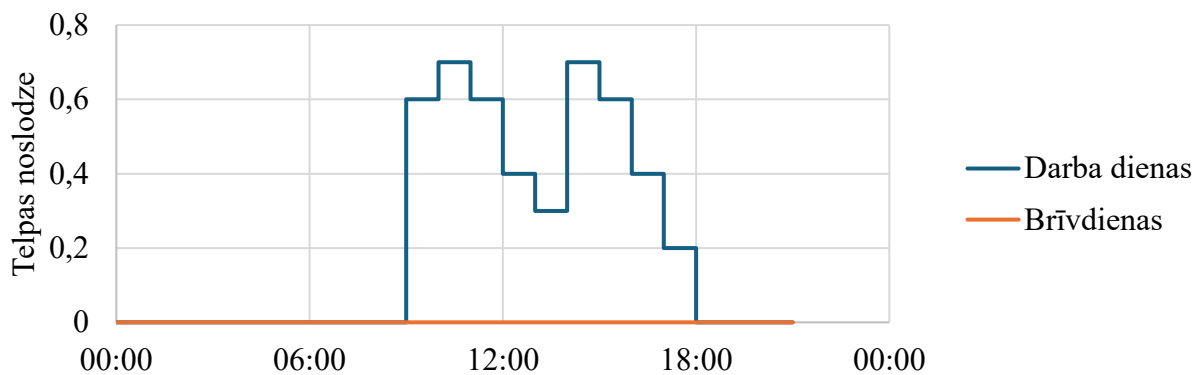
krītas. Šāda pieprasījuma vadīta ventilācija nodrošina stabilāku iekštelpu gaisa kvalitāti, vienlaikus mazinot nevajadzīgu ventilācijas intensitāti un ar to saistītos siltuma un elektroenerģijas patēriņa zudumus.

## Skolas klases telpa

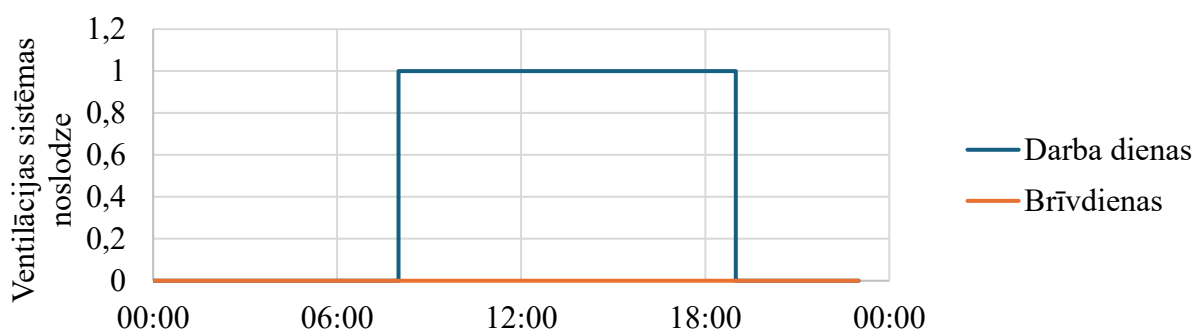
Pamatojoties uz nosacījumu, ka publisku ēku iekštelpās CO<sub>2</sub> koncentrācija nedrīkst pārsniegt 1000 ppm (LBN 231-15, 95. punkts), un ņemot vērā, ka skolas telpas tiek klasificētas kā publiskas ēkas, klases telpai ir jānodrošina tāds ventilācijas un iekštelpu gaisa kvalitātes režīms, kas nepieļauj šīs robežvērtības pārsniegšanu tipiskos ekspluatācijas apstākļos. Ja vienlaikus tiek piemērota LVS EN 16798-1:2021 B.9 tabulas pieeja (skat. 5. tabulu) un pieņemts, ka ārējā gaisa CO<sub>2</sub> koncentrācija ir 400 ppm, tad 950 ppm robežlielums telpā atbilst I iekštelpu vides kvalitātes kategorijai. Saskaņā ar LVS EN 16798-1 pieeju, ja projektēšanas uzdevumā nav norādīts citādi, pēc noklusējuma ir pieļaujams pieņemt, ka ēka atbilst zema piesārņojuma (LPB-2) nosacījumam.

Zema piesārņojuma ēkām ar I iekštelpu vides kvalitātes kategorijai projektējama ventilācijas intensitāte ir 388.32 l/s jeb 1397.88 m<sup>3</sup>/st.

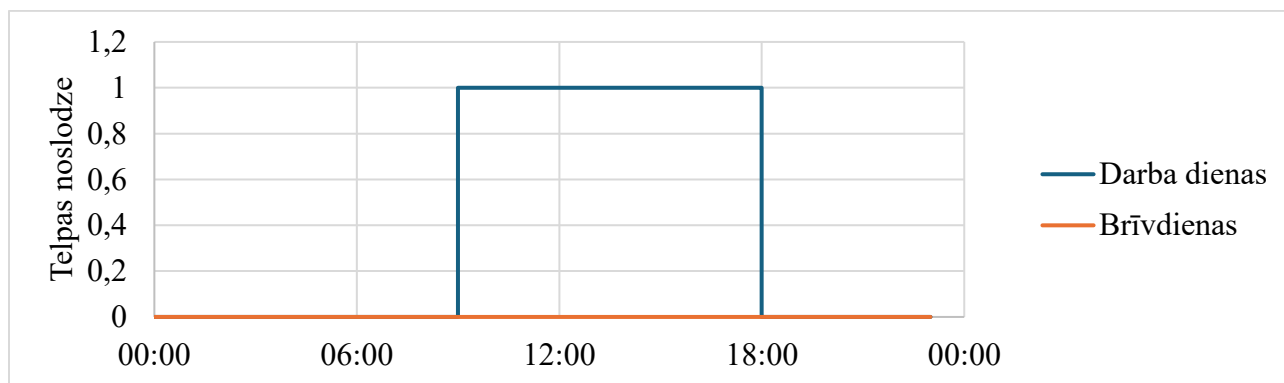
Ventilācijas risinājumu energopatēriņu novērtējums tiek veikts IDA ICE programmatūrā izvēlētai 64.72 m<sup>2</sup> klases telpai ar 32 cilvēkiem. Cilvēku klātbūtnes grafiks telpā ir pieņemts saskaņā ar standartu LVS EN 16798-1:2021 un parādīts 6. attēlā. Ventilācijas sistēmas darbības grafiks ir noteikts, balstoties uz standarta LVS EN 16798-1:2021 cilvēku klātbūtnes grafiku, pieņemot, ka ventilācija tiek ieslēgta vienu stundu pirms cilvēku ierašanās un izslēgta vienu stundu pēc viņu aiziešanas (skat. 7. att.). Lai pārbaudītu pilno vai daļējo (25%, 50% un 75%) cilvēku noslodzi telpā ārpus standarta apstākļiem, piemēram, kādā pasākumā, tika izveidots slodzes grafiks (8. attēls).



6. attēls. Klases telpas cilvēku noslodze saskaņā ar standartu LVS EN 16798-1:2021.



7. attēls. Klases telpas pieņemtās ventilācijas sistēmas noslodze.



8. attēls. Pieņemta klases telpas cilvēku noslodze.

Iekārtu enerģijas patēriņa simulācijām tiek izvēlēts tipisks iekārtu SFP parametrs saskaņā ar ražotāju datiem. SFP ventilatoriem nozīmē “Specific Fan Power” (latv. specifiskā ventilatora jauda). Tas ir rādītājs, kas raksturo, cik daudz elektriskās jaudas (W) ventilācijas sistēmas ventilatori patērē, lai nodrošinātu noteiktu gaisa plūsmas daudzumu ( $m^3/s$ ).

Simulācija tiks veikta trīs Latvijas pilsētām: Rīgai, Liepājai un Daugavpilij. Simulācijas scenāriji ir parādīti 15. tabulā. Aprēķini tiks veikti periodā no 01.09. līdz 30.06.

15. tabulā definēti astoņi ventilācijas sistēmas simulācijas scenāriji, kuru mērķis ir vienotā modelī salīdzināt ventilācijas veida, siltuma atgūšanas un gaisa pieprasījuma vadības (VAV) ietekmi uz energopatēriņu, vienlaikus kontrolējot cilvēku skaitu un noslodzes profilu. 1. scenārijā pieņemta konstanta gaisa plūsma bez rekuperācijas un bez pieplūdes gaisa apsildes, izmantojot IDA ICE noklusējuma SFP vērtību  $0.667 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ , tādējādi iegūstot bāzes gadījumu ar maksimāli vienkāršotu sistēmu. 2. scenārijā saglabāta konstanta gaisa plūsma un cilvēku klātbūtnes grafiks saskaņā ar LVS EN 16798-1, taču ieviesta sienas rekuperatora siltuma atgūšana ar efektivitāti 76% un būtiski zemāku SFP  $0.86 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  (pēc ražotāja datiem), lai novērtētu lokālas rekuperācijas ieguldījumu ventilācijas siltuma zudumu mazināšanā. 3. scenārijā modelēta gaisa apstrādes iekārta ar konstanto gaisa plūsmu, rekuperāciju 80% un pieplūdes gaisa apsildi līdz  $+18 \text{ }^\circ\text{C}$ , pieņemot SFP  $1.81 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ , kas raksturo pilna cikla mehānisko ventilāciju ar siltuma atgūšanu un temperatūras kontroli. 4. scenārijā sistēmas tips mainīts uz VAV (mainīga gaisa plūsma), saglabājot 32 cilvēkus un standarta noslodzes grafiku, rekuperāciju 80% un pieplūdes gaisa apsildi līdz  $+18 \text{ }^\circ\text{C}$ , tādējādi izolējot pieprasījuma vadības ietekmi pie nemainīgiem projektēšanas nosacījumiem. 5.–8. scenārijos VAV risinājums ar rekuperāciju 80% un pieplūdes gaisa apsildi līdz  $+18 \text{ }^\circ\text{C}$  tiek kombinēts ar pieņemto (ārpus standarta) cilvēku noslodzes grafiku, pakāpeniski samazinot cilvēku skaitu, lai analizētu ventilācijas pieprasījuma jutību pret telpas faktisko noslodzi: 5. scenārijā 32 cilvēki (100%), 6. scenārijā 24 cilvēki (75%), 7. scenārijā 16 cilvēki (50%) un 8. scenārijā 8 cilvēki (25%), visos gadījumos saglabājot vienādus iekārtas parametrus, lai atšķirības rezultātos būtu tieši attiecināmas uz noslodzes līmeņa un VAV regulēšanas efektiem.

Klases telpas ventilācijas sistēmas scenāriju raksturojums un galvenie darbības parametri.

Simulācijas scenārijs	Cilvēku skaits	Cilvēku noslodze	Ventilācijas sistēmas tips	Rekuperācijā (efektivitātē, %)	Gaisa apsilde (temperatūra, °C)	SFP kW/(m <sup>3</sup> /s)
1	32	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Nav	Nav	0.667**
2	32	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Ir (76 %*)	Nav	0.86*
3	32	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Ir (80 %*)	Ir (+18 °C)	1.81*
4	32	Saskaņā ar LVS EN 16789	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
5	32 (100%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
6	24 (75%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
7	16 (50%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
8	8 (25%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*

\* saskaņā ar ražotāja datiem; \*\* IDA ICE vērtība pēc noklusējuma.

IDA ICE simulācijas rezultāti klases telpai astoņos scenārijos trīs Latvijas pilsētās ir atspoguļoti 16., 17. un 18. tabulā:

16. tabula

Klases telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Rīgai.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	6.946	554.5	<b>1227.6</b>	<b>0</b>
2	6.584	554.6	<b>1542.9</b>	<b>0</b>
3	6.036	555	<b>3229.1</b>	<b>1138.9</b>
4	1.78	917.2	<b>214.5</b>	<b>174.6</b>
5	2.65	922.7	<b>614.7</b>	<b>335.8</b>
6	2.003	918.8	<b>385.8</b>	<b>254.2</b>
7	1.345	914.4	<b>204.8</b>	<b>171.6</b>
8	0.6807	908.5	<b>75.59</b>	<b>88.72</b>

17. tabula

Klases telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Liepājai.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	6.81	554	<b>1227.5</b>	<b>0</b>
2	6.41	554.1	<b>1543</b>	<b>0</b>
3	6.03	554.7	<b>3228.9</b>	<b>824.4</b>
4	1.779	917.2	<b>214.5</b>	<b>124.5</b>
5	2.649	922.6	<b>614.7</b>	<b>238.5</b>
6	2.002	918.7	<b>385.8</b>	<b>180.4</b>
7	1.345	914.3	<b>204.9</b>	<b>121.7</b>
8	0.6805	908.5	<b>75.63</b>	<b>62.7</b>

Klases telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Daugavpilīm.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	7.125	555	<b>1227.5</b>	<b>0</b>
2	6.859	555.9	<b>1540</b>	<b>0</b>
3	6.039	555.9	<b>3222.6</b>	<b>1545.8</b>
4	1.798	917.4	<b>217.6</b>	<b>230.3</b>
5	2.678	922.7	<b>624.2</b>	<b>443.8</b>
6	2.023	918.8	<b>391.7</b>	<b>336</b>
7	1.36	914.4	<b>207.8</b>	<b>227</b>
8	0.668	908.6	<b>76.6</b>	<b>117.4</b>

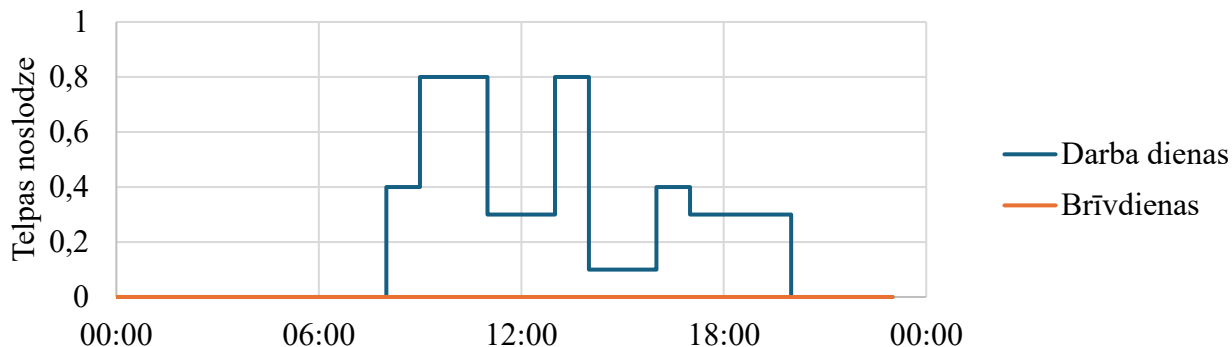
## Bērnudārza telpa

Pamatojoties uz nosacījumu, ka publisku ēku iekštelpās CO<sub>2</sub> koncentrācija nedrīkst pārsniegt 1000 ppm (LBN 231-15, 95. punkts), un ņemot vērā, ka bērnudārza telpas tiek klasificētas kā publiskas ēkas, bērnudārza telpai ir jānodrošina tāds ventilācijas un iekštelpu gaisa kvalitātes režīms, kas nepieļauj šīs robežvērtības pārsniegšanu tipiskos ekspluatācijas apstākļos. Ja vienlaikus tiek piemērota LVS EN 16798-1 B.9 tabulas pieeja (skat. 5. tabulu) un pieņemts, ka ārējā gaisa CO<sub>2</sub> koncentrācija ir 400 ppm, tad 950 ppm robežlielums telpā atbilst I iekštelpu vides kvalitātes kategorijai. Saskaņā ar LVS EN 16798-1 pieeju, ja projektēšanas uzdevumā nav norādīts citādi, pēc noklusējuma ir pieļaujams pieņemt, ka ēka atbilst zema piesārņojuma (LPB-2) nosacījumam.

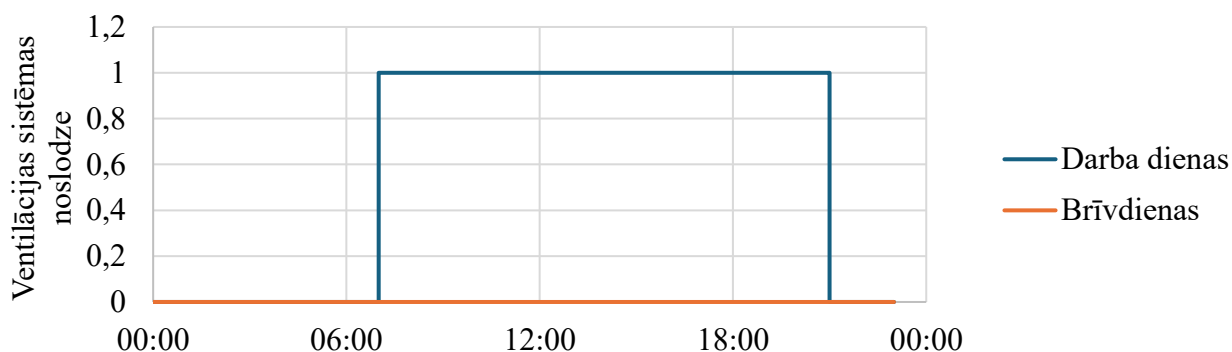
Zema piesārņojuma ēkām ar I iekštelpu vides kvalitātes kategorijai projektējama ventilācijas intensitāte ir 388.32 l/s jeb 1397.88 m<sup>3</sup>/st.

Ventilācijas risinājumu energopatēriņu novērtējums tiek veikts IDA ICE programmatūrā izvēlētai 64.72 m<sup>2</sup> bērnudārza telpai ar 32 cilvēkiem. Cilvēku klātbūtnes grafiks telpā ir pieņemts saskaņā ar standartu LVS EN 16798-1:2019 un parādīts 9. attēlā. Ventilācijas sistēmas darbības grafiks ir noteikts, balstoties uz standarta LVS EN 16798-1:2019 cilvēku klātbūtnes grafiku, pieņemot, ka ventilācija tiek ieslēgta vienu stundu pirms cilvēku ierašanās un izslēgta vienu stundu pēc viņu

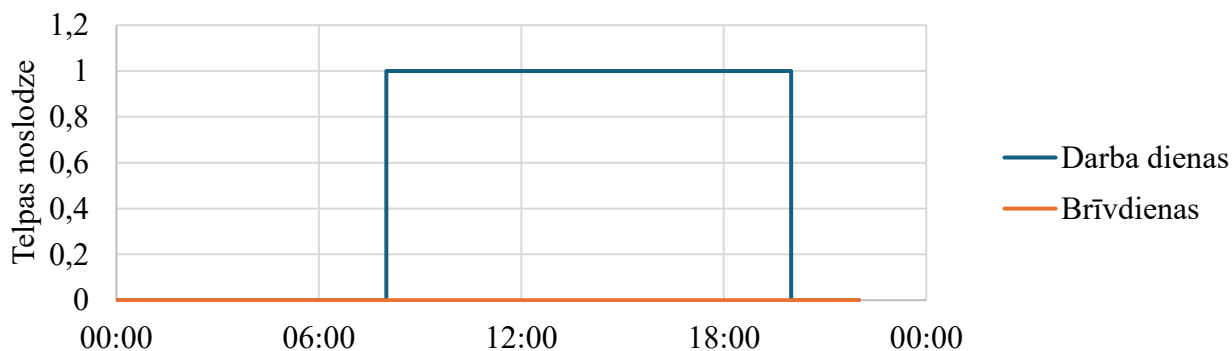
aiziešanas (skat. 10. att.). Lai pārbaudītu pilno vai daļējo (25%, 50% un 75%) cilvēku noslodzi telpā ārpus standarta apstākļiem, piemēram, kādā pasākumā, tika izveidots slodzes grafiks (11. attēls).



9. attēls. Bērnudārza telpas cilvēku noslodze saskaņā ar standartu LVS EN 16798-1:2019.



10. attēls. Bērnudārza telpas pieņemtās ventilācijas sistēmas noslodze.



11. attēls. Bērnudārza klases telpas cilvēku noslodze.

Simulācija tiks veikta trīs Latvijas pilsētām: Rīgai, Liepājai un Daugavpilij. Simulācijas scenāriji ir parādīti 19. tabulā. Aprēķini tiks veikti periodā no 01.09. līdz 30.06.

19. tabula

Bērnudārza telpas ventilācijas sistēmas scenāriju raksturojums un galvenie darbības parametri.

Simulācijas scenārijs	Cilvēku skaits	Cilvēku noslodze	Ventilācijas sistēmas tips	Rekuperācijā (efektivitātē, %)	Gaisa apsilde (temperatūra, °C)	SFP kW/(m <sup>3</sup> /s)
1	32	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Nav	Nav	0.667**
2	32	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Ir (76 %*)	Nav	0.86*
3	32	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Ir (80 %*)	Ir (+18 °C)	1.81*
4	32	Saskaņā ar LVS EN 16789	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
5	32 (100%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
6	24 (75%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
7	16 (50%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
8	8 (25%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*

\* saskaņā ar ražotāja datiem; \*\* IDA ICE vērtība pēc noklusējuma.

IDA ICE simulācijas rezultāti bērnodārza telpai astoņos scenārijos trīs Latvijas pilsētās ir atspoguļoti 20., 21. un 22. tabulā:

20. tabula

Bērnodārza telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Rīgai.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	6.964	580.9	<b>1562.9</b>	<b>0</b>
2	6.61	581.1	<b>1962.8</b>	<b>0</b>
3	6.036	581.4	<b>4108</b>	<b>1502.9</b>
4	2.089	919.2	<b>221.8</b>	<b>201.3</b>
5	2.65	922.7	<b>828.8</b>	<b>463.8</b>
6	2.003	918.8	<b>519.8</b>	<b>351.1</b>
7	1.345	914.4	<b>275.6</b>	<b>237</b>
8	0.6807	908.5	<b>101.3</b>	<b>121.8</b>

21. tabula

Bērnodārza telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Liepājai.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	6.819	578.3	<b>1562.8</b>	<b>0</b>
2	6.419	580	<b>1962.7</b>	<b>0</b>
3	6.033	580	<b>4107.9</b>	<b>1094.9</b>
4	2.086	919.1	<b>222</b>	<b>145.5</b>
5	2.649	922.6	<b>828.8</b>	<b>331.3</b>
6	2.002	918.7	<b>519.8</b>	<b>250.7</b>
7	1.345	914.3	<b>275.6</b>	<b>169</b>
8	0.6805	908.5	<b>101.3</b>	<b>86.77</b>

Bērnudārza telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Daugavpilīm.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	7.138	581.9	<b>1562.9</b>	<b>0</b>
2	6.9	582.2	<b>1959.5</b>	<b>0</b>
3	6.039	582.6	<b>4100.4</b>	<b>2074.4</b>
4	2.108	919.2	<b>225.1</b>	<b>270.3</b>
5	2.678	922.8	<b>842</b>	<b>624.5</b>
6	2.023	918.8	<b>527.9</b>	<b>472.9</b>
7	1.36	914.4	<b>279.7</b>	<b>319.2</b>
8	0.6879	908.6	<b>102.6</b>	<b>164.4</b>

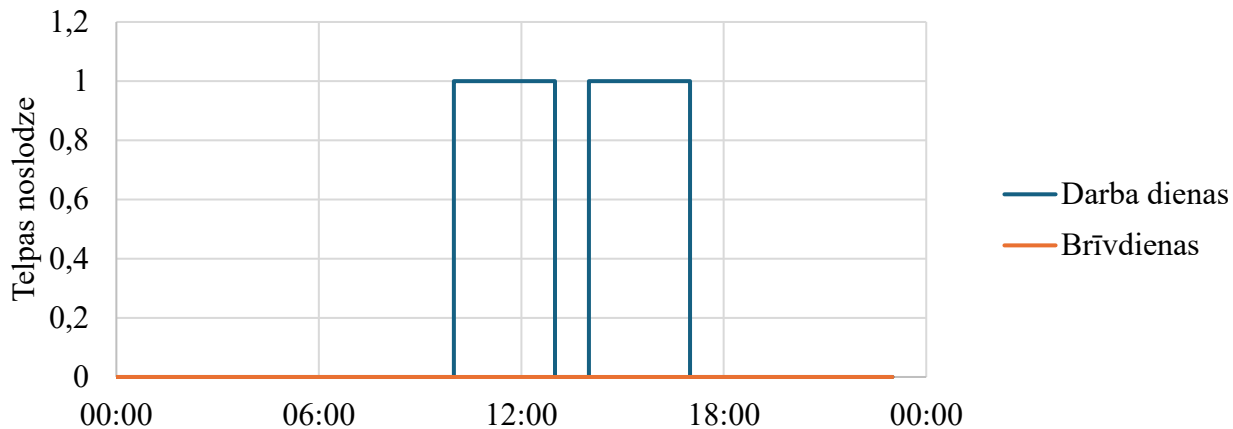
## Biroja telpa

Pamatojoties uz nosacījumu, ka publisku ēku iekštelpās CO<sub>2</sub> koncentrācija nedrīkst pārsniegt 1000 ppm (LBN 231-15, 95. punkts), un ņemot vērā, ka biroja telpas varētu būt klasificētas kā publiskas ēkas (ja ir darbs ir ar klientiem), klases telpai ir jānodrošina tāds ventilācijas un iekštelpu gaisa kvalitātes režīms, kas nepieļauj šīs robežvērtības pārsniegšanu tipiskos ekspluatācijas apstākļos. Ja vienlaikus tiek piemērota LVS EN 16798-1 B.9 tabulas pieeja (skat. 5. tabulu) un pieņemts, ka ārējā gaisa CO<sub>2</sub> koncentrācija ir 400 ppm, tad 950 ppm robežlielums telpā atbilst I iekštelpu vides kvalitātes kategorijai. Saskaņā ar LVS EN 16798-1 pieeju, ja projektēšanas uzdevumā nav norādīts citādi, pēc noklusējuma ir pieļaujams pieņemt, ka ēka atbilst zema piesārņojuma (LPB-2) nosacījumam.

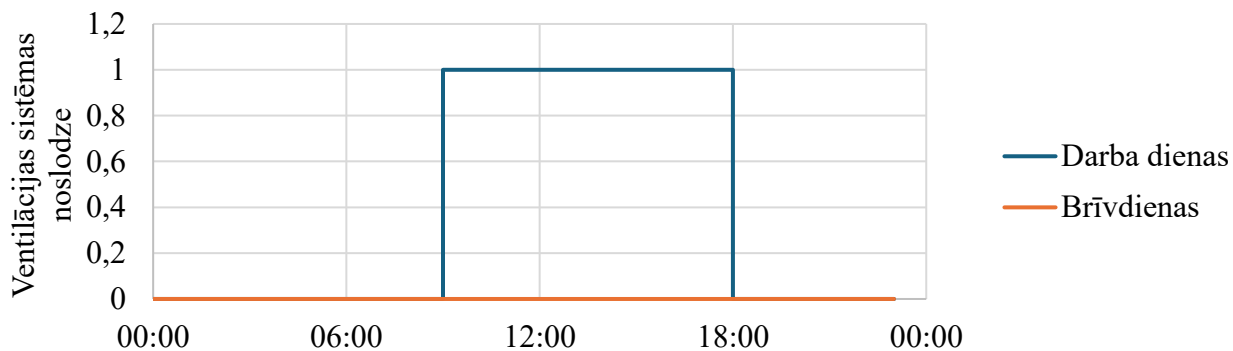
Zema piesārņojuma ēkām ar I iekštelpu vides kvalitātes kategorijai projektējama ventilācijas intensitāte ir 129.44 l/s jeb 465.99 m<sup>3</sup>/st.

Ventilācijas risinājumu energopatēriņu novērtējums tiek veikts IDA ICE programmatūrā izvēlētai 64.72 m<sup>2</sup> biroja telpai ar 6 cilvēkiem. Cilvēku klātbūtnes grafiks telpā ir pieņemts saskaņā ar standartu LVS EN 16798-1:2021 un parādīts 12. attēlā. Ventilācijas sistēmas darbības grafiks ir noteikts, balstoties uz standarta LVS EN 16798-1:2021 cilvēku klātbūtnes grafiku, pieņemot, ka

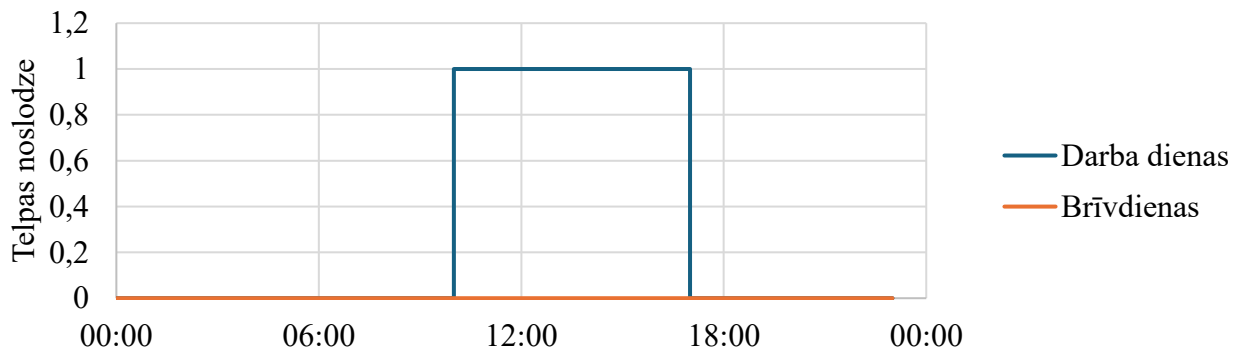
ventilācija tiek ieslēgta vienu stundu pirms cilvēku ierašanās un izslēgta vienu stundu pēc viņu aiziešanas (skat. 13. att.). Lai pārbaudītu pilno vai daļējo (50%) cilvēku noslodzi telpā ārpus standarta apstākļiem, piemēram, kādā pasākumā, tika izveidots slodzes grafiks (14. attēls).



12. attēls. Biroja telpas cilvēku noslodze saskaņā ar standartu LVS EN 16798-1:2019.



13. attēls. Biroja telpas pieņemtās ventilācijas sistēmas noslodze.



14. attēls. Bērnudārza klases telpas cilvēku noslodze.

Simulācija tiks veikta trīs Latvijas pilsētām: Rīgai, Liepājai un Daugavpilij. Simulācijas scenāriji ir parādīti 23. tabulā. Aprēķini tiks veikti periodā no 01.09. līdz 30.06.

23. tabula

Biroja telpas ventilācijas sistēmas scenāriju raksturojums un galvenie darbības parametri.

Simulācijas scenārijs	Cilvēku skaits	Cilvēku noslodze	Ventilācijas sistēmas tips	Rekuperācijā (efektivitātē, %)	Gaisa apsilde (temperatūra, °C)	SFP kW/(m <sup>3</sup> /s)
1	6	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Nav	Nav	0.667**
2	6	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Ir (76 %*)	Nav	0.86*
3	6	Saskaņā ar LVS EN 16789	Konstanta gaisa plūsma	Ir (80 %*)	Ir (+18 °C)	1.81*
4	6	Saskaņā ar LVS EN 16789	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
5	6 (100%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*
6	3 (50%)	Pieņemtais	Mainīga gaisa Plūsma (VAV)	Ir (80%*)	Ir (+18 °C)	1.81*

\* saskaņā ar ražotāja datiem; \*\* IDA ICE vērtība pēc noklusējuma.

IDA ICE simulācijas rezultāti bērnodārza telpai astoņos scenārijos trīs Latvijas pilsētās ir atspoguļoti 24., 25. un 26. tabulā:

24. tabula

Biroja telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Rīgai.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	2.296	530.8	<b>334.2</b>	<b>0</b>
2	2.138	530.7	<b>421.3</b>	<b>0</b>
3	2.012	530.7	<b>883.6</b>	<b>301.7</b>
4	0.5074	911.6	<b>52.83</b>	<b>45.56</b>
5	0.5075	911.6	<b>64.78</b>	<b>51.62</b>
6	0.3018	807.8	<b>38.25</b>	<b>40.48</b>

25. tabula

Bērnudārza telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Liepājai.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	2.264	530.8	<b>334.2</b>	<b>0</b>
2	2.105	530.2	<b>421.3</b>	<b>0</b>
3	2.01	530.2	<b>883</b>	<b>216</b>
4	0.5074	911.6	<b>52.86</b>	<b>31.94</b>
5	0.5074	911.6	<b>64.83</b>	<b>36.19</b>
6	0.3016	806.6	<b>38.29</b>	<b>28.17</b>

Bērnudārza telpas ventilācijas sistēmas scenāriju rezultāti Daugavpilīm.

Simulācijas scenārijs	Maksimālais pieplūdes gaisa daudzums	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis	Enerģijas patēriņš uz ventilatoriem	Enerģijas patēriņš uz gaisa uzsildīšanu
	l/s uz m <sup>2</sup>	ppm	kWh	kWh
1	2.363	532,2	<b>334.2</b>	<b>0</b>
2	2.207	532.3	<b>420.4</b>	<b>0</b>
3	2.012	532.2	<b>882.2</b>	<b>405.6</b>
4	0.5127	911.8	<b>53.54</b>	<b>59.77</b>
5	0.5127	911.8	<b>65.74</b>	<b>67.71</b>
6	0.3019	814.2	<b>38.23</b>	<b>52.89</b>

## Ēkas enerģijas patēriņš atkarībā no ventilācijas risinājuma

Skolu ēku renovācijas kontekstā literatūrā ir analizēti gan klasēs lokāli izvietotu ventilācijas iekārtu, gan centralizētu ventilācijas sistēmu ar siltuma atgūšanu risinājumi. Kuivjõgi u. c. [10], izmantojot IDA ICE un skolas ēkas gadījuma analīzi, secināja, ka abas pieejas var nodrošināt nepieciešamo iekštelpu klimatu, tomēr centralizēta ventilācijas sistēma ar siltuma atgūšanu analizētajā gadījumā uzrādīja labāku energoefektivitātes un izmaksu optimizācijas bilanci nekā klasēs balstīts risinājums. Vienlaikus autori norāda, ka klasēs balstīts risinājums var būt vienkāršāk īstenojams un ar zemākām sākotnējām izmaksām, savukārt centralizēta sistēma ir īpaši lietderīga gadījumos, kad renovācija tiek veikta visas ēkas mērogā.

Ēkas enerģijas patēriņa simulācija tika veikta skolas ēkai (skat. 1. att.) ar apsildāmo grīdas platību 5157.98 m<sup>2</sup>. Pamatojoties uz LVS CEN/TR 16798-2:2022, telpu plānojumiem un pieņemtajiem ekspluatācijas nosacījumiem, ēkas aprēķinātā lietotāju noslodze ir 1437 cilvēki.

Lai noteiktu ēkas enerģijas patēriņu dažādu ventilācijas risinājumu gadījumā, tiks izstrādāti un analizēti septiņi simulācijas scenāriji (skat. 27. tabulu). 1.scenārijs ir bāzes gadījums bez renovācijas, ar nemainīgu gaisa apmaiņu, ko var pielīdzināt dabīgai ventilācijai ar ~1 gaisa apmaiņu stundā (LBN 231-15), bez rekuperācijas un bez pieplūdes gaisa piesildīšanas; 2. scenārijs ir bez renovācijas ar CAV (CAV – konstanta gaisa plūsma) un gaisa daudzumu pēc LVS EN 16798-1:2021 I kategorijas, bet joprojām bez rekuperācijas un bez piesildīšanas; 3. scenārijs saglabā 2. scenārija CAV un I kategorijas plūsmu, pievienojot 82% rekuperāciju, tā samazinot ventilācijas siltuma zudumus; 4. scenārijs ir kā 3., bet pieplūdes gaiss tiek papildus piesildīts līdz +18 °C, uzlabojot komfortu; 5.scenārijs ir bāzes gadījums ar renovācijas, ar nemainīgu gaisa apmaiņu, ko var pielīdzināt dabīgai ventilācijai ar ~1 gaisa apmaiņu stundā, bez rekuperācijas un bez pieplūdes gaisa piesildīšanas; 6. scenārijs paredz renovētu ēku ar CAV, 82% rekuperāciju un I kategorijas gaisa daudzumiem bez pieplūdes piesildīšanas; 7. scenārijs ir kā 5., bet ar pieplūdes gaisa piesildīšanu līdz +18 °C; 8. scenārijs paredz renovētu ēku ar VAV (VAV – gaisa plūsma mainās pēc pieprasījuma, piem. uzturot CO<sub>2</sub> līmeni), 82% rekuperāciju un pieplūdes gaisa piesildīšanu līdz +18 °C, kas parasti dod zemāku patēriņu daļējas noslodzes periodos, saglabājot I kategorijas mērķus.

## Simulācijas scenāriji skolas ēkai

Scenārijs	Renovācija	Ventilācijas tips	Rekuperācijas efektivitāte, %	Gaisa apsilde (temp., °C)	Gaisa daudzuma noteikšana	Vidējais gaisa daudzums, m <sup>3</sup> /st.
1.	Nē	CAV	0	Nav	LBN 231-15; 1 <sup>st</sup>	3361.1
2.	Nē	CAV	0	Nav	LVS EN 16798-1; I kat.	16534.1
3.	Nē	CAV	82	Nav	LVS EN 16798-1; I kat.	16534.1
4.	Nē	CAV	82	Ir (+ 18 °C)	LVS EN 16798-1; I kat.	16534.1
5.	Jā	CAV	0	Nav	LBN 231-15; 1 <sup>st</sup>	3361.1
6.	Jā	CAV	82	Nav	LVS EN 16798-1; I kat.	16534.1
7.	Jā	CAV	82	Ir (+ 18 °C)	LVS EN 16798-1; I kat.	16534.1
8.	Jā	VAV	82	Ir (+ 18 °C)	LVS EN 16798-1; I kat.	2828.8

Būvkonstrukciju U-vērtības pirms renovācijas scenārija ar attēlotas 28. tabulā:

## Pieņemtās skolas ēkas būvkonstrukciju U-vērtības pirms renovācijas

Būvkonstrukcija	U-vērtība, W/(m <sup>2</sup> ·K)	Biezums, mm
Ārsiena	1.159	410
Jumts	0.13	655
Grīda	0.44	405
Logs	stikls	n.v.
	rāmis	n.v.
	kopā	n.v.

Būvkonstrukciju U-vērtības pēc renovācijas scenārija ar attēlotas 29. tabulā:

29. tabula

Pieņemtas skolas ēkas būvkonstrukciju U-vērtības pēc renovācijas

Būvkonstrukcija	U-vērtība, W/(m <sup>2</sup> ·K)	Biezums, mm
Ārsiena	0.18	610
Jumts	0.13	655
Grīda	0.44	405
Logs	stikls	0.6
	rāmis	1.2
	kopā	0.66

Ēka ir aprīkota ar divu tipu ventilācijas sistēmām. Telpās, kurās cilvēki uzturas ilgstoši, ventilācija tiek nodrošināta ar gaisa apstrādes iekārtu, kas aprīkota ar siltuma rekuperatoru un pieplūdes gaisa uzsildīšanas moduli. Telpās, kurās cilvēki uzturas īslaicīgi vai pārvietojas (piemēram, koridoros un vestibilos), ventilācija netiek nodrošināta. Tualetes un mazgāšanās telpas ir aprīkotas ar lokāliem nosūces ventilatoriem ar nosūci 5 l/s uz m<sup>2</sup>.

Simulācijās pieņemts, ka telpās, kurās ilgstoši uzturas cilvēki, neatkarīgi no telpu faktiskā nolūka tiek piemērota klases telpām raksturīgā cilvēku noslodze atbilstoši standartam LVS EN 16798-1:2021 (skat. 6. attēlu), kā arī telpām pieņemtā ventilācijas sistēmas noslodze (skat. 7. attēlu).

Telpās, kurās ilgstoši uzturas cilvēki, neatkarīgi no telpu faktiskā nolūka tiek piemērota nedzīvojamu ēku I kategorijai noteiktā minimāli pieļaujamā iekštelpu temperatūra +21 °C saskaņā ar standartu LVS EN 16798-1:2021. Savukārt telpās, kurās cilvēki ilgstoši neuzturas, pieņemta iekštelpu temperatūra +18 °C.

Pirms renovācijas infiltrācija tiek pieņemta 2.5 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) attiecībā pret ārējo norobežojošo konstrukciju virsmu pie spiediena starpības 50 Pa starp ārējo vidi un iekštelpām. Pēc renovācijas pasākumiem infiltrācija tiek pieņemta tāda pati, t. i., 2.5 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) pie spiediena starpības 50 Pa.

Simulācijas tiek veiktas viena gada periodam Rīgā, izmantojot Rīgas āra klimata datus.

Rezultāti dažādiem simulācijas scenārijiem apkopoti 30. tabulā. Apkurei patērētā enerģija sastāv no vairākām komponentēm: telpu apkures ar radiatoriem un, ja to paredz attiecīgais scenārijs un tas ir nepieciešams, arī pieplūdes gaisa uzsildīšanas līdz pieļaujamajai temperatūrai +18 °C.

## Simulācijas rezultāti skolas ēkai

Scenārijs	Apkures sistēmas enerģijas patēriņš gadā						Ventilācijas sistēmas enerģijas patēriņš gadā	
	A (kopā B+C)		B radiatori		C gaisa uzsildīšana			
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
1.	614590.4	119.15	614590.4	119.15	0	0	0	0
2.	1202217.3	233.08	1202217.3	233.08	0	0	28821.8	5.59
3.	606987.0	117.68	606987.0	117.68	0	0	27932.9	5.42
4.	1110443.6	215.29	559274.5	108.43	551169.1	106.86	27934.0	5.42
5.	348566.1	67.58	348566.1	67.58	0	0	0	0
6.	337831.1	65.50	337831.1	65.50	0	0	27931.7	5.42
7.	333156.6	64.59	291015.8	56.42	42140.8	8.17	27933.0	5.42
8.	233474.4	45.26	228658.5	44.33	4815.9	0.93	2319.0	0.45

Katram scenārijam maksimāli sasniegtais CO<sub>2</sub> līmenis ir attēlots 31. tabulā:

CO<sub>2</sub> līmeni pēc simulācijas skolas ēkai

Scenārijs	Ventilācijas tips	Maksimāli sasniegtais CO <sub>2</sub> līmenis, ppm
1.	CAV	1365
2.	CAV	556
3.	CAV	556
4.	CAV	556
5.	CAV	1376
6.	CAV	556
7.	CAV	556
8.	VAV	917

Salīdzinot nerenovētu ēku bez mehāniskās ventilācijas sistēmas (1.scenārijs) un renovētu ēka bez mehāniskās ventilācijas sistēmas (5.scenārijs), kopējais enerģijas ietaupījums sasniedz 43%, bet gaisa kvalitāte paliek tik pat zemā līmenī vai pat paliek sliktāka. Ja nerenovētai ēkai uzstāda mehānisko ventilācijas sistēmu bez siltuma atgūšanas (2.scenārijs), enerģijas patēriņš pieaug gandrīz 2 reizēs, bet ja ar siltuma atgūšanu (3.scenārijs), tad patēriņš paliek līdzvērtīgs bet tiek sasniegtā izcilā gaisa kvalitāte.

6., 7., 8. scenāriji (renovētā ēka ar mehānisko ventilāciju un siltuma atgūšanu) demonstrē enerģijas patēriņa samazinājumu, salīdzinājumā ar 5. scenāriju (renovētā ēka bez mehāniskās ventilācijas) 3-33% robežās atkarībā no risinājuma, kur lielākais ietaupījums tiek sasniegts izvēloties mainīgās

gaisa plūsmas risinājumu, kas palīdz sasniegt trīspusējo līdzsvaru starp ēkas enerģijas patēriņu apkurei, enerģijas patēriņu ventilācijas sistēmas darbināšanai un gaisa kvalitāti.

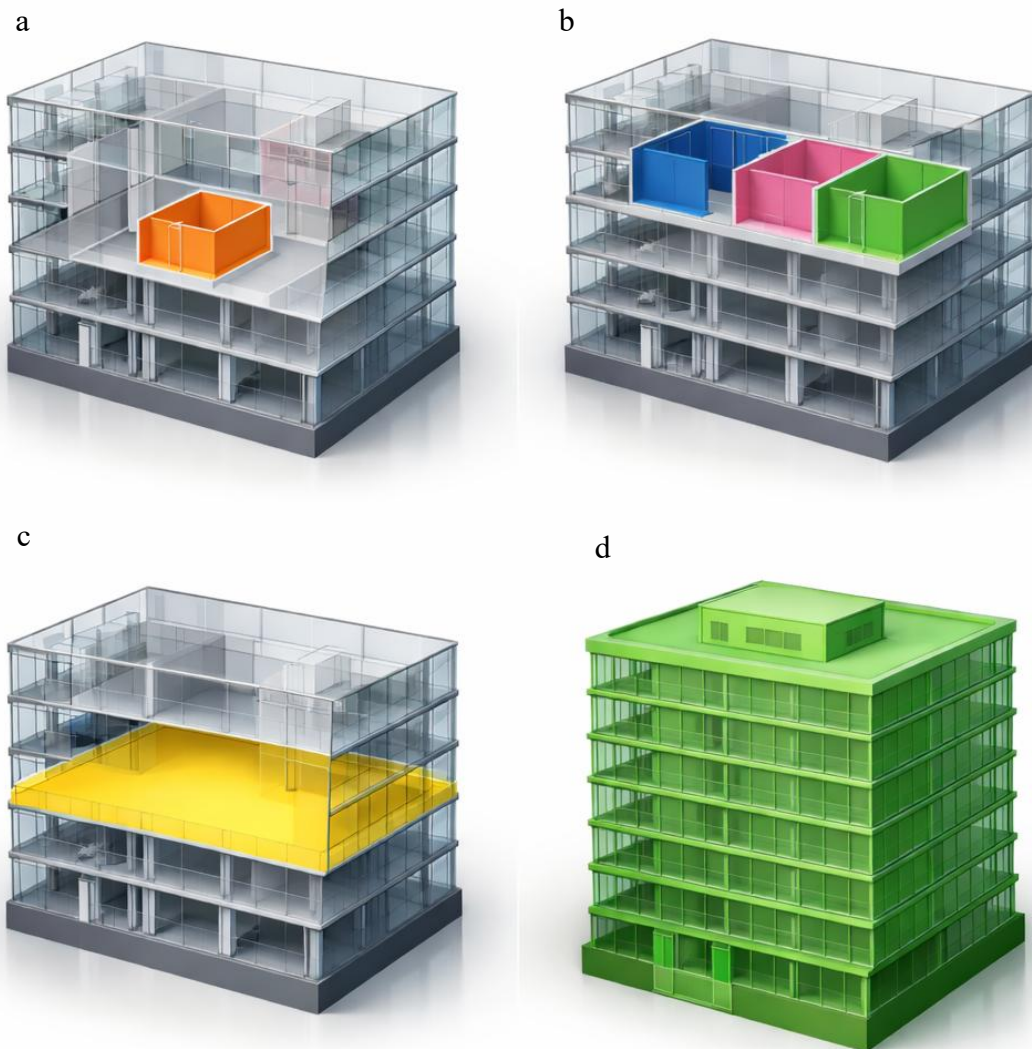
## Ventilācijas iekārtu zonēšana

Ventilācijas sistēmas zonēšana ir projektēšanas un vadības princips, kurā ēka tiek sadalīta atsevišķās ventilācijas zonās un katrai zonai tiek nodrošināts tai atbilstošs gaisa apmaiņas režīms, izmantojot vienu vai vairākas ventilācijas iekārtas, kas darbojas vienotā, sabalansētā sistēmā.

Zonēšanu var veikt ar sekojošiem mērķiem:

- Zonēšana komforta nodrošināšanai. Ēkas telpas tiek grupētas zonās pēc līdzīgiem mikroklimata parametru mērķiem (temperatūras, mitruma, CO<sub>2</sub> līmenis), un katrai zonai tiek iestatīts atšķirīgs ventilācijas režīms, lai uzturētu stabilu iekštelpu gaisu.
- Zonēšana telpu funkciju un risku atdalīšanai. Zonas tiek veidotas, ņemot vērā telpu funkciju un piesārņojuma avotus (piemēram, virtuves, sanitārmezgli), lai kontrolētu gaisa plūsmu virzienu un ierobežotu smaku vai mitruma izplatīšanos.
- Zonēšana energoefektivitātes nodrošināšanai. Ventilāciju pielāgo katras zonas faktiskajai noslodzei un lietošanas laikam, samazinot lieku gaisa padevi, ventilatoru elektroenerģijas patēriņu un siltuma zudumus.
- Zonēšana vadības stratēģijas pielietošanai. Katras zonas gaisa plūsmu regulē ar viediem sensoriem un automātiku (CO<sub>2</sub>, relatīvais mitrums, cilvēku klātbūtne), bet ventilācijas iekārta vai iekārtas darbojas koordinēti, lai uzturētu nepieciešamo svaiga gaisa plūsmu.
- Zonēšana AVK sistēmu strukturēšanai. Viena ēka var tikt apkalpota ar vienu centralizētu iekārtu un zonu vārstiem/droselēm vai ar vairākām iekārtām (piemēram, pa stāviem vai ēkas “spārniem”), kas kopā veido vienotu, sabalansētu ventilācijas sistēmu.

Uz prakses, zonēšanu ēkās parasti plāno, ņemot vērā telpu funkcijas, piesārņojuma līmeni un telpu izvietojumu. Papildus tam AVK sistēmu cenšas aprīkot ar iespēju pielāgot parametrus atbilstoši vajadzībām, piemēram, izmantojot VAV (angl. *Variable air volume*; mainīgās gaisa plūsmas) ventilācijas sistēmu. Rezultāta zonas var būt viena telpa, divas vai vairākas savstarpēji tuvu izvietotas telpas, vesels stāvs, ēkas daļa vai visa ēka. Zonēšanas iespējas ir parādītas 15. attēlā:



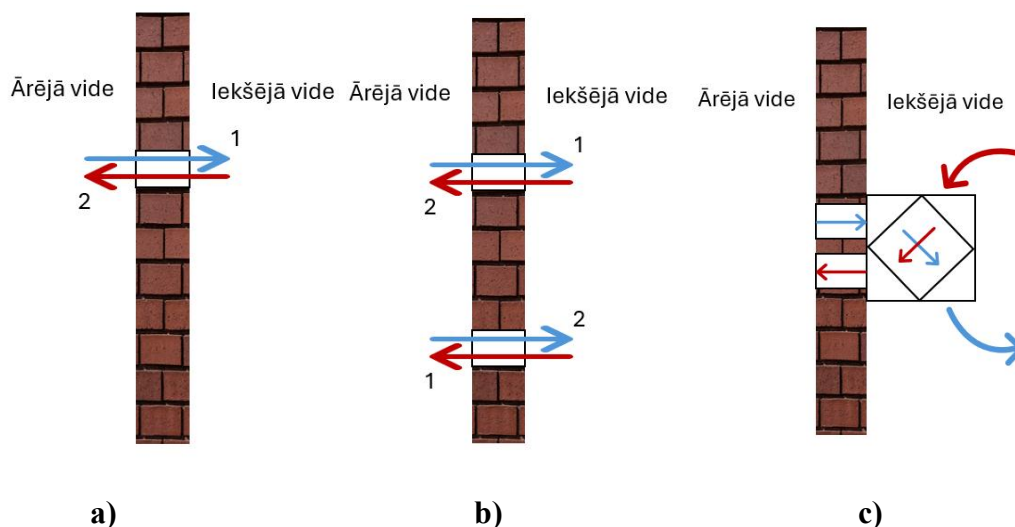
15. attēls. Zonēšanas iespējas: (a) viena telpa; (b) vairākas blakusesošas telpas; (c) ēkas stāvs; (d) visa ēka.

# Decentralizētās ventilācijas risinājumi

Decentralizēti risinājumi ventilācijā ir tādi tehniskie risinājumi, kuros svaiga gaisa pieplūde un nosūce tiek nodrošināta lokāli – konkrētā telpā vai nelielā ēkas zonā nevis ar vienu centrālu ventilācijas agregātu un plašu gaisa vadu tīklu visai ēkai. Decentralizētas ventilācijas būtiska iezīme ir tas, ka gaisa plūsmas ceļi parasti ir īsi un tehniski vienkāršāki, jo nav nepieciešama centrālā gaisa vadu infrastruktūra.

Decentralizēti ventilācijas risinājumi klases telpai varētu būt:

1. **Vienkanāla sistēma:** Svaiga gaisa pieplūde un nosūce caur sienā iebūvētu ventilatoru ar reģeneratīvo siltummaini. (skat. attēls 16a).
2. **Divkanāla vai daudzkanāla sistēma:** Svaiga gaisa pieplūde un nosūce caur vairākiem sienā iebūvētiem gaisa ventilatoriem ar reģeneratīvo siltummaini, ieslēdzot tos dažādos režīmos (pieplūde vai nosūce) (skat. attēls 16b).
3. **Decentralizēta ventilācijas iekārta:** Svaiga gaisa pieplūde un nosūce tiek nodrošināta ar lokāli telpā (vai telpu grupā) uzstādītu ventilācijas iekārtu ar siltuma atgūšanu (skat. attēls 16c).



16. attēls. Decentralizētās ventilācijas risinājumi.

## Vienkanāla sistēma

Reģeneratīvais sienā iebūvētais ventilators nodrošina svaiga gaisa pieplūdi, gan nosūci, periodiski mainot gaisa plūsmas virzienu caur vienu un to pašu kanālu (skat. 16a attēls). Vispirms tas izvada

siltu telpas gaisu uz āru, un šajā fāzē reģeneratīvais siltummaiņa elements uzkrāj siltumu. Pēc noteikta laika ventilators pārslēdzas pieplūdes režīmā un ievada āra gaisu telpā, vienlaikus to uzsildot, izmantojot iepriekš uzkrāto siltumu.

Ventilācijas ierīču skaitu var noteikt, izmantojot 5. vienādojumu:

$$n = \left\lceil \frac{Q_{telpa}}{Q_{iekarta}} \right\rceil, \quad (5.)$$

kur:  $n$  – ventilācijas ierīču skaits;  $Q_{telpa}$  – telpai nepieciešamais gaisa daudzums,  $m^3/st.$  vai  $l/s$ ;  $Q_{iekarta}$  – vienas iekārtas gaisa plūsma,  $m^3/st.$  vai  $l/s$ .

### **Divkanāla vai daudzkanāla sistēma**

Sistēma kura sastāv no vairākiem sienā iebūvētiem reģeneratīvajiem ventilatoriem, strādā savstarpēji koordinētas iekārtas, nodrošinot nepārtrauktu gaisa apmaiņu telpā. Vienā darba režīmā pirmais ventilators darbojas nosūces režīmā un izvada siltu telpas gaisu uz āru, vienlaikus uzsildot reģeneratīvā siltummaiņa elementu. Tajā pašā laikā otrs ventilators darbojas pieplūdes režīmā un ievada telpā svaigu āra gaisu, kas, plūstot caur uzsildušo siltummaiņa elementu, tiek daļēji uzsildīts. Pēc noteikta laika ventilatori pārslēdz režīmus, mainoties lomām, lai siltuma reģenerācija turpinātos cikliski.

Ventilācijas ierīču skaitu var noteikt, izmantojot 6. vienādojumu:

$$n = \left\lceil \frac{Q_{telpa}}{Q_{iekarta} \cdot 2} \right\rceil, \quad (6.)$$

kur:  $n$  – ventilācijas ierīču skaits;  $Q_{telpa}$  – telpai nepieciešamais gaisa daudzums,  $m^3/st.$  vai  $l/s$ ;  $Q_{iekarta}$  – vienas iekārtas gaisa plūsma,  $m^3/st.$  vai  $l/s$ .

### **Decentralizēta ventilācijas iekārta.**

Decentralizēta ventilācijas iekārta ir lokāla ventilācijas sistēma, kas tiek uzstādīta atsevišķā telpā vai ēkas zonā un nodrošina svaiga gaisa pieplūdi un nosūci bez plaša centrāla gaisa vadu tīkla. Parasti tā darbojas ar ventilatoru un siltummaini, kas ļauj daļēji atgūt siltumu no nosūcamā gaisa un samazināt ventilācijas radītos siltuma zudumus.

Ventilācijas risinājuma izvēle būtiski ietekmē iekštelpu gaisa kvalitāti, energoefektivitāti, akustisko komfortu un uzstādīšanas sarežģītību. Lai pamatotu piemērotākā risinājuma izvēli konkrētai telpai vai ēkas tipam, turpmāk sniegts biežāk lietoto decentralizētās ventilācijas risinājumu salīdzinājums 32. tabulā:

32. tabula

Decentralizētās ventilācijas risinājumu salīdzinājums.

Risinājums	Priekšrocības	Trūkumi
Vienkanāla sistēma	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kompakti izmēri: Nodrošina gan pieplūdi, gan nosūci ar vienu ierīci un vienu kanālu sienā.</li> <li>+ Salīdzinoši neliels vietas patēriņš un minimāla ietekme uz interjeru.</li> <li>+ Uz fasādes nepieciešams tikai viens caurums ierīces uzstādīšanai vienā telpā.</li> <li>+ Vienkāršāka un ātrāka uzstādīšana.</li> <li>+ Bieži iespējams izmantot filtrus, kas samazina putekļu un daļiņu pieplūdi no āra.</li> <li>+ Nav nepieciešams centrāls gaisa vadu tīkls.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pieplūde un nosūce nenotiek vienlaikus, tāpēc ventilācijas efektivitāte var būt nevienmērīga stundas laikā.</li> <li>– Ventilācija galvenokārt notiek ierīces tuvumā, tādēļ tā nespēj efektīvi nodrošināt gaisa apmaiņu tālākajās telpas zonās.</li> <li>– Ierīce nodrošina salīdzinoši nelielu gaisa plūsmas apjomu.</li> <li>– Var radīt gaisa kvalitātes svārstības stundas laikā.</li> <li>– Pastāv risks ievilkt piesārņotu gaisu no blakustelpām.</li> <li>– Var veidoties caursalšana vai kondensāta riski pie nepareiziem ekspluatācijas apstākļiem un ļoti zemām āra temperatūrām.</li> <li>– Ventilatoram jāspēj nodrošināt nepieciešamo spiediena starpību starp ārtelpu un iekštelpu.</li> <li>– Pastāv nepieciešamība ēkā izveidot papildu atvērumu gaisa spiediena izlīdzināšanai starp āra un iekštelpu vidi.</li> <li>– Uzstādīšana ir iespējama tikai uz ārsienām.</li> </ul>

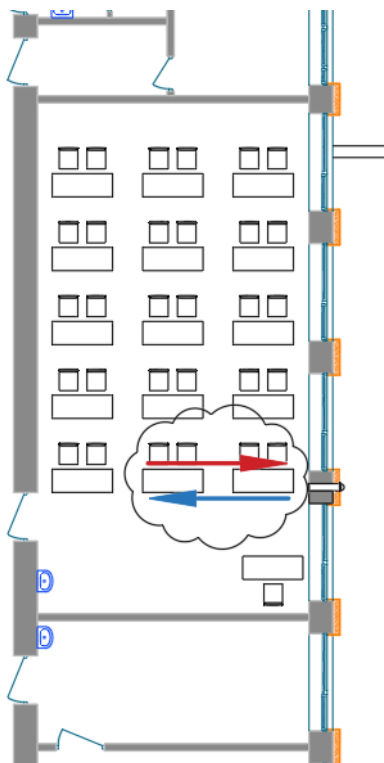
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Iespējama traucējošas gaisa plūsmas rašanās blakus sēdošajiem cilvēkiem.</li> <li>– Potenciāli lielāks trokšņa diskomforts.</li> <li>– Sienas biezums ir būtisks ierīces uzstādīšanai un darbības efektivitātei.</li> </ul>
Divkanāla vai daudzkanāla sistēma	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Mērogojams risinājums (mainot ierīču skaitu).</li> <li>+ Ventilācijas efektivitāte ir vienmērīga.</li> <li>+ Ierīces var izvietot pa fasādi, lai nodrošinātu vienmērīgāku gaisa sadali telpā.</li> <li>+ Vienkāršāka un ātrāka uzstādīšana.</li> <li>+ Bieži iespējams izmantot filtrus, kas samazina putekļu un daļiņu pieplūdi no āra.</li> <li>+ Stabila iekštelpu gaisa kvalitāte.</li> <li>+ Risinājuma darbību neietekmē spiediena starpība starp iekštelpu un ārtelpu.</li> <li>+ Nav nepieciešams centrāls gaisa vadu tīkls</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Palielinot ierīču skaitu, pieaug fasādes atveru skaits, kas var pasliktināt ēkas arhitektonisko izskatu un ietekmēt konstrukciju nestspēju.</li> <li>– Nepieciešama pietiekama sienas platība vairāku ierīču uzstādīšanai.</li> <li>– Ierīces jāuzstāda pāros.</li> <li>– Var veidoties caursalšana vai kondensāta riski pie nepareiziem ekspluatācijas apstākļiem un ļoti zemām āra temperatūrām.</li> <li>– Uzstādīšana ir iespējama tikai uz ārsienām.</li> <li>– Iespējama traucējošas gaisa plūsmas rašanās blakus sēdošajiem cilvēkiem.</li> <li>– Potenciāli lielāks trokšņa diskomforts.</li> <li>– Sienas biezums ir būtisks ierīces uzstādīšanai un darbības efektivitātei.</li> </ul>
Decentralizēta ventilācijas iekārta	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ierīce nodrošina lielu gaisa plūsmas apjomu.</li> <li>+ Viena iekārta paredzēta vienas telpas ventilācijai.</li> <li>+ Nav nepieciešams centrāls gaisa vadu tīkls.</li> <li>+ Lokāls gaisa vadu tīkls ļauj ventilēt arī attālākus telpas stūrus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Potenciāli lielāks trokšņa diskomforts.</li> <li>– Iekārta aizņem lietderīgo telpas platību.</li> <li>– Lielās telpās nepieciešams izbūvēt lokālu gaisa vadu tīklu.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Potenciāli lielāks trokšņa diskomforts.</li> <li>+ Nepieciešami tikai divi caurumi sienā.</li> <li>+ Iespējama lokāla gaisa vadu tīkla vienkāršošana, jo nosūces difuzoru var neizmantot, nodrošinot nosūci tieši no gaisa apstrādes iekārtas.</li> <li>+ Sienas biezums būtiski neietekmē uzstādīšanu un iekārtas efektivitāti.</li> <li>+ Ir iespējams izmantot filtrus ar augstāku attīrīšanas efektivitāti.</li> <li>+ Ļoti zemu āra temperatūru apstākļos neveidojas caursalšanas vai kondensāta risks.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Salīdzinājumā ar alternatīvu risinājumu izmaksas ir augstākas.</li> </ul>
--	--	--

Apskatītie risinājumi tika pielietoti iepriekš apskatītajai klases telpai ar šādiem parametriem: platība 64.72 m<sup>2</sup>, 32 cilvēki, nepieciešamā gaisa plūsma ir 388.32 l/s jeb 1397.88 m<sup>3</sup>/st. (CO<sub>2</sub> < 1000 ppm; IEQ I).

Iekštelpu gaisa kvalitātes nodrošināšanai apskatītajā klases telpā tika pieņemts CO<sub>2</sub> koncentrācijas robežlielums 1000 ppm, kas atbilst IEQ I kategorijai. Izvērtējot vienkanāla ventilācijas sistēmas risinājumu, tika konstatēts, ka viena ventilācijas iekārta nespēj nodrošināt klases telpai nepieciešamo gaisa plūsmu, līdz ar to šāds risinājums nav uzskatāms par piemērotu noteikto iekštelpu gaisa kvalitātes prasību izpildei.

Klases telpas vienkanāla sistēmas ventilācijas risinājuma gaisa apmaiņas zonas un gaisa plūsmas virzienu shēma ir parādīta 17. attēlā



17. attēls. Vienkanāla sistēmas ventilācijas risinājuma gaisa apmaiņas zonas un gaisa plūsmas klases telpā.

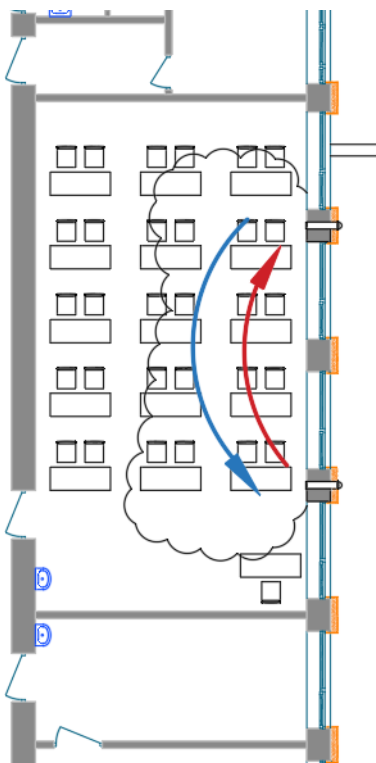
17. attēlā gaiši zilās un sarkanās bultas attēlo gaisa plūsmas virzienus telpā (konceptuāls plūsmas attēlojums), savukārt baltais “mākonis” apzīmē gaisa apmaiņas zonu.

Divkanāla vai daudzkanāla sistēmas risinājumi apskatītajai klases telpai ir apkopoti 33. tabulā:

Divkanāla vai daudzkanāla ventilācijas sistēmas risinājums apskatītajai klases telpai.

Ventilācijas sistēmas risinājums	Iekārtu skaits	Iekārtas (no ventilācijas iekārtas salīdzinājuma)
Divkanāla vai daudzkanāla sistēma	2	1. Iekārtu skaits nespēj nodrošināt tik lielu gaisa plūsmu.
	14	1. Blauberg VENTO Expert A100-1 S10 W V.2 (tikai ventilācijas režīmā; bez siltuma atgūšanas) 2. Lunos 160 sērija (Nexxt) 3. Fantini Cosmi (Ecocomfort 3.0)
	24	1. Blauberg VENTO Expert A100-1 S10 W V.2 (tikai ventilācijas režīmā; bez siltuma atgūšanas) 2. Lunos 160 sērija (Nexxt) 3. Fantini Cosmi (Ecocomfort 3.0) 4. Lunos e <sup>2</sup> sērija (e <sup>2</sup> 60) 5. Flexit Roomie Dual (WiFi V2) (izplūdes rež.) 6. Aerauliņa QUANTUM NEXT (Orion 150) 7. Lotus (WiFi) 8. Fantini Cosmi (Ecocomfort 160) 9. Zehnder (ComfortAir 70)
	35	1. Blauberg VENTO Expert A100-1 S10 W V.2 (tikai ventilācijas režīmā; bez siltuma atgūšanas) 2. Lunos 160 sērija (Nexxt) 3. Fantini Cosmi (Ecocomfort 3.0) 4. Lunos e <sup>2</sup> sērija (e <sup>2</sup> 60) 5. Flexit Roomie Dual (WiFi V2) (izplūdes rež.) 6. Aerauliņa QUANTUM NEXT (Orion 150) 7. Lotus (WiFi) 8. Fantini Cosmi (Ecocomfort 160) 9. Zehnder (ComfortAir 70) 10. Flexit Aura One (WiFi 160 mm) 11. Europlast E-EXTRA (EER150) 12. Blauberg VENTO (inHome) 13. Europlast E-EXTRA (EER100WP)

Klases telpas divkanāla vai daudzkanāla sistēmas ventilācijas risinājuma gaisa apmaiņas zonas un gaisa plūsmas virzienu shēma ir parādīta 18. attēlā:



18. attēls. Divkanāla vai daudzkanāla sistēmas ventilācijas risinājuma gaisa apmaiņas zonas un gaisa plūsmas klases telpā.

15. attēlā gaiši zilās un sarkanās bultas attēlo gaisa plūsmas virzienus telpā (konceptuāls plūsmas attēlojums), savukārt baltais “mākonis” apzīmē gaisa apmaiņas zonu.

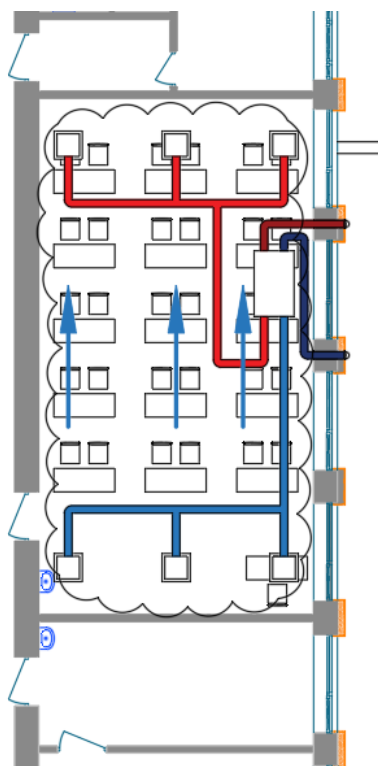
Decentralizētās ventilācijas iekārtas risinājumi apskatītajai klases telpai ir apkopoti 34. tabulā:

34. tabula

Decentralizētās ventilācijas iekārtas risinājumi apskatītajai klases telpai.

Ventilācijas sistēmas risinājums	Iekārtu skaits	Iekārtas (no ventilācijas iekārtas salīdzinājuma)
Decentralizēta ventilācijas iekārta	2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Atrea DUPLEX Inter 850</li> <li>2. Atrea DUPLEX Inter-H</li> <li>3. Swegon Class Unit (PX un PX TOP)</li> <li>4. Komfovent VERSO (CF 1500 F C5)</li> <li>5. WOLF CGL 2 edu</li> </ol>

Klases telpas decentralizētās ventilācijas iekārtas ventilācijas risinājuma gaisa apmaiņas zonas un gaisa plūsmas virzienu shēma ir parādīta 20. attēlā:



20. attēls. Decentralizētās ventilācijas iekārtas ventilācijas risinājuma gaisa apmaiņas zonas un gaisa plūsmas klases telpā.

20. attēlā pieplūdes gaisa kanāli (svaigā gaisa padeve telpā) ir iezīmēti zilā krāsā, savukārt nosūces gaisa kanāli (gaisa savākšana un novadīšana uz iekārtu) – sarkanā krāsā. Pieslēguma posmi pie ventilācijas iekārtas, kas attēlo ārējā gaisa ieplūdi un izplūdi, ir norādīti tumši zilā un tumši sarkanā tonī. Gaisa plūsmas virziens telpā ir parādīts ar gaiši zilām bultām, kas sniedz konceptuālu plūsmas trajektoriju interpretāciju. Gaisa apmaiņas zona telpā ir izcelta ar balta “mākoņa” apzīmējumu, kas ilustrē telpas daļu, kurā dominējoši notiek sajaukšanās un gaisa kvalitātes atjaunošanās process.

## Secinājumi

Literatūras pārskatā tika apkopota informācija par juridiskajiem reglamentiem saistībā ar iekštelpu gaisa kvalitāti Eiropas valstīs. Svarīgākie parametri, kuri tika aplūkoti ir maksimālais pieļaujamais CO<sub>2</sub> līmenis, kā arī gaisa apmaiņa uz vienu cilvēku.

Pēc apkopotās informācijas var novērot, ka pieļaujamais CO<sub>2</sub> līmenis telpā gandrīz visās valstīs ir 1000 ppm. Ja šī vērtība jau ir pārsniegta, un tuvojas robežās pie 1500 ppm vai vairāk, tad ir jāsāk rīkoties (jāvēdina telpas, jāuzlabo ventilācijas procedūras). Lielāko pieļaujamo vērtību pieņem Beļģija, kur CO<sub>2</sub> līmenis var būt pat aptuveni 1200 ppm. Visās valstīs ir noteikts, ka ir jāmēra CO<sub>2</sub> līmenis telpās, lai varētu nodrošināt efektīvu ventilāciju, gaisa plūsmu.

Gaisa plūsmas nosacījumi arī būtiski neatšķiras katrā no izpētītajām Eiropas valstīm. Viduvēji var secināt, ka noteiktais gaisa daudzums ir robežās no 5 līdz 6 l/s uz vienu cilvēku. Dažas no valstīm ir norādījušas, ka gaisa plūsma arī ir robežās no 18 līdz 40 m<sup>3</sup>/h uz vienu cilvēku, tomēr vērtība var variēt atkarībā no izvēlētās telpas pielietojuma. Piemēram Slovēnijā ir jāveic 5 gaisa apmaiņas vienā stundā. Ir arī valstis kā Austrija, Īrija un Itālija, kur juridiskos aktos nav norādītas konkrētas vērtības, kuras būtu jāievēro, tikai ieteikumi un prasība, ka telpas ir jāvēdina.

Nedzīvojamo ēku gaisa daudzuma noteikšanas aprēķini tika veikti pēc LVS EN 16798-1:2021 standarta. Šis standarts paredz to, ka priekš ventilācijas sistēmu parametru iekštelpu gaisa apmaiņas noteikšanai, aprēķinos tiek izmantotas trīs metodes. Aprēķinos arī tika ņemti vērā standartā noteiktie iekštelpu vides kategorijas līmeņi (IEQ I-IV). Pēc šīm IEQ kategorijām tika klasificētas tālāk izmantotās vērtības (projektējamā ventilācijas gaisa plūsma), kas standartā ir noteiktas pēc trīs piesārņojuma līmeņiem.

Normatīvajos avotos ir pieņemts, ka kopējā platība telpā uz vienu cilvēku var atšķirties pēc telpas pielietojuma. Šajos aprēķinos tika ņemti vērā trīs telpas pielietojumi (skolas klases telpa, bērnudārza telpa un biroja telpa), kuros bija vienādi nosacījumi: telpas platība ir 64.72 m<sup>2</sup>, griestu augstums ir 3.0 m, telpas tilpums ir 194.16 m<sup>3</sup>, un kopējais cilvēku skaits ir 6 (biroja telpa) vai 32 (skolas klases/bērnudārza telpa).

Pēc visu trīs telpas pielietojumu iegūtajiem aprēķinu datiem, var secināt, ka pirmā un trešā aprēķinu metode dod identiskus datus. Projektējamā ventilācijas gaisa daudzuma noteikšana ir

atkarīga no izvēlētās aprēķinu metodes. Ar otro aprēķinu metodi tiek iegūti zemāki projektējamā ventilācijas gaisa daudzumi visās četrās ēkas kategorijās.

Maksimāli sasniegtais CO<sub>2</sub> līmenis ir augstāks visos gadījumos otrajai aprēķinu metodei, kur var novērot, ka IEQ IV kategorijā ir visaugstākie rādītāji visos gadījumos.

Viszemākie projektējamie ventilācijas gaisa daudzuma un maksimāli sasniegtie CO<sub>2</sub> līmeņu vērtības ir biroja telpai. Tomēr ir jāņem vērā, ka šīm telpas pielietojumam ir lielāka cilvēka blīvuma vērtība (10 m<sup>2</sup> uz cilvēku) nekā pārējām divām telpām (2 m<sup>2</sup> uz cilvēku), kā arī savādāks cilvēku skaits telpā, biroja telpai tie ir seši. Bērnudārza un skolas klases telpas rezultāti ir samērā līdzīgi, tomēr augstākas vērtības ir bērnudārza telpai.

Viena decentralizētā pieplūdes/nosūces iekārtā pilna mērā neder klases telpām, jo tieši svaiga gaisa daudzums ir pārāk maz, lai varētu nodrošināt pilnvērtīgu gaisa apmaiņu visā telpas platībā. Strādājot nosūces režīmā gaiss tiek padots telpā no blakus telpas kur CO<sub>2</sub> koncentrācija jāpārsniedz koncentrāciju āra gaisā.

Divkanālu vai daudzkanālu ventilācijas iekārtu gaisa apmaiņu var novērot 15. attēlā. Šīs iekārtas jau ir efektīvākas nekā vienkanāla sistēma, tomēr tā nenodrošina pilnīgu gaisa apmaiņu visā telpas platībā. Jāņem vērā, ka jāizmanto vairākas iekārtas vienlaicīgi, lai var nodrošināt gaisa apmaiņu.

12.attēlā var novērot visefektīvāko gaisa apmaiņu klases telpā, tā tiek nodrošināta ar decentralizēto ventilācijas iekārtu. Gaisa apmaiņa notiek pilnvērtīgi visā klases telpas platībā. Tādejādi pēc kopējā datu apkopojuma, var secināt, ka klases telpām vajadzētu izmantot decentralizētas ventilācijas iekārtas, jo tās spēj nodrošināt efektīvāko gaisa apmaiņu.

Analizējot 30. un 31. tabulas rezultātus var izvērtēt dažādu ēkas renovācijas risinājumu kombināciju ietekmi uz ēkas enerģijas patēriņu apkurei un ventilācijas sistēmas darbībai. Salīdzinot nerenovētu ēku bez mehāniskās ventilācijas sistēmas (1.scenārijs) un renovētu ēka bez mehāniskās ventilācijas sistēmas (5.scenārijs), kopējais enerģijas ietaupījums sasniedz 43%, bet gaisa kvalitāte paliek tik pat zemā līmenī vai pat paliek sliktāka. Ja nerenovētai ēkai uzstāda mehānisko ventilācijas sistēmu bez siltuma atgūšanas (2.scenārijs), enerģijas patēriņš pieaug gandrīz 2 reizēs, bet ja ar siltuma atgūšanu (3.scenārijs), tad patēriņš paliek līdzvērtīgs bet tiek sasniegtā izcilā gaisa kvalitāte.

6., 7., 8. scenāriji (renovētā ēka ar mehānisko ventilāciju un siltuma atgūšanu) demonstrē enerģijas patēriņa samazinājumu, salīdzinājumā ar 5. scenāriju (renovētā ēka bez mehāniskās ventilācijas) 3-33% robežās atkarībā no risinājuma, kur lielākais ietaupījums tiek sasniegts izvēloties mainīgās gaisa plūsmas risinājumu, kas palīdz sasniegt trīspusējo līdzsvaru starp ēkas enerģijas patēriņu apkurei, enerģijas patēriņu ventilācijas sistēmas darbināšanai un gaisa kvalitāti .

# Vadlīniju pamatprincipi ilgtspējīgas ventilācijas ieviešanai publiskās ēkās

Balstoties uz pētījuma ietvaros veiktajām dinamiskajām simulācijām IDA ICE vidē un ventilācijas gaisa daudzuma aprēķiniem saskaņā ar LVS EN 16798-1 un LVS CEN/TR 16798-2 metodēm, var definēt vairākus pamatprincipus ilgtspējīgu ventilācijas sistēmu ieviešanai publiskajās ēkās.

Pirmkārt, ventilācijas sistēmu projektēšanā prioritāte jāpiešķir iekštelpu gaisa kvalitātes nodrošināšanai telpās ar augstu cilvēku blīvumu, īpaši izglītības iestādēs. Analīze parādīja, ka klases telpās un bērnu darzu grupās ar lielu telpas noslodzi projektējamais ventilācijas gaisa daudzums būtiski pārsniedz biroja telpām nepieciešamo gaisa daudzumu. Aprēķini liecina, ka tipiskā klasē ventilācijas intensitāte atbilstoši Eiropas praksei atrodas aptuveni 5–6 l/s uz cilvēku jeb 18–40 m<sup>3</sup>/h uz cilvēku, un šādu gaisa apmaiņu nepieciešams nodrošināt ar kontrolējamu ventilācijas sistēmu.

Otrkārt, ventilācijas risinājumu izvēlē būtiska ir kontrolējama gaisa apmaiņa, ko praktiski iespējams nodrošināt tikai ar mehāniskām ventilācijas sistēmām. Analīze parāda, ka dabiskā ventilācija būtiski ir atkarīga no meteoroloģiskajiem apstākļiem (temperatūras starpības, vēja ātruma un virziena), tādēļ tā nespēj garantēt projektēto gaisa apmaiņas daudzumu. Turklāt dabiskās ventilācijas gadījumā telpā ieplūst neapstrādāts āra gaiss, kas var negatīvi ietekmēt gan termisko komfortu, gan gaisa kvalitāti.

Treškārt, pētījumā konstatēts, ka **Decentralizēta ventilācijas iekārta** *Decentralizēta ventilācijas iekārta* iekārtas klašu telpās spēj nodrošināt nepieciešamo gaisa apmaiņu visā telpas apjomā. Modelēšanas rezultāti parāda, ka šāds risinājums var nodrošināt gaisa apmaiņu visā klases telpas platībā un būt efektīvs risinājums renovācijas projektos, kuros centralizētas ventilācijas sistēmas izbūve ir tehniski sarežģīta. Vienlaikus jāuzsver, ka, izmantojot decentralizētās ventilācijas iekārtas, īpaša uzmanība jāpievērš gaisa sadales efektivitātei, jo īpaši gaisa sajaukšanai telpā. Nepietiekami optimizēta iekārta izvietošana var radīt lokālus diskomforta riskus, piemēram, paaugstinātu trokšņa līmeni, lokāli palielinātu gaisa ātrumu vai, tieši pretēji, nepietiekamu gaisa sajaukšanu vai nevienmērīgu gaisa sadali atsevišķās telpas zonās. Tādēļ būtiska nozīme ir gan iekārta izvietojumam, gan to darbības parametru atbilstoši izvēlei.

Ceturtkārt, ventilācijas sistēmu izvērtējumā jāņem vērā energoefektivitātes aspekti, īpaši siltuma atgūšanas izmantošana. Simulāciju rezultāti rāda, ka mehāniskās ventilācijas sistēmas bez siltuma atgūšanas var būtiski palielināt ēkas enerģijas patēriņu, savukārt sistēmas ar siltuma rekuperāciju ļauj nodrošināt augstu gaisa kvalitāti, saglabājot līdzvērtīgu vai pat zemāku kopējo enerģijas patēriņu.

Piektkārt, ventilācijas sistēmām jāparedz pieprasījumam pielāgota regulēšana, piemēram, izmantojot mainīgās gaisa plūsmas (VAV) sistēmas. Simulāciju scenāriji parāda, ka gaisa plūsmas pielāgošana telpas faktiskajai noslodzei ļauj samazināt ventilācijas sistēmu enerģijas patēriņu, vienlaikus saglabājot nepieciešamo gaisa kvalitāti.

## Rekomendācijas ventilācijas sistēmu efektīvākai izmantošanai

Veiktā analīze parāda, ka ventilācijas sistēmu izvēle un ekspluatācija būtiski ietekmē gan iekštelpu gaisa kvalitāti, gan ēku enerģijas patēriņu. Tādēļ publisko ēku īpašniekiem un apsaimniekotājiem ieteicams ievērot vairākus būtiskus principus:

- ēku renovācijas projektos nepieciešams vienlaikus risināt gan energoefektivitātes, gan ventilācijas jautājumus. Simulāciju rezultāti parāda, ka ēkas renovācija bez mehāniskās ventilācijas sistēmas var samazināt enerģijas patēriņu apkurei pat par aptuveni 43%, tomēr šādā gadījumā iekštelpu gaisa kvalitāte saglabājas zemā līmenī vai pat pasliktinās.
- ventilācijas sistēmu ieviešanā jāparedz siltuma atgūšanas tehnoloģiju izmantošana. Analīze parāda, ka mehāniskās ventilācijas sistēmas bez siltuma rekuperācijas var gandrīz divkārtot enerģijas patēriņu apkurei, savukārt sistēmas ar siltuma atgūšanu ļauj nodrošināt augstu gaisa kvalitāti ar līdzvērtīgu kopējo enerģijas patēriņu.
- publisko ēku īpašniekiem jānodrošina regulāra ventilācijas sistēmu ekspluatācijas kontrole, tostarp gaisa plūsmas balansēšana, filtru nomaiņa un sistēmas darbības parametru uzraudzība. Nepietiekama ventilācijas sistēmu apkope var samazināt sistēmas efektivitāti un palielināt enerģijas patēriņu.

- ieteicams izmantot iekštelpu gaisa kvalitātes monitoringa risinājumus, piemēram, CO<sub>2</sub> koncentrācijas mērījumus. Šādi mērījumi ļauj novērtēt ventilācijas sistēmu darbības efektivitāti un nepieciešamības gadījumā pielāgot sistēmas darbības režīmus.

- ventilācijas sistēmu ekspluatācijā ieteicams izmantot pieprasījuma vadītu ventilāciju, kas pielāgo gaisa plūsmu telpas faktiskajam cilvēku skaitam. Šāda pieeja ļauj vienlaikus nodrošināt labu gaisa kvalitāti un optimizēt enerģijas patēriņu.

## Ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmu inspicēšana un uzturēšana

Šī nodaļa papildina iepriekšējo analītisko materiālu un nosaka prasības ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmu regulārai inspicēšanai, uzturēšanai un darbības kontrolei atbilstoši standartam LVS EN 16798-17:2020. Saskaņā ar Ministru kabineta noteikumiem Nr. 222 šāda veida ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmas pārbaudes veic tikai ēkas energosertifikācijas laikā, pēc ēkas atjaunošanas vai pārbūves, pēc gaisa kondicionēšanas sistēmas pārbūves pabeigšanas vai ja pagājuši pieci gadi kopš pēdējās pārbaudes. Pārbaudes laikā tiek pārbaudīta pašas sistēmas efektivitāte un veiktspēja, kas publiskām ēkām ir īpaši būtiski lai nodrošināt nemainīgi augstu iekštelpu gaisa kvalitāti un samērīgu enerģijas patēriņu sistēmas darbībai. Ieteicams izvērtēt sekojošas darbības:

1. Regulārā tehniskā inspicēšana: samērīgi adoptējot LVS EN 16798-17:2020 prasības, sistēmas būtisko mezglu apskate (VAV difuzori, siltuma atgūšanas efektivitāte utml.) jāveic reizi gadā, bet ventilācijas darbības režīmus un grafikus jāpārskata – ik pēc 6 mēnešiem.

3. Filtru nomaiņa un filtrācijas prasības: Pēc filtru nomaiņas jāpārbauda ventilatora darbību, gaisa plūsmas un CO<sub>2</sub> stabilitāte.

4. Atbildīgā persona objektā: Katram objektam jābūt norādītai atbildīgajai personai par AVK sistēmas uzraudzību. Atbildīgā persona veic iestatījumu kontroli, organizē sistēmas mezglu un režīmu pārskati, nodrošina servisa darbus un uztur sistēmas apkopju žurnālu.

5. Iekārtu programmēšana un kalendārie grafiki: Ventilācijas iekārtām jābūt ieprogrammētām atbilstoši gada grafikam, ieskaitot svētku dienas, pārceltās darba dienas, brīvlaikus un vasaras režīmus. Ventilācijai jāieslēdzas 1–2 stundas pirms nodarbību sākuma un jāizslēdzas 1 stundu pēc cilvēku aiziešanas. Telpās ar mainīgu noslodzi jāaktivizē CO<sub>2</sub> vadības režīmi.

# Priekšlikumi normatīvā regulējuma pilnveidošanai ventilācijas sistēmu ieviešanai

Veiktā analīze un pētījuma rezultāti liecina, ka ventilācijas sistēmu projektēšanas prasības Latvijā lielā mērā balstās uz Eiropas standartiem, īpaši LVS EN 16798-1, kas definē iekštelpu gaisa kvalitātes kategorijas un tām atbilstošos ventilācijas gaisa daudzumus. Vienlaikus Latvijā spēkā esošais normatīvais regulējums – būvnormatīvs LBN 231-15 “Dzīvojamā un publisko ēku apkure un ventilācija” – atsevišķos gadījumos interpretē šo standartu prasības tādā veidā, kas var radīt nesamērīgas prasības attiecībā uz ventilācijas sistēmu izmaksām un ēku energoefektivitāti.

Saskaņā ar LVS EN 16798-1 iekštelpu gaisa kvalitāte tiek klasificēta vairākās kategorijās (IDA 1–IDA 4), kas nosaka pieļaujamo oglekļa dioksīda koncentrācijas pieaugumu virs āra gaisa koncentrācijas. Tipiskās robežvērtības ir:

<b>Gaisa kvalitātes kategorija</b>	<b>CO<sub>2</sub> pieaugums virs āra gaisa</b>	<b>Aptuvenā CO<sub>2</sub> koncentrācija telpā</b>
<b>IDA 1</b> (ļoti augsta kvalitāte)	550 ppm	~1000 ppm
<b>IDA 2</b> (augsta kvalitāte)	800 ppm	~1250 ppm
<b>IDA 3</b> (pieņemama kvalitāte)	1350 ppm	~1800 ppm
<b>IDA 4</b> (zemāka kvalitāte)	>1350 ppm	>1800 ppm

Šīm kategorijām atbilst arī dažādi projektējamie ventilācijas gaisa daudzumi. Piemēram, biroju telpām ventilācijas intensitāte parasti ir aptuveni:

- IDA 1: 10 l/s uz cilvēku;
- IDA 2: 7 l/s uz cilvēku;
- IDA 3: 4 l/s uz cilvēku;
- IDA 4: 2.5 l/s uz cilvēku.

Šādas atšķirības būtiski ietekmē gan ventilācijas sistēmu dimensijas, gan enerģijas patēriņu.

Pašlaik praksē LBN 231-15 prasības bieži tiek interpretētas tā, ka publiskajās ēkās jānodrošina CO<sub>2</sub> koncentrācija līdz aptuveni 1000 ppm, kas faktiski atbilst 1. gaisa kvalitātes kategorijai (IDA

1). Eiropas standartu pieeja paredz, ka šāda kvalitātes kategorija ir nepieciešama tikai telpām ar īpaši augstām veselības prasībām, piemēram: slimnīcām un ārstniecības iestādēm, bērnudārziem, skolām un telpām, kur uzturas jutīgas lietotāju grupas.

Savukārt lielākajai daļai publisko ēku – piemēram birojiem, administratīvajām ēkām vai citām līdzīgām telpām – IDA 2 kategorija Eiropas praksē tiek uzskatīta par pilnībā pietiekamu komforta līmeni. Renovācijas projektos bieži tiek pieņemta IDA 3 kategorija kā minimāli pieļaujamais līmenis, kas ļauj nodrošināt pieņemamu gaisa kvalitāti ar samērīgām investīcijām.

Vienotas prasības piemērošana visām publiskajām ēkām var radīt situāciju, kurā ventilācijas sistēmas tiek projektētas ar pārmērīgi lielām gaisa plūsmām. Tas būtiski palielina: ventilācijas sistēmu izbūves izmaksas, ventilatoru elektroenerģijas patēriņu, siltuma zudumus ventilācijas procesā, kā arī pazemina mitruma līmeni ziemas laikā.

Rezultātā renovācijas vai jaunu ēku projektos var tikt izstrādāti tehniski sarežģīti un ekonomiski nesamērīgi ventilācijas risinājumi, kuru izbūve un ekspluatācija ēku īpašniekiem ir grūti finansējama. Šāda situācija var radīt arī risku, ka ventilācijas prasības daļēji neitralizē energoefektivitātes pasākumu ieguvumus, jo ventilācijas radītais enerģijas patēriņš kļūst par vienu no galvenajiem ēkas ekspluatācijas enerģijas patēriņa komponentiem.

Papildus jāņem vērā, ka daudzās publiskajās ēkās telpu noslodze būtiski mainās dienas laikā. Šādos gadījumos konstantas gaisa plūsmas (CAV) ventilācijas sistēmas bieži nodrošina pārmērīgu ventilāciju periodos, kad telpu noslodze ir zema, tādējādi palielinot enerģijas patēriņu. Tādēļ normatīvā regulējuma pilnveidošanā būtu lietderīgi skaidrāk paredzēt pieprasījumam pielāgotu ventilācijas regulēšanu, piemēram izmantojot mainīgas gaisa plūsmas (VAV – Variable Air Volume) sistēmas vai citus pieprasījuma vadītas ventilācijas risinājumus. Šādas sistēmas ļauj regulēt ventilācijas gaisa daudzumu atbilstoši faktiskajai telpu noslodzei vai CO<sub>2</sub> koncentrācijai telpā, nodrošinot nepieciešamo gaisa kvalitāti tikai tajā apjomā, kāds konkrētajā brīdī ir nepieciešams.

VAV vadītu ventilācijas sistēmu izmantošana ļauj būtiski samazināt ventilācijas sistēmu enerģijas patēriņu, vienlaikus saglabājot atbilstību noteiktajām gaisa kvalitātes kategorijām. Tas ir īpaši nozīmīgi publiskajās ēkās ar mainīgu telpu noslodzi, piemēram birojos, auditorijās, konferenču telpās vai izglītības iestādēs.

Normatīvā regulējuma pilnveidošanai lietderīgi apsvērt pieeju, kas skaidri sasaista LBN prasības ar LVS EN 16798-1 gaisa kvalitātes kategorijām un dažādiem ēku lietošanas scenārijiem. Telpām ar paaugstinātām veselības prasībām, piemēram slimnīcām, būtu pamatoti piemērot IDA 1 kategoriju. Lielākajai daļai publisko ēku t.sk. bērnudārziem un skolām, kā pamatprasību varētu noteikt IDA 2 kategoriju, savukārt renovācijas projektos vai esošām ēkām par minimāli pieļaujamo līmeni varētu uzskatīt IDA 3 kategoriju, ja augstāku kategoriju sasniegšana nav tehniski vai ekonomiski pamatota.

Papildus lietderīgi normatīvajā regulējumā skaidrāk definēt samērīguma principu starp iekštelpu gaisa kvalitāti un energoefektivitāti, lai ventilācijas prasības būtu tehniski pamatotas un ekonomiski realizējamas.

Normatīvā regulējuma pilnveidošanas procesā būtisku pamatojumu var sniegt arī salīdzinoša analīze starp dažādām ventilācijas kategorijām, izvērtējot 1., 2. un 3. kategorijas prasību ietekmi uz ventilācijas gaisa daudzumu, enerģijas patēriņu un iekštelpu gaisa kvalitāti tipiskās publiskajās ēkās, piemēram birojos vai izglītības iestādēs. Šādas analīzes rezultāti ļautu objektīvi izvērtēt kompromisu starp gaisa kvalitāti un energoefektivitāti un varētu kalpot par pamatu LBN 231-15 prasību precizēšanai.

Šāda pieeja ļautu nodrošināt līdzsvaru starp veselīga iekštelpu klimata nodrošināšanu un ekonomiski pamatotu ēku energoefektivitāti, vienlaikus veicinot ventilācijas sistēmu plašāku un praktiski realizējamu ieviešanu publiskajās ēkās.

## Izmantotās literatūras saraksts

- [1] Ministru kabinets, *Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 231-15 "Dzīvojamo un publisko ēku apkure un ventilācija"*. Latvija, 2015. Skatīts: 2026. gada 17. martā. [Tiešsaiste]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/274815-noteikumi-par-latvijas-buvnormativu-lbn-231-15-dzivojamo-un-publisko-eku-apkure-un-ventilacija>
- [2] Latvijas Nacionālā standartizācijas institūcija, *LVS EN 16798-1:2021 - Ēku energoefektivitāte. Ēku ventilācija. 1.daļa: Telpu mikroklimata ievades parametri ēku energoefektivitātes projektēšanai un novērtēšanai, ņemot vērā telpu gaisa kvalitāti, temperatūras režīmu, apgaismojumu un akustiku. M1-6 modul....* 2021. Skatīts: 2026. gada 17. martā. [Tiešsaiste]. Pieejams: <https://www.lvs.lv/lv/products/153455>
- [3] J. S. Englund, M. Cehlin, J. Akander, un B. Moshfegh, "Measured and simulated energy use in a secondary school building in Sweden-a case study of validation, airing, and occupancy behaviour", *Energies (Basel)*., sēj. 13, nr. 9, 2020, doi: 10.3390/en13092325.
- [4] N. Jung, S. Paiho, J. Shemeikka, R. Lahdelma, un M. Airaksinen, "Energy performance analysis of an office building in three climate zones", *Energy Build.*, sēj. 158, lpp. 1023–1035, janv. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.10.030.
- [5] A. A. Serageldin, N. Mihály, K. Rezk, un A. Hainoun, "Development and validation of reduced-order building energy model for an Austrian zero-energy school using IDA ICE", *Journal of Building Engineering*, sēj. 115, 2025, doi: 10.1016/j.job.2025.114401.
- [6] Latvijas Nacionālā standartizācijas institūcija, *LVS CEN/TR 16798-2:2022 - Ēku energoefektivitāte. Ēku ventilācija. 2.daļa: EN 16798-1 standarta prasību interpretācija. Telpu mikroklimata ievades parametri ēku energoefektivitātes projektēšanai un novērtēšanai, ņemot vērā telpu gaisa kvalitāti, temperat....* 2022. Skatīts: 2026. gada 17. martā. [Tiešsaiste]. Pieejams: <https://www.lvs.lv/products/156860>
- [7] Latvijas Nacionālā standartizācijas institūcija, *LVS EN ISO 7730:2006 - Siltuma vides ergonomika. Termālā komforta analītiska noteikšana un interpretācija, izmantojot paredzamā vidējā balsojuma (PMV) un paredzamā neapmierināto personu procenta (PPD) indeksu kalkulāciju un lokālā termālā komforta kritēr....* 2006. Skatīts: 2026. gada 17. martā. [Tiešsaiste]. Pieejams: <https://www.lvs.lv/products/19256>

- [8] F. Pollozhani, R. S. McLeod, M. Gustin, L. Villanova, un C. J. Hopfe, "A comparison of methods for the derivation of classroom ventilation rates from CO2 measurements", *Build. Environ.*, sēj. 295, nr. 6, lpp. 114288, mai. 2026, doi: 10.1016/j.buildenv.2026.114288.
- [9] J. Zemitis, R. Bogdanovics, A. Prozuments, un A. Borodinecs, "Study of pressure difference influence on air flow, heat recovery efficiency and acoustic performance of a local decentralized ventilation device", *Journal of Building Engineering*, sēj. 86, lpp. 108900, jūn. 2024, doi: 10.1016/j.jobbe.2024.108900.
- [10] H. Kuivjõgi, H. Sarevet, M. Thalfeldt, un J. Kurnitski, "Heat recovery ventilation solutions for school building renovation", *CLIMA 2022 conference*, 2022.

# Pielikumi

Pielikums\_1\_ES\_skolu\_ventilācijas\_normatīvi\_atsauces\_.xlsx



Pielikums\_2\_Ventiekartu\_salīdzinājums.docx






Pielikums\_1\_ES\_skolu\_ventilācijas\_normatīvi\_atsauces





Valsts	Saistošais dokuments (primārs)	Prasības formulējums (iss)	Skaitļi/parametri	Primārā atsauce 1	Primārā atsauce 2
Beļģija	Likums 6.11.2022 par iekštelpu gaisa kvalitāti publiski pieejamās slēgtās telpās (atsauces līmeņi)	A līmenis: CO <sub>2</sub> <900 ppm vai ≥40 m <sup>3</sup> /h uz personu; B līmenis: CO <sub>2</sub> <1200 ppm vai ≥25 m <sup>3</sup> /h uz personu (indikatīvi mērķi).	CO <sub>2</sub> 900/1200 ppm; 40/25 m <sup>3</sup> /h uz pers.	<a href="https://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/article.pl?language=fr&amp;lg_txt=&amp;type=&amp;sort=&amp;numac_search=&amp;cn_search=202210604&amp;caller=eli&amp;view_numac=2022110604nx2022110604_fr">https://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/article.pl?language=fr&amp;lg_txt=&amp;type=&amp;sort=&amp;numac_search=&amp;cn_search=202210604&amp;caller=eli&amp;view_numac=2022110604nx2022110604_fr</a>	
Nīderlande	Nacionālo reformu apraksts (Eurydice) – CO <sub>2</sub> mērītāji klasēs no 01.07.2025	No 1.07.2025 visās pamatskolu klasēs jābūt darbspējīgam CO <sub>2</sub> mērītājam; augsts CO <sub>2</sub> prasa rīcību no telpā esošajam personālam, ievērojot esošās ventilācijas sistēmas iespējas. Ja esošā sistēma nav pietiekama, tad darba devējam ir jārisina problēma	CO <sub>2</sub> mērītājs obligāts (pamatizglītībā; praksē arī plašāk)	<a href="https://eurypedia.eacea.ec.europa.eu/eurypedia/netherlands/national-reforms-school-education">https://eurypedia.eacea.ec.europa.eu/eurypedia/netherlands/national-reforms-school-education</a>	
Francija	Code de l'environnement (R.221-30 u.c.) + Dekrēti par IAQ uzraudzību ERP (skolas u.c.)	Skolām u.c. ERP jāveic ikgadēja vēdināšanas/aerācijas līdzekļu izvērtēšana, t.sk. CO <sub>2</sub> tiešā nolasiējuma mērījumi. IAQ (iekšējā gaisa kvalitātes) pašdiagnotika vismaz reizi četros gados. Ja CO <sub>2</sub> <800 ppm, tad ir ir apmierinoši apstākļi. Ja CO <sub>2</sub> >1500 ppm, pēc iespējas ātrāk jārikojas	Obligāta IAQ/ventilācijas uzraudzība; CO <sub>2</sub> mērījumi: <800 ppm, apmierinoši apstākļi; >1500 ppm, jārikojas pēc iespējas ātrāk	<a href="https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/surveillance-de-la-qualite-de-l-air-interieur-dans-les-etablissements-recevant">https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/surveillance-de-la-qualite-de-l-air-interieur-dans-les-etablissements-recevant</a>	<a href="https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT0000468300">https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT0000468300</a>
Vācija	Umweltbundesamt (UBA) vadlīnijas skolu telpām (CO <sub>2</sub> higiēnas klasifikācija un rīcība)	CO <sub>2</sub> <1000 ppm ' higiēniski nebutisks'; 1000–2000 'higiēniski pamanāms'; >2000 'higiēniski nepieņemams'. Pie >1000 ppm jāvēdina, jāpārbauda un jāuzlabo ventilācijas procedūras. Pie >2000 ppm – obligāti jāvēdina; jāpārbauda ventilācijas iespējas, vai pat plašākas sistēmas.	1000/2000 ppm sliekšņi rīcībai	<a href="https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4113.pdf">https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4113.pdf</a>	
Dānija	BR18 (Executive order on building regulations 2018) – 447. punkts	Mācību telpās skolās pieplūde/novade ≥5,0 l/s uz vienu personu, un ≥0,35 l/s uz m <sup>2</sup> ; jānodrošina, ka CO <sub>2</sub> iekštelpās nepārsniedz 1000 ppm projektētajos apstākļos.	≥5,0 l/s uz pers. + ≥0,35 l/s uz m <sup>2</sup> ; CO <sub>2</sub> ≤1000 ppm	<a href="https://www.byggerietsregler.dk/wp-content/uploads/2018/09/BR18_Executive_order_on_building_regulations_2018.pdf">https://www.byggerietsregler.dk/wp-content/uploads/2018/09/BR18_Executive_order_on_building_regulations_2018.pdf</a>	
Somija	Somijas 'D2 Indoor Climate and Ventilation' vadlīnijas (angļu tulkojums)	Āra gaisa pieplūde telpās: vismaz 6 dm <sup>3</sup> /s uz personu (ja projektē pēc personu skaita); kā vispārīgs noteikums arī ≥0,35 dm <sup>3</sup> /s uz m <sup>2</sup> .	≥6 l/s uz pers.; arī ≥0,35 l/s uz m <sup>2</sup> (kā vispārīgs noteikums)	<a href="https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/D2eng%20-ventilation%20guidelines%20in%20FinalInd%20in%20Engl%20ish_p.pdf">https://build-up.ec.europa.eu/sites/default/files/D2eng%20-ventilation%20guidelines%20in%20FinalInd%20in%20Engl%20ish_p.pdf</a>	
Zviedrija	Boverkets byggregler (BBR) – 6:251 (ventilācijas plūsma)	Ventilācijas sistēma jāprojektē minimālajam āra gaisa plūsmai 0,35 l/s uz m <sup>2</sup> ; telpām jānodrošina telpu nepārtraukta gaisa apmaiņa, kad tās lieto.	≥0,35 l/s uz m <sup>2</sup> (min āra plūsma)	<a href="https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ventilation/">https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ventilation/</a>	(angļu tulkojums) <a href="https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2019/bbr-2011-6-tom-2018-4-english-2.pdf">https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2019/bbr-2011-6-tom-2018-4-english-2.pdf</a> <a href="https://www.oib.or.at/wp-content/uploads/richtlinien/richtlinie_2023/oib-ri_3_ausgabe_mai_2023.pdf">https://www.oib.or.at/wp-content/uploads/richtlinien/richtlinie_2023/oib-ri_3_ausgabe_mai_2023.pdf</a>
Austrija	OIB (Austrian Institute of Construction Engineering) – norāde uz OIB Richtlinie 3 (2023)	Aizņemtām telpām jābūt 'pietiekami ventilētām', jāvēdina ar logiem, durvīm vai ar mehānisko ventilāciju.	Nav norādītas konkrētas vērtības	<a href="https://www.oib.or.at/en/nicht-kategorisiert/indoor-air-in-educational-institutions/">https://www.oib.or.at/en/nicht-kategorisiert/indoor-air-in-educational-institutions/</a>	
Latvija	MK noteikumi Nr.610 (higiēnas prasības izglītības iestādēm); LBN 231-15 (apķure un ventilācija)	Telpās bez mehāniskās ventilācijas: klases jāvēdina pēc katras stundas ≥10 min (ziemā ≥5). Sanitārās telpas: mehāniskā vilkmes ventilācija. Laboratorijās: mehāniskā pieplūde+vilkmes ventilācija. CO <sub>2</sub> iekštelpās nepārsniedz 1000 ppm	Vēdināšana 10/5 min, atkarībā no laikapstākļiem; mehāniskā vilkmes ventilācija sanitārajās telpās; mehāniskā ventilācija un pieplūde laboratorijās; CO <sub>2</sub> ≤1000 ppm	<a href="https://likumi.lv/ta/id/69952-higienas-prasibas-izglitiba-iestadem-kas-isteno-visparejas-pamatizglitiba-visparejas-videjas-izglitiba-profesionalas">https://likumi.lv/ta/id/69952-higienas-prasibas-izglitiba-iestadem-kas-isteno-visparejas-pamatizglitiba-visparejas-videjas-izglitiba-profesionalas</a>	<a href="https://likumi.lv/ta/id/274815-noteikumi-par-latvijas-buvnormativu-lbn-231-15-dzivojamo-un-publiisko-eku-apkure-un-ventilacija">https://likumi.lv/ta/id/274815-noteikumi-par-latvijas-buvnormativu-lbn-231-15-dzivojamo-un-publiisko-eku-apkure-un-ventilacija</a>
Īrija	Building Regulations (Part F) – Technical Guidance Document F (2019 ed.)	Visām ēkām jānodrošina 'adequate and effective means of ventilation' cilvēkiem ēkās, ierobežojot mitrumu un kaitīgo piesārņotāju koncentrāciju telpu gaisā.	Nav konkrētu skaitļu skolām šajā dokumentā; vispārīgs pienākums	<a href="https://assets.gov.ie/static/documents/technical-guidance-document-f-ventilation.pdf">https://assets.gov.ie/static/documents/technical-guidance-document-f-ventilation.pdf</a>	
Spānija	RITE – Real Decreto 1027/2007 (BOE-A-2007-15820) + CTE DB HS (HS3)	RITE prasa uzturēt pieņemamu iekštelpu gaisa kvalitāti, nodrošinot pietiekamu āra gaisa pieplūdi un novadot 'aire viciado'. HS3 (CTE) nosaka prasības ventilācijai/IAQ (primāri dzīvojamām telpām, bet HS3 tiek izmantots arī noteiktām zonām). Jānodrošina, ka katrā telpā vidējā CO <sub>2</sub> koncentrācija gadā ir mazāka par 900 ppm. Minimālā plūsma 1,5 l/s uz telpu, periodos, kad tā nav apdzīvota.	RITE: vispārīgs IAQ pienākums; CO <sub>2</sub> vidējā koncentrācija gadā ≤ 900 ppm. Min. plūsma 1,5 l/s telpas periodos, kad tā nav apdzīvota	<a href="https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-15820">https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-15820</a>	<a href="https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DcchS.pdf">https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DcchS.pdf</a>
Portugāle	Portaria n.º 353-A/2013 (RECS – Ventilação e QAI) + Anexo (DR PDF)	RECS anekss nosaka minimālo 'caudal de ar novo' un metodes (analítico/prescritivo). Dabiskai ventilācijai (condicional) jāizpilda, t.sk., atveru platība ≥4% grīdas platības, logu prasības un cilvēku blīvums <0,2 pers./m <sup>2</sup> ; preskriptīvajā metodē caurplūsmas tiek noteiktas pēc tabulas 1.04 (m <sup>3</sup> /h uz pers.) un 1.05 (m <sup>3</sup> /h uz m <sup>2</sup> ), var secināt, ka klases gaisa plūsma ir robežās no 28-35 m <sup>3</sup> /h uz personu.	Atveres ≥4% grīdas platības; blīvums <0,2 pers./m <sup>2</sup> ; tabulas 1.04/1.05 (m <sup>3</sup> /h uz pers. un m <sup>3</sup> /h uz m <sup>2</sup> ), klases gaisa plūsma 28-35 m <sup>3</sup> /h uz pers.	<a href="https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/353-a-2013-331868">https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/353-a-2013-331868</a>	<a href="https://files.diariodarepublica.pt/1s/2013/12/23501/000020009.pdf">https://files.diariodarepublica.pt/1s/2013/12/23501/000020009.pdf</a>
Čehija	Vyhlaška č. 20/2012 Sb. (Sbírka zákonů) – groza Vyhlaška č. 268/2009 Sb.	Pobytové místnosti: minimální číra gáiss 25 m <sup>3</sup> /h uz personu vai ventilācijas intensitāte 0,5 l/s; CO <sub>2</sub> kā kvalitātes indikators nedrīkst pārsniegt 1500 ppm.	25 m <sup>3</sup> /h uz pers. vai 0,5 l/h; CO <sub>2</sub> ≤1500 ppm	<a href="https://mmr.gov.cz/getmedia/2bf72909-e837-4dc8-9488-599950e8f9f6/Vyhlaska-MMR-268-2009">https://mmr.gov.cz/getmedia/2bf72909-e837-4dc8-9488-599950e8f9f6/Vyhlaska-MMR-268-2009</a>	





Slovākija	Vyhľadiska č. 259/2008 Z. z. (časová verzia účinná no 04.09.2025) – Slov-lex (statická verzia)	Regulē iekšējo vidi ēkās (t.sk. vetrānie a vykurovanie; limitnē hodnoty škodlivīm faktorom). Visas telpas ir jāvēdina. Ja vienai personai telpā ir 10m <sup>3</sup> , tad nepieciešams 18m <sup>3</sup> /h uz personu vai gaisa apmaiņa 5 l/s uz personu. Skolā gaisa apmaiņām ir jābūt 5 uz 1h. Konkrētās CO <sub>2</sub> robežas nav norādītas.	Nav norādītas CO <sub>2</sub> robežas. Telpā uz 10m <sup>3</sup> , ir nepieciešams 18m <sup>3</sup> /h uz pers. vai 5 l/s uz pers. Gaisa apmaiņa: 5 apmaiņas/h	<a href="https://static.slov-lex.sk/static/SK/ZZ/2008/259/20250904.html">https://static.slov-lex.sk/static/SK/ZZ/2008/259/20250904.html</a>	<a href="https://static.slov-lex.sk/pdf/SK/ZZ/2008/259/ZZ_2008_259_20250904.pdf">https://static.slov-lex.sk/pdf/SK/ZZ/2008/259/ZZ_2008_259_20250904.pdf</a>
Itālija	DPCM 26 luglio 2022 – Linee guida par aerazione/purificazione un minimi IAQ standardi skolās	Dekrēts apstiprina vadlīnijas par fiksētām aerācijas sistēmām un mobilām attīrīšanas ierīcēm, kā arī min. Dekrētā sacīts, ka telpas bieži ir jāvēdina. Jāpēta un jāveic daudz CO <sub>2</sub> mērījumi, lai personāls varētu noteikt gaisa apmaiņas kvalitāti telpā.	Pielikumā nav norādītas vērtības, tikai vadlīnijas, kas būtu jāievēro, lai panāktu labāku gaisa apmaiņu telpās	<a href="https://def.finanze.it/DocTribFrontend/getArticoloDetailFromResultList.do?codiceOrdinamento=600000000000000&amp;id=%7B53025879-268E-47A1-BA80-C248D89F99AA%7D&amp;idAtttoNormativo=%7B386F638D-FDE9-4831-9F61-C653966E5C07%7D">https://def.finanze.it/DocTribFrontend/getArticoloDetailFromResultList.do?codiceOrdinamento=600000000000000&amp;id=%7B53025879-268E-47A1-BA80-C248D89F99AA%7D&amp;idAtttoNormativo=%7B386F638D-FDE9-4831-9F61-C653966E5C07%7D</a>	
<b>Secinājumi</b>	Kopumā, var secināt, ka lielāko daļu no izpētītajām valstīm, CO <sub>2</sub> atļautās robežas ir vienādas, tas ir apmēram <1000ppm. Viduvējā gaisa apmaiņa ir 5.0 l/s uz personu, 18-40 m <sup>3</sup> /h.				

## Ventiekārtu salīdzinājums


Produkts	Tips	Galvenās iezīmes	Gaisa plūsma / efektivitāte	Izmēri	Troksnis	Energoefektivitātes klase	Vadība / savienojamība	Elektriskā jauda	Informācija avoti
Lunos e <sup>2</sup> serija (e <sup>2</sup> 60) 	Caur sienu decentralizēts HRV (regeneratīvs keramikas siltummainis)	Ļoti zems patēriņš; ideāli piemērotas kontrolētai mājas ventilācijai (CHV) jaunbūvēs vai renovācijās	5–60 m <sup>3</sup> /h; siltuma atguve līdz 96%	Ø 154 mm × 243 mm; urbums 162 mm; min. instal. garums 280 mm	10–48 dB(A) 1 m, 3–39 dB(A) 3 m; skaņas līmeņa starpība līdz 67 dB	A+	LUNOS kontrolleri; KNX integrācija ar moduli	0,4-3,3 W	<a href="#">LUNOS e260 rekuperācijas sistēma - 160 sērija - LUNOS</a> = <a href="#">Decentralizētās ventilācijas sistēmas</a>
Flexit Roomie Dual (WiFi V2) 	Caur sienu decentralizēts HRV ar diviem ventilatoriem	Nepārtraukta sabalansēta ventilācija; keramikas reģenerators; Wi-Fi V2	siltuma atgūšana līdz 85%; siltuma atguves rež.: 10/20/30 m <sup>3</sup> /h; izplūdes rež.: 20/40/60 m <sup>3</sup> /h	Sienas biezums 280–500 mm; Ø 160 mm kanāls	Skaņas spiediens 3 m: 17/29/38 dB; skaņas jauda 34/46/55 dB	A	Wi-Fi app; lokāla vadība; pieslēdzami sensori	2,17/3,66/6,62 W	<a href="#">Single room ventilator Roomie Dual W V2W</a>


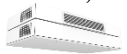
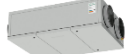
<p>Blauberg VENTO Expert (A 100)</p> 	<p>Vienistabas ERV/HRV ar reverso režīmu</p>	<p>Wi-Fi, Blauberg Home app; sinhronizācija starp vienībām; RH sensors atsevišķos modeļos</p>	<p>līdz 108 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 87%</p>	<p>Ø 160 mm; kanāla garums ap 255–500 mm</p>	<p>Skaņas spiediens 3 m: 13-42dB, atkarība no ātruma</p>	<p>A+</p>	<p>Wi-Fi/app; iesp. pieslēgt BMS caur Wi-Fi risinājumiem</p>	<p>3,2-18,0 W</p>	<p><a href="#">Blauberg VENTO Expert A100-1 S10 W V.2</a></p>
<p>Flexit Aura One (WiFi 160 mm)</p> 	<p>Caur sienu decentralizēts HRV</p>	<p>Keramiskais reģenartors; Wi-Fi pieejamība</p>	<p>Siltuma atgūves rež.: 8/15/25 m<sup>3</sup>/h; izplūdes rež.: 15/35/50 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 88%</p>	<p>Ø 160 mm; Sienas biezums 240-500 mm</p>	<p>Skaņas spiediens 3m: 15/26/32 dB; skaņas jauda: 32/43/49 dB</p>	<p>A+</p>	<p>WiFi: lokāla vadība; pieslēdzami vairāki sensori</p>	<p>1,7/3,0/4,3 W</p>	<p><a href="#">Single room ventilator Aura One W 160 WH</a></p>
<p>Aerauliqa QUANTUM NEXT (Orion 150)</p> 	<p>Caur sienu decentralizēts HRV (reģeneratīvs keramiskais siltummainis)</p>	<p>Zems enerģijas patēriņš; alternējošā plūsma “push-pull”; EC ventilators</p>	<p>20-60 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 91%</p>	<p>Ø 110 mm; Sienas biezums 300-570 mm</p>	<p>Skaņas spiediens 3m: 10-29 dB(A); max. skaņas jauda: 40 dB(A)</p>	<p>A</p>	<p>CTRL-HO vadības bloks (iespēja savienot līdz 8 rekuperatoriem) Modbus komunikācijas modelis</p>	<p>2-6 W</p>	<p><a href="#">Rekuperators AERAULIQA ORION – Tava Sistēma</a></p>
<p>Lotus (WiFi)</p> 	<p>Caur sienu decentralizēts HRV</p>	<p>Nepārtraukta ventilācija; mobilā aplikācija; ventilatora ātruma regulēšana</p>	<p>26-64 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 97%</p>	<p>Urbums Ø 170 mm; Sienas biezums 335-600 mm</p>	<p>Skaņas spiediens: 12-31,9 dB, atkarībā no ātruma</p>	<p>-</p>	<p>WiFi/app: vadība caur mobilās aplikācijas izmantošanu; var savienot ar vairākām ierīcēm</p>	<p>5,9-11,3 W, atkarībā no ātruma</p>	<p><a href="#">Rekuperators LOTUS, ar WiFi funkcionalitāti – Tava Sistēma</a></p>
<p>Europlast E-EXTRA (EER150)</p> 	<p>Caur sienu decentralizēts HRV (reģeneratīvs keramiskais siltummainis)</p>	<p>Nepārtraukta ventilācija; minimāli siltuma zudumi</p>	<p>29/53 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 90%</p>	<p>Ø 150 mm; Sienas biezums 300-555 mm</p>	<p>Skaņas spiediens 3m: 19/32 dB(A)</p>	<p>A</p>	<p>Vadība ar slēdži</p>	<p>1,8/3,7 W</p>	<p><a href="#">Sienas rekuperators ar slēdži EUROPLAST E-EXTRA EER150S, Ø150 mm un</a></p>


									<a href="#">wall-mounted heat recovery units E-EXTRA series EER</a>
<p>Lunos e<sup>2</sup> sērija (e<sup>90</sup>)</p> 	<p>Caur sienu decentralizēts HRV (reģeneratīvs keramiskais siltummainis); divi ventilatori</p>	<p>Zems enerģijas patēriņš; var izmantot jaunbūvēs, gan veicot ēku renovācijas darbus</p>	<p>5/10/20 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 87,7%</p>	<p>Ø 162 mm; Sienas biezums 300-700 mm</p>	<p>Skaņas spiediens: 16,8/24/38,1 dB</p>	<p>A</p>	<p>Caur TouchAir comfort paneli vai universālo vadību; var integrēt esošajās Lunos sistēmās</p>	<p>1/1,7/4,5 W</p>	<p><a href="#">160 sērija - 160 sērija - LUNOS</a> = <a href="#">Decentralizētās ventilācijas sistēmas</a></p>
<p>Fantini Cosmi (Ecomcomfort 160)</p> 	<p>Caur sienu decentralizēts HRV (reģeneratīvs keramiskais siltummainis)</p>	<p>Zems enerģijas patēriņš; strādā reversā režīmā; nepārtraukta ventilācija</p>	<p>38-60 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 90%</p>	<p>Ø 160 mm; Sienas biezums 300-700 mm</p>	<p>Skaņas spiediens: 28-34 dB(A)</p>	<p>A</p>	<p>Caur vadības bloku, ar kuru var savienot 4 ierīces</p>	<p>2-4 W</p>	<p><a href="#">Fantini Cosmi Ecomcomfort 160 Mini Rekuperators, 160mm (AP19980)   prof.lv Viss Online</a></p>
<p>Lunos 160 sērija (Nexxt)</p> 	<p>Caur sienu decentralizēts HRV (entalpijas siltummainis)</p>	<p>Divi radiālie EC motori; mitruma/temperatūras sensori; nepārtraukta ventilācija</p>	<p>15-110 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 96%</p>	<p>Urbums Ø 162 mm, kanāls; Sienas biezums min. 110 mm</p>	<p>Skaņas spiediens 3m: 2-39 dB(A); skaņas spiediens 1m: 12-49 dB(A)</p>	<p>A</p>	<p>Caur TouchAir comfort paneli; integrācija ar KNX moduli; iebūvēta automātiskā vadība</p>	<p>&gt;22W</p>	<p><a href="#">160 sērija - 160 sērija - LUNOS</a> = <a href="#">Decentralizētās ventilācijas sistēmas</a></p>
<p>Blauberg VENTO (inHome)</p> 	<p>Caur sienu decentralizēts HRV (reģeneratīvs keramiskais siltummainis)</p>	<p>Zems enerģijas patēriņš; strādā reversā režīmā; izmanto jaunbūvēs; iebūvēts mitruma sensors</p>	<p>Siltuma atgūves rež.: 8/15/25 m<sup>3</sup>/h; izplūdes rež.: 15/35/50 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 95%</p>	<p>Ø 160 mm; Sienas biezums 240-500 mm</p>	<p>Skaņas spiediens 3m: 11/21/27 dB(A); skaņas spiediens 1m: 20/30/36 dB(A)</p>	<p>A+</p>	<p>Caur vadības pulti; integrācija viedās mājas sistēmās</p>	<p>1,1/2,0/3,4 W</p>	<p><a href="#">Blauberg Vento inHome</a></p>
<p>Fantini Cosmi</p>	<p>Caur sienu decentralizēts HRV</p>	<p>Zems enerģijas patēriņš; strādā reversā režīmā;</p>	<p>30-100 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 90%</p>	<p>Urbums Ø 160 mm;</p>	<p>Skaņas spiediens 3m:</p>	<p>A</p>	<p>WiFi/app: caur aplikāciju Intelliclimate+; ir</p>	<p>2,5/3/5/8/20 W</p>	<p><a href="#">Mini Rekuperators Fantini Cosmi</a></p>

 <p>(Ecocomfort 3.0)</p>	(reģeneratīvs keramiskais siltummainis)	5 darbības režīmi		Sienas biezums 280-530 mm	15/23,5/31,5/40,5 dB(A)		iebūvēts Bluetooth savienojums; integrācija viedā mājas sistēmā		<a href="#">Ecocomfort 3.0 Smart, 160mm (AP19996)   prof.lv Viss Online</a>
 <p>Europlast E-EXTRA (EER100 WP)</p>	Caur sienu decentralizēts HRV (reģeneratīvs keramiskais siltummainis)	Zems enerģijas patēriņš; strādā reversā režīmā	30/45 m <sup>3</sup> /h; siltuma atguve līdz 85%	Ø 100 mm; Sienas biezums 300-555 mm	Skaņas spiediens 3m: 27/32 dB(A)	A	Caur sienas slēdzi, nav pieejams WiFi savienojums	1,5/2 W	<a href="#">Europlast heat recovery unit with pull switch Ø100 – Māja elpo un sienas rekuperatori E-EXTRA series EER</a>
 <p>Zehnder (ComfortAir 70)</p>	Caur sienu decentralizēts (entalpijas siltummainis)	Tiek atgūts gan siltums, gan mitrums; piemērots renovācijas darbiem; uzstāda caur ārsienu	Līdz 60 m <sup>3</sup> /h (pie 50 Pa); siltuma atguve līdz 85%	Ø 250 mm, kanāls; Sienas biezums 275-900 mm	Skaņas spiediens: 34-47 dB(A)	A	Caur integrētu kontrolieri; automatizēta darbība; integrācija caur papildus kanāliem; papildus pieejami papildus CO <sub>2</sub> vai mitruma kontroles sensori	4-17 W	<a href="#">Zehnder ComfoAir 70   Zehnder Group Sales International un Zehnder ComfoAir piemēr70   Zehnder</a>
 <p>Zehnder (ComfoSpot 50)</p>	Caur sienu decentralizēts (entalpijas siltummainis)	Tiek atgūts gan siltums, gan mitrums; piemērots renovācijas darbiem un jaunbūvēm; uzstāda caur ārsienu	Līdz 55 m <sup>3</sup> /h; siltuma atguve līdz 82%; mitruma atguve līdz 78%	Ø 315 mm, garums: 600 mm; Sienas biezums 335-600 mm	Skaņas spiediens 3m: 5,2-29 dB(A)	A	Caur integrētu kontrolieri; CO <sub>2</sub> un mitruma kontroles sensori; var savienot ar citām ierīcēm	5-15 W	<a href="#">Zehnder ComfoSpot 50 decentralizētā ventilācijas iekārta</a>

## Ventilējamās iekārtas ar augstu gaismas plūsmu

Produkts	Tips	Galvenās iezīmes	Gaisa plūsma / efektivitāte	Izmēri	Troksnis	Energoefektivitātes klase	Vadība / savienojamība	Elektriskā jauda	Informācija avoti
<p>Atrea Duplex (Inter 850)</p> 	Decentralizēt a ventilācijas iekārta ar siltuma atgūšanu	Brīvi stāvoša ierīce; paredzēts lielākām telpām (skolas, biroji u.c.); iekārta automātiski pielāgo gaisa apmaiņu atbilstošu cilvēku skaitam telpā; nav nepieciešami gaisa vadi	Līdz 850 m <sup>3</sup> /h; siltuma atgūve līdz 93%	2 x Ø 280 mm, savienojumi	Līdz 32 dB(A)	A	aMotion digitālā kontroles sistēma, kuru var kontrolēt caur serveri, mobilo aplikāciju; autonomā darbība, kur notiek pēc CO <sub>2</sub> kontroles sensoriem; ir iebūvēts dūmu detektors; iespēja pievienot papildus sensorus; iespējas pievienot papildus gaisa sildītāju	1100 W	<a href="#">DUPLEX Inter 850 - School ventilation   ATREA</a>

<p>Atrea Duplex (Inter -H)</p> 	<p>Decentralizēt a ventilācijas iekārta ar siltuma atgūšanu</p>	<p>Šī ierīce ir pieejama divos izmēros; paredzēts lielākām telpām (skolas, biroji, u.c.)</p>	<p>Līdz 950/1100 m<sup>3</sup>/h, atšķirībā no izmēra; siltuma atgūve līdz 93%</p>	<p>2 x Ø 315 mm, pieslēgumi</p>	<p>Līdz 29 dB(A)</p>	<p>A</p>	<p>aMotion digitālā kontroles sistēma, kuru var kontrolēt caur serveri, mobilo aplikāciju; integrēta autonoma CO<sub>2</sub> darbība ar iebūvētu sensoru; var pievienot papildus sildītāju;</p>	<p>2200 W</p>	<p><a href="#">DUPLEX Inter-H - School ventilation   ATREA</a></p>
<p>Swegon Class Unit (PX un PX TOP)</p> 	<p>Decentralizēt a ventilācijas iekārta ar pretplūsmas siltummaiņi</p>	<p>Šī ierīce ir pieejama divos izmēros; ierīce ir stiprināma pie sienas; ierīce paredzēta priekš skolām un birojiem</p>	<p>300 – 1000 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 90 – 93,5%</p>	<p>2 x Ø 432 mm, pieslēgumi</p>	<p>23-42 dB(A)</p>	<p>-</p>	<p>Plug&amp;Play iebūvētā vadības sistēma; Ir pieejams iebūvēt CO<sub>2</sub> un mitruma sensoru; var integrēt ēku vadības sistēmu (ModBus, KNX u.c.); pieejama centrālā vadība skolām</p>	<p>50-379 W; SFP: 0,13–0,38 W/(m<sup>3</sup>/h)</p>	<p><a href="#">CLASS UNIT PX &amp; PX TOP   www.swegon.com</a></p>
<p>Komfovent VERSO (CF 1000 F C5)</p> 	<p>Kompaktā ventilācijas iekārta ar pretplūsmas siltummaiņi</p>	<p>Siltummaiņa atkausēšanas tehnoloģija; iebūvēts kondensācijas pretplūsmu plāksņu siltummaiņis; ierīce paredzēta</p>	<p>Līdz 875 m<sup>3</sup>/h; siltuma atgūve līdz 93%</p>	<p>4 x Ø 315 mm, pieslēgumi</p>	<p>Skaņas spiediens pie 3m: 38 dB(A)</p>	<p>-</p>	<p>Pieejams kontrolpanelis ierīces vadīšanai; ierīci var vadīt arī caur mobilo aplikāciju; var savienot ar citām iekārtām</p>	<p>259 W; SFP: 0,5-1,25 W/(m<sup>3</sup>/h)</p>	<p><a href="#">VERSO Standard   Komfovent un Verso CF 1000 F C5   Komfovent</a></p>

		komerciālām telpām							
<p>WOLF CGL (2 edu)</p> 	Decentralizēta ventilācijas iekārta	Grīdas tipa, stāvoša ierīce; ierīce paredzēta lielākām pēc platības telpām (skolas, komerciālās telpas)	Līdz 1100 m <sup>3</sup> /h; siltuma atguve līdz 90%	-	Skaņas spiediens: 28/32/37 dB(A)	-	Vadība caur WOLF WRS-K sistēmu; var integrēt ēku vadības sistēmu (ModBus, KNX u.c.); pieejams attālinātais vadības panelis; CO <sub>2</sub> sensoru vadīta gaisa plūsma; var pievienot entalpijas siltummaini; var pievienot elektrisko sildītāju	-	<a href="#">WOLF CGL 2 edu - Compact Units</a>