ÕHUJAOTUSE EFEKTIIVSUSE PARANDAMINE

Martin Kiil martin.kiil@taltech.ee
Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond,
Ehituse ja arhitektuuri instituut, ekspert

08.10.2024

SISUKORD

- Sissejuhatus
- Õhuvahetuse efektiivsus
- Kavandamine
- Mõõtmine
- Näited
- Tulemused

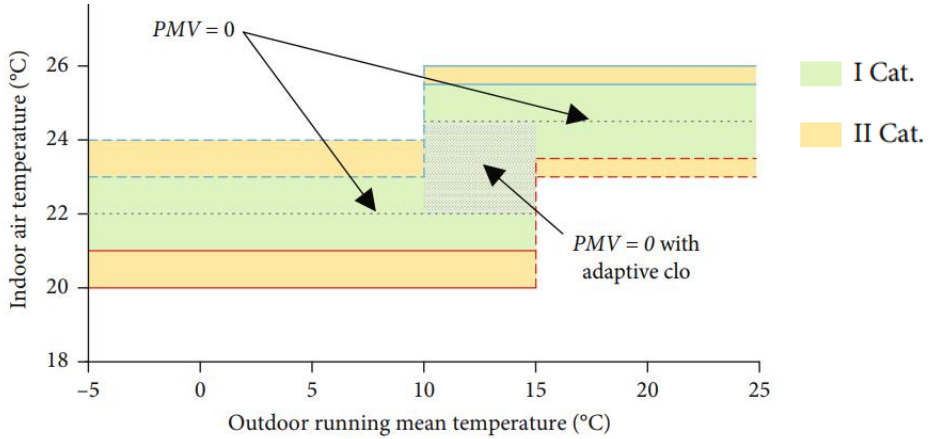
TEMPERATUURIDE JUHTIMINE
ÜLEMINEKUPERIOOD

During between the heating and cooling seasons (with Θ_{rm} between around 10 and 15 °C), adjusted upper and lower temperature limits may be used that lie in between the winter and summer values mentioned in Table B.5.

$$\Theta_m = \left(\Theta_{ed-1} + 0{,}8\,\Theta_{ed-2} + 0{,}6\,\Theta_{ed-3} + 0{,}5\,\Theta_{ed-4} + 0{,}4\,\Theta_{ed-5} + 0{,}3\,\Theta_{ed-6} + 0{,}2\,\Theta_{ed-7}\right) / 3{,}8$$

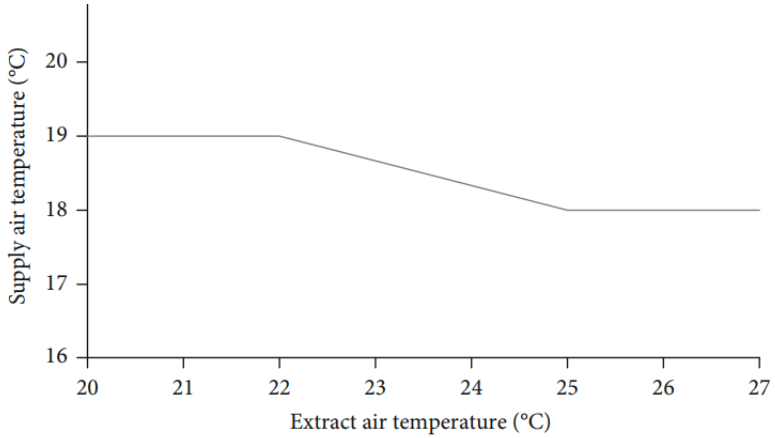
EN 16798-1:2019

Küte ~60 %
Jahutus ~20 %
Üleminek ~20 %



Ruumiõhu temperatuuri soovitused kütte- ja jahutusperioodiks standardse 1,0/0,5 clo alusel.

Outdoor running mean temperature, °C	Controller setpoint, Category I	Controller setpoint, Category II
<10 (heating)	22 ±1	22 ±2
10-15 (midseason)	23.25 ±2.25	23 ±3
>15 (cooling)	24.5 ±1	24.5 ±1.5

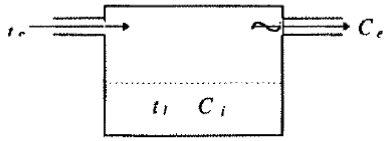
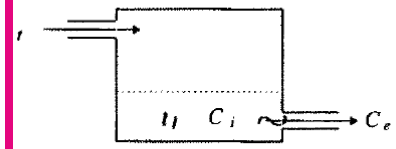
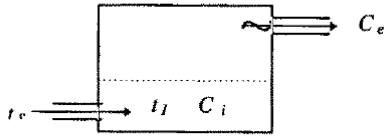


Soovitus ventilatsiooni sissepuhkeõhu seadeväärtuse jaoks sõltuvalt ventilatsiooni väljatõmbeõhu temperatuurist.

Overheating and Air Velocities in Modern Office Buildings During Heating Season Kiil, M; Simson, R; Thalfeldt, M; Kurnitski, J. *Indoor Air, 2024*

KAVANDAMINE
SISSEPUHKE JA RUUMI ÕHUTEMPERATUURIDE VAHE

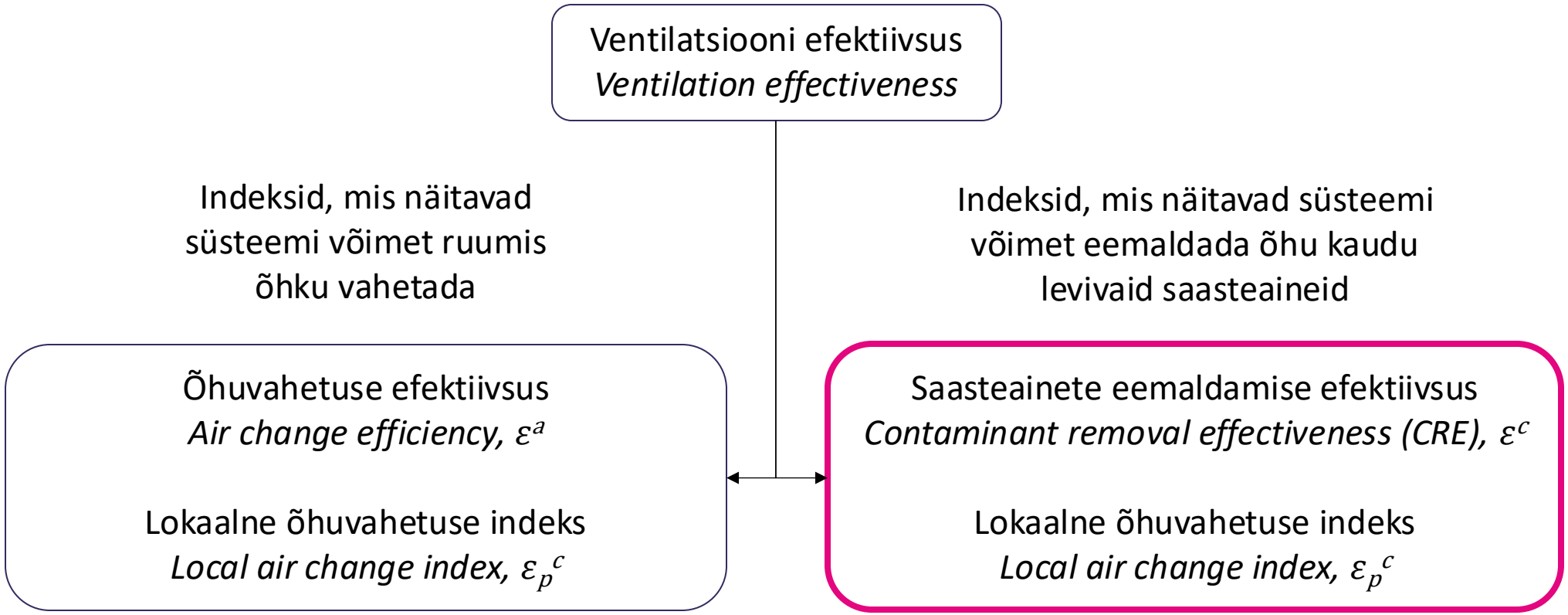
Table F.1 — Examples of ventilation effectiveness in the breathing zone of spaces ventilated in different ways

Mixing ventilation		Mixing ventilation		Displacement ventilation	
					
Temperature difference between supply air and air in breathing zone $t_s - t_i$ °C	**Ventilation effectiveness**	**Temperature difference between supply air and air in breathing zone** $t_s - t_i$ °C	**Ventilation effectiveness**	**Temperature difference between supply air and air in breathing zone** $t_s - t_i$ °C	**Ventilation effectiveness**
< 0	0,9 — 1,0	< -5	0,9	< 0	1,2 — 1,4
0 — 2	0,9	-5 — 0	0,9 — 1,0	0 — 2	0,7 — 0,9
2 — 5	0,8	> 0	1,0	> 2	0,2 — 0,7
> 5	0,4 - 0,7				

TAL TECH

CR 1752:1998

ÕHUJAOTUSE EFEKTIIVSUS



ε_b Ventilatisooni efektiivsus (saasteainete eemaldamise efektiivsus) = 1 täieliku segunimise korral (-)
ventilation effectiveness (contaminant removal effectiveness) = 1 for fully mixed conditions (-)

TAL TECH

Rehva Guidebook no 2 Ventilation Effectiveness, 2004

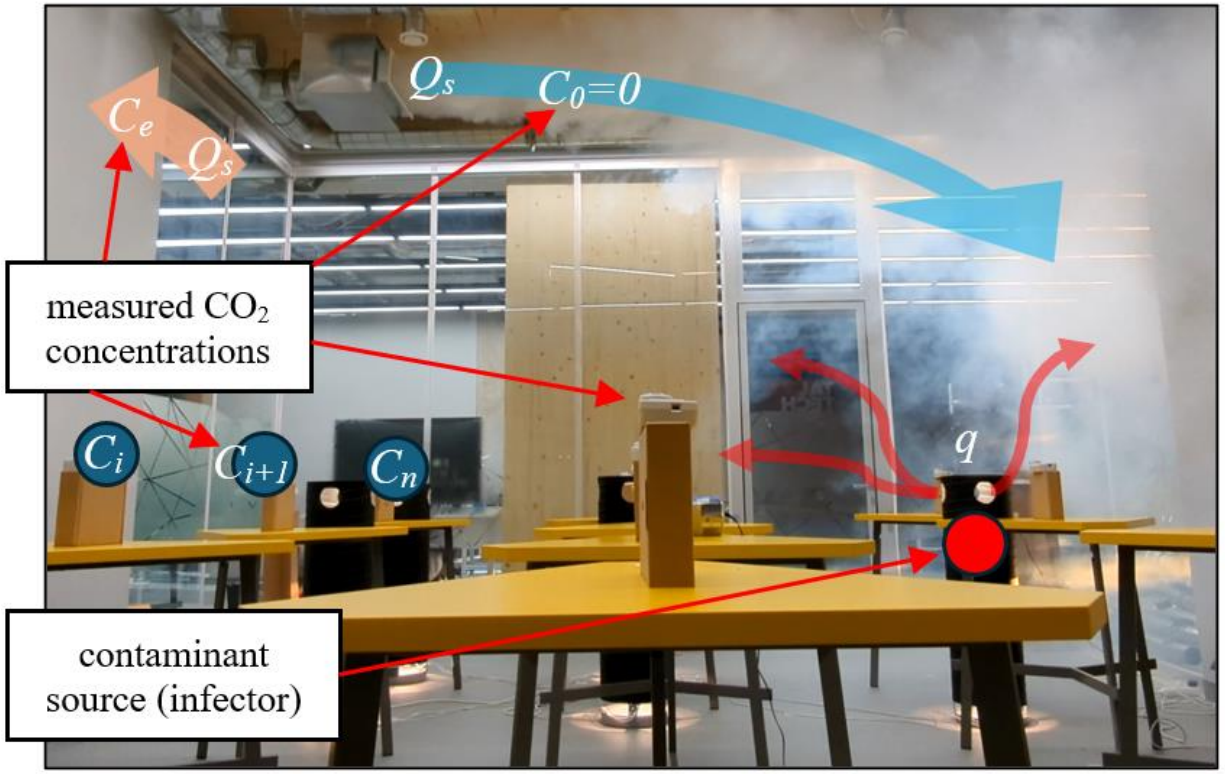
KAVANDAMINE
ÕHUVAHETUSE JA SAASTEAINETE EEMALDAMISE EFEKTIIVSUSE PIIRID

Õhuvahetuse efektiivsus	Ülemine piir	$\varepsilon^a = 1$	Kolbõhuvahetus
	Täielik segunemine	$\boldsymbol{\varepsilon^a = 0.5}$	**Täielik ja hetkeline segunemine**
	Alumine piir	$\varepsilon^a > 0$	Möödaviik ja retsirkulatsioon on eraldatud
Saasteainete eemaldamise efektiivsus	Ülemine piir	$\varepsilon^c > \infty$	Saasteallikas vahetult väljatõmbe läheduses, õhuvoolud ruumis ei mõjuta
	Täielik segunemine	$\boldsymbol{\varepsilon^c = 1}$	**Täielik ja hetkeline segunemine, saasteallika asukoht ruumis ei mõjuta**
	Alumine piir	$\varepsilon^c > 0$	Saasteallikas ruumi retsirkulatsiooni tsoonis eraldatuna möödaviigust

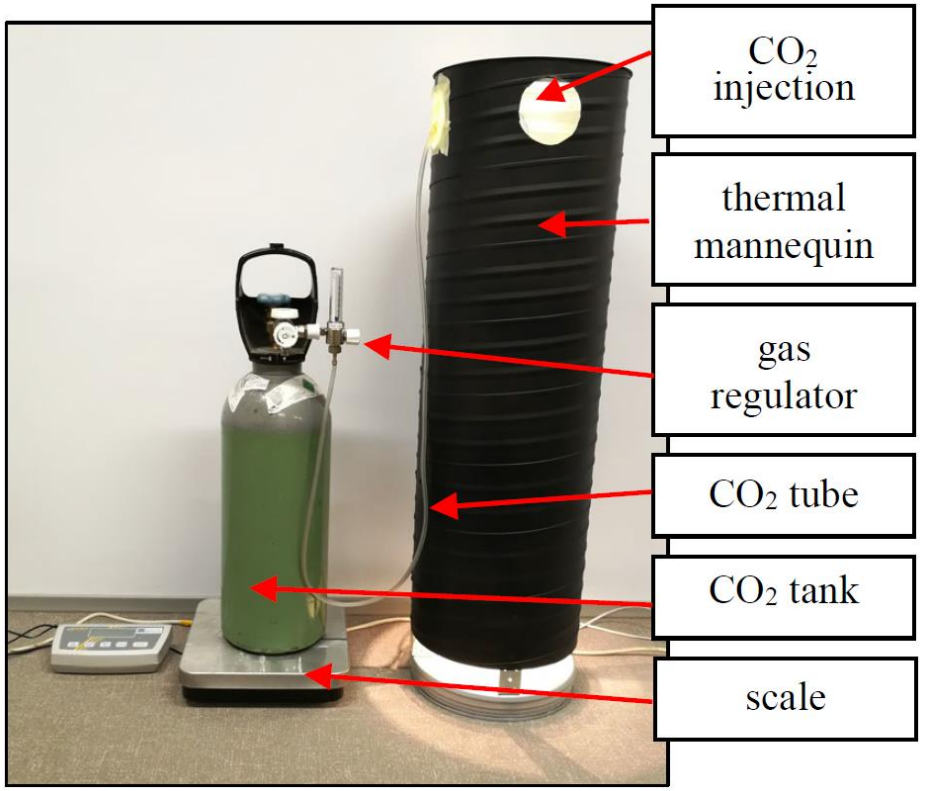
TAL TECH

Comparison of Air Exchange Efficiency and Contaminant Removal Effectiveness as IAQ Indices Novoselac, A; Srebric, J. *ASHRAE, 2003*

ÕHUVAHETUSE EFEKTIIVSUSE HINDAMINE
MÕÕTMISMETOODIKA
KONTSENTRATSIOONI LANGUSE vs KONSTANTSE MANUSTAMISE MEETOD



Märkegaasi CO_2 kontsentratsioonide mõõtmine hingamis-tasandil ja sissepuhke- ning väljatõmbeõhus.

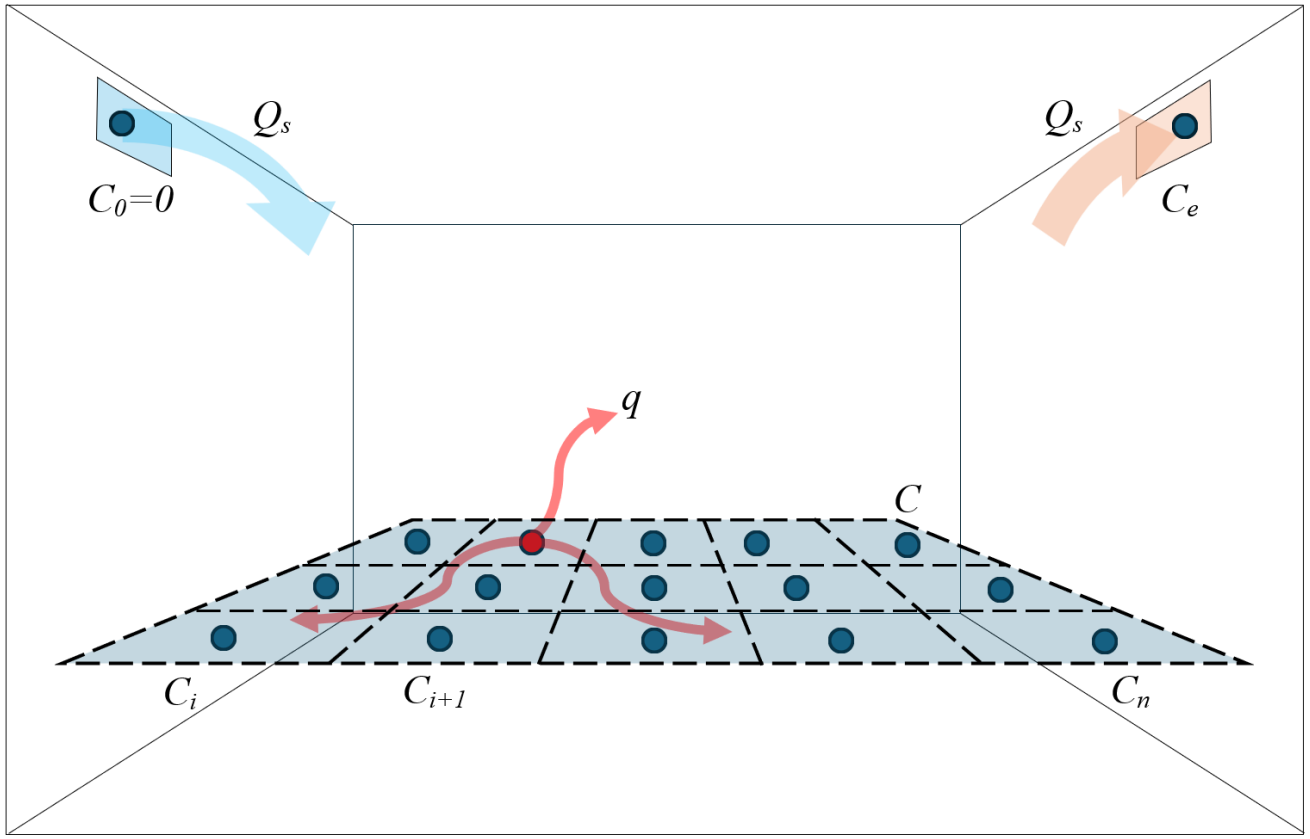


Saasteallikas – Termilise mannekeeniga ühendatud märkegaasi CO_2 balloon.

TAL TECH

Ventilation effectiveness and incomplete mixing in ventilation design for airborne transmission Kiil, M; Mikola, A; Võsa K-V; Simson, R; Kurnitski, J. (submitted)

ÕHUVAHETUSE EFEKTIIVSUSE HINDAMINE
NAKKUSPÕHISE VENTILATSIOONI ARVUTUSMETOODIKA



Kontsentratsioonid ruumis ja väljatõmbeõhus mittetäieliku segunemise korral. Punased nooled näitavad ühte võimalikku saasteallika asukohta, mis võib paikneda mistahes kohas. Seetõttu tuleb mõõtmisi korrata mitmes asukohas.

Lokaalne õhuvahetuse indeks

$$\varepsilon_{P,i} = \frac{C_e - C_o}{C - C_o}$$

C_e – Kontsentratsioon väljatõmbeõhus
C_o – Kontsentratsioon sissepuhkeõhus
C – Kontsentratsioon hingamistasandil

Punktallika saasteainete eemaldamise efektiivsus hingamistasandil

$$\varepsilon_b^j = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{1}{\varepsilon_{P,i}}\right)}{k}}$$

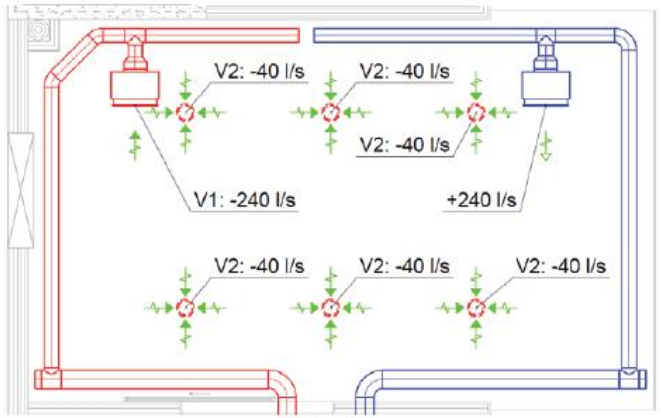
Tegelik õhuvahetuse määr

$$Q_s = \frac{Q}{\varepsilon_b}$$

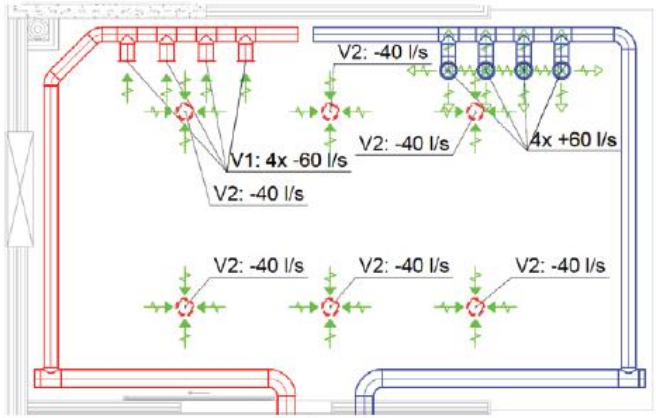
Q – Õhuvahetuse määra sihtväärtus

Ventilation effectiveness and incomplete mixing in air distribution design for airborne transmission Kiil, M; Mikola, A; Võsa K-V; Simson, R; Kurnitski, J. (submitted)

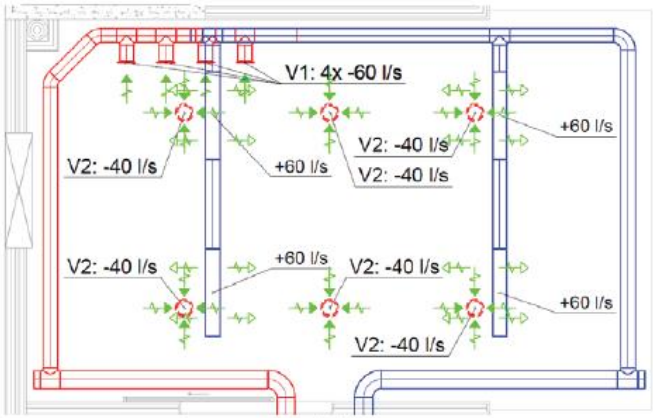
NÄIDE 1
KLASSIRUUMI KATSETAMINE MÄEPEALSE 3 VENTILATISOONILABORIS



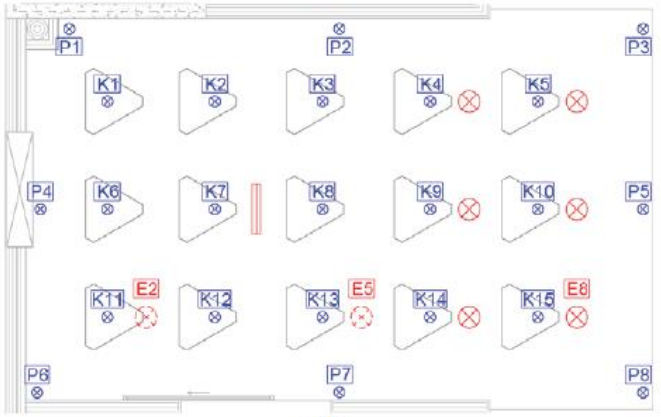
(1)



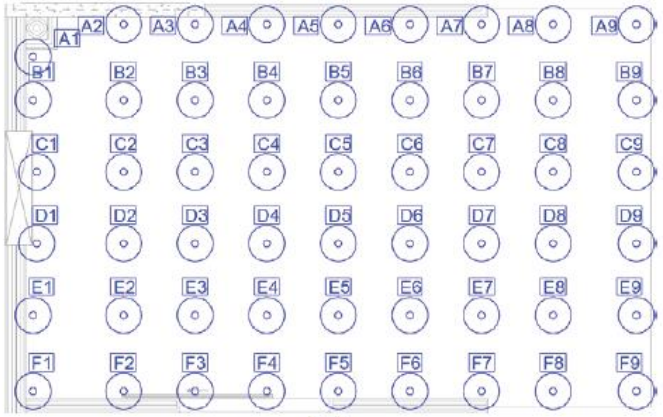
(2)



(3)



(4)



(5)

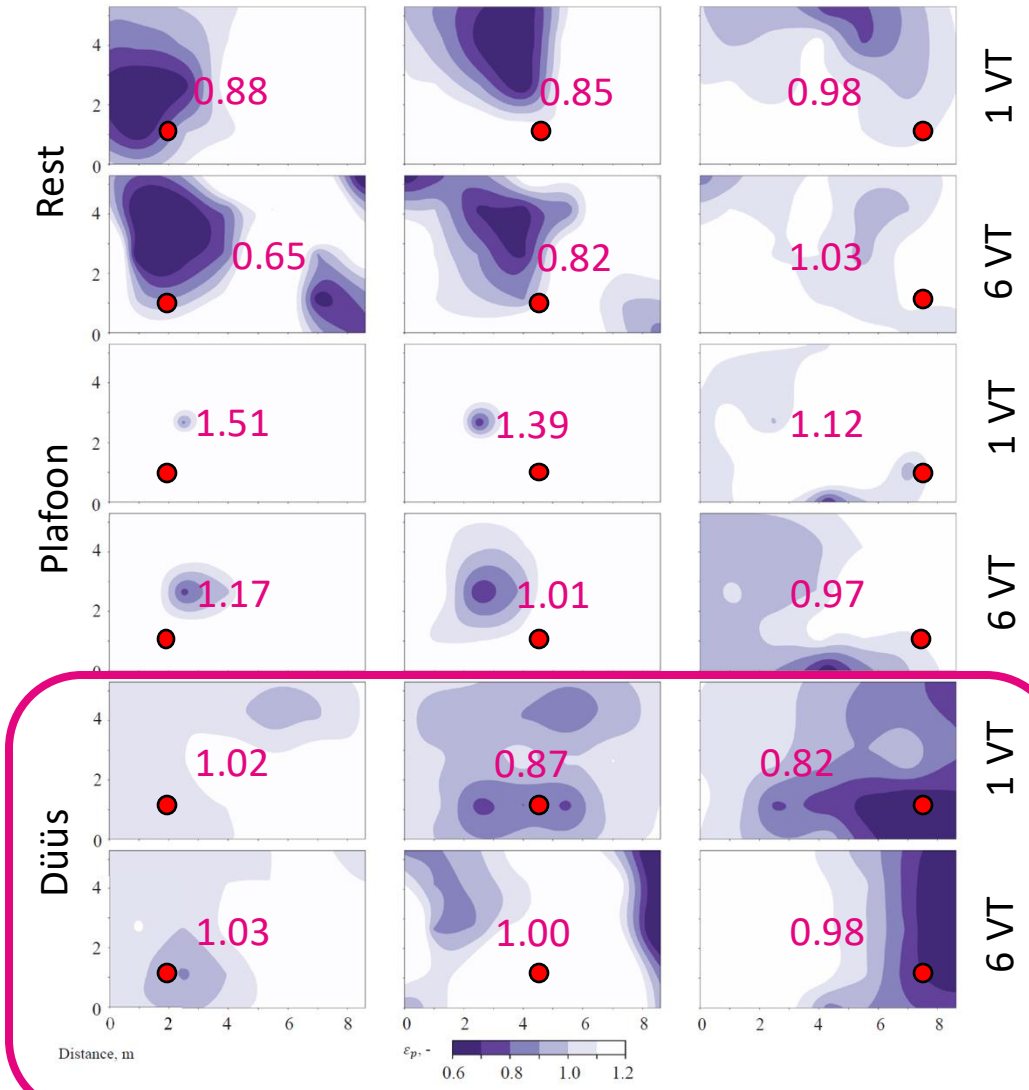
(6)

(1) Restidega lahendus
(2) Taldrikplafoonidega lahendus
(3) Suudmikkanalitega / düüskanalitega lahendus
(4) K – CO_2 logger, E - saasteallikas
(5) Õhu liikumiskiiruste mõõtepunktid
(6) Ventilatisoonilabor

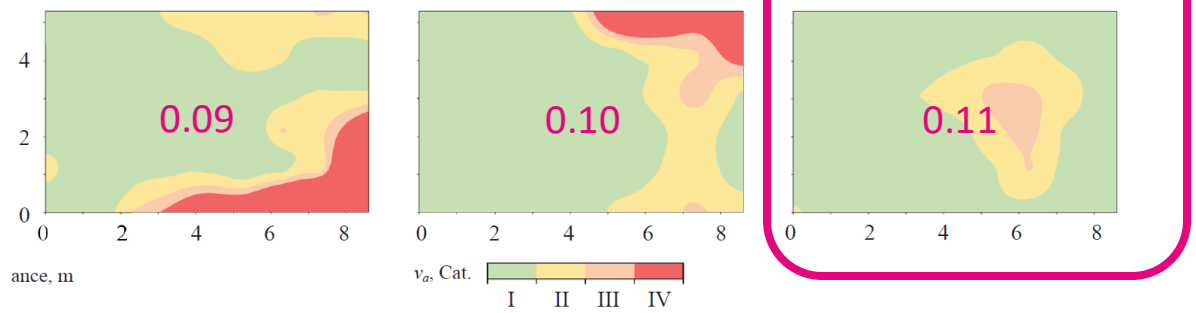
Ventilation effectiveness in classroom infection risk control Kiil, M; Valgma, I; Võsa, K-V; Simson, R; Mikola, A; Tark, T; Kurnitski, J. *IAQVEC Conference 2023*

NÄIDE 1
KLASSIRUUMI KATSETAMINE MÄEPEALSE 3 VENTILATISOONILABORIS

(1) Allika asukoht



(2)



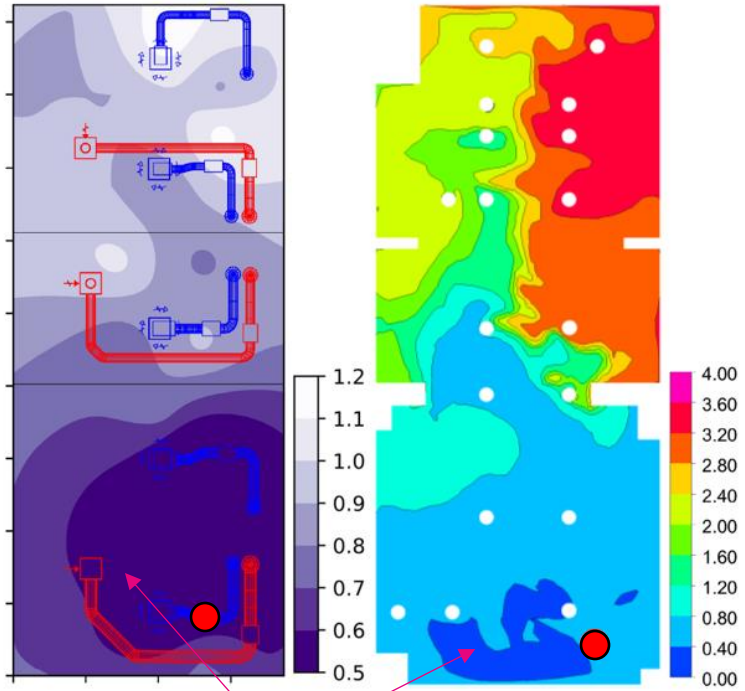
Lokaalsed õhuvahetuse indeksid konstantse manustamise meetodil (1) ja õhu liikumise kiirused (2).

* tulemuste visualiseerimiseks kasutati Pythoni programmeerimiskeeles SciPy ja matplotlib tarkvarateeke.

Ventilation effectiveness in classroom infection risk control Kiil, M; Valgma, I; Võsa, K-V; Simson, R; Mikola, A; Tark, T; Kurnitski, J. *IAQVEC Conference 2023*

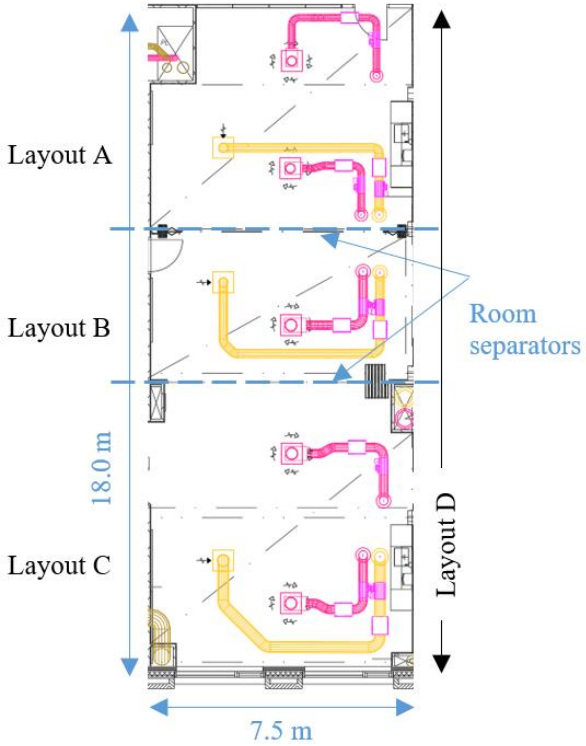
NÄIDE 2
KLASSIRUUMI MÕÕTMISED ÜLDHARIDUSKOOLIS HELSINGIS

(1) 0.72

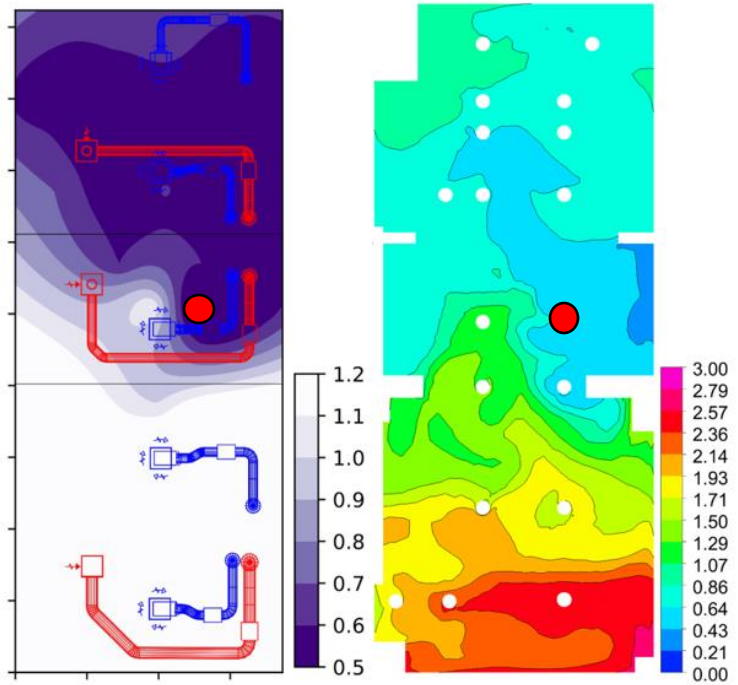


CO_2 kontsentratsioon kõrgem kui väljatõmbes

(2)



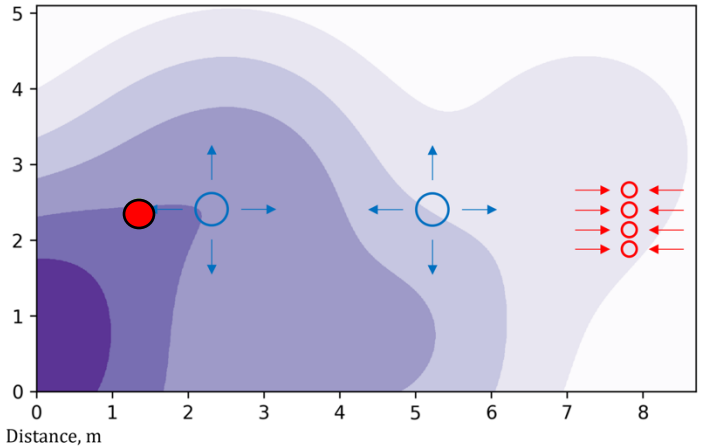
(3) 0.76



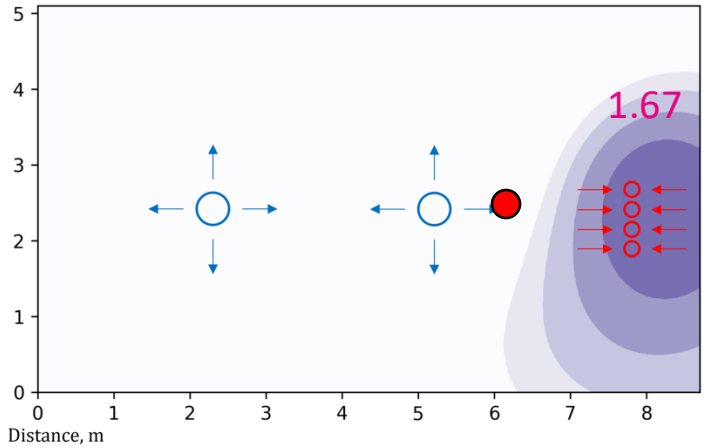
Lokaalsed õhuvahetuse indeksid ja *CFD* simulatisoon ruumi alaosas (1) ja keskosas (3). Klassiruumi skeem ja pilt (2).

Ventilation effectiveness measurements and CFD simulations in classrooms for infection risk control Mikola, A; Kiil, M; Võsa K-V; Ejaz, M F; Kilpeläinen, S; Kosonen, R; Kurnitski, J. *Roomvent Conference 2024*

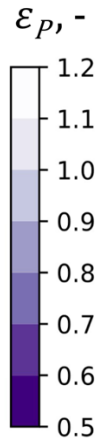
NÄIDE 3
KLASSIRUUMI MÕÕTMISED ÜLDHARIDUSKOOLIS HELSINGIS



Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis vasakul.



Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis paremal.

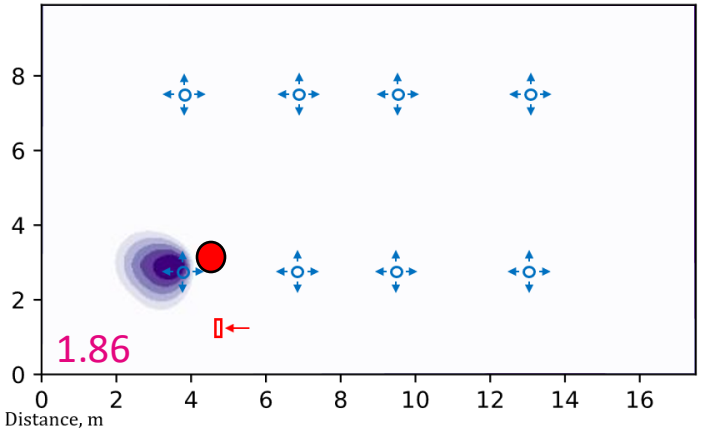


Klassiruumi pilt.

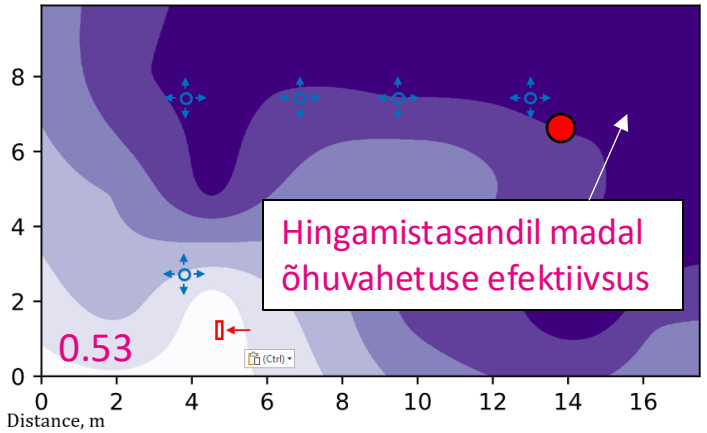
TAL TECH

Ventilation effectiveness and incomplete mixing in air distribution design for airborne transmission Kiil, M; Mikola, A; Võsa K-V; Simson, R; Kurnitski, J. (submitted)

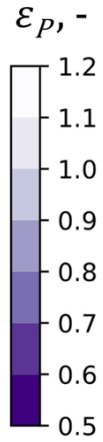
NÄIDE 4 JA 5
JÕUSAALI MÕÕTMISED AVALIKES HOONETES HELSINGIS



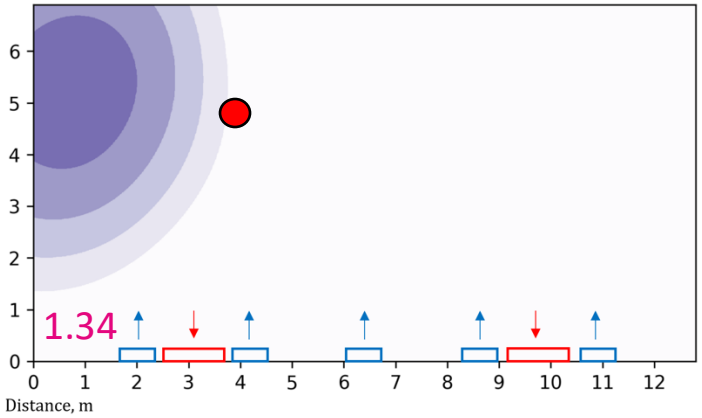
Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis vasakul.



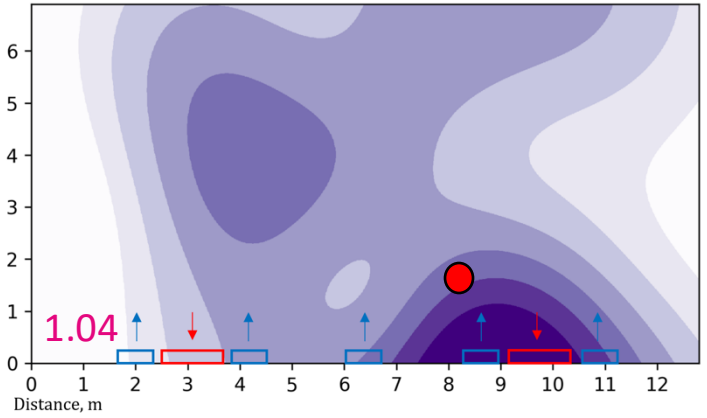
Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis paremal.



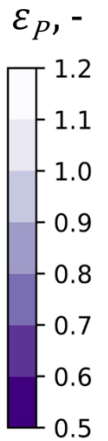
Jõusaali pilt.

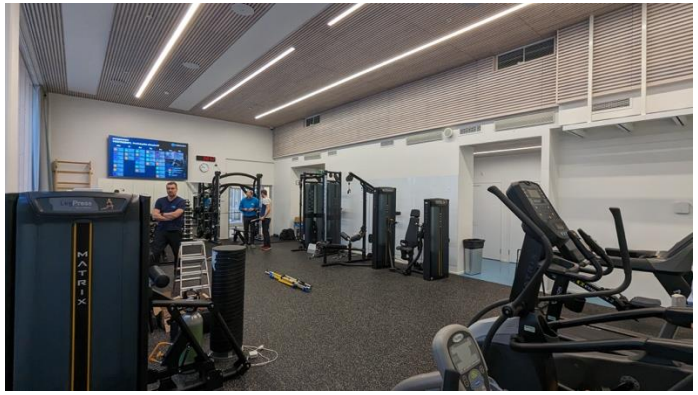


Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis vasakul.



Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis paremal.

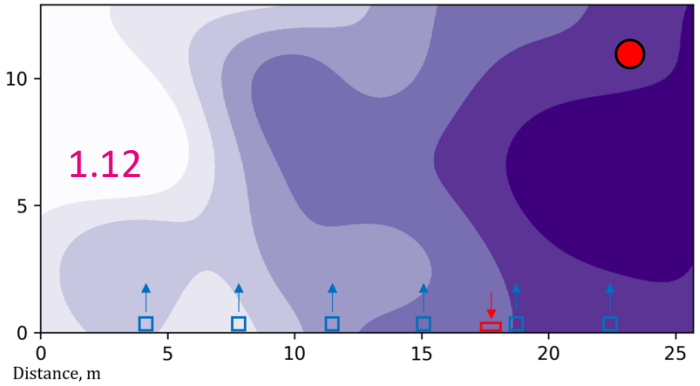




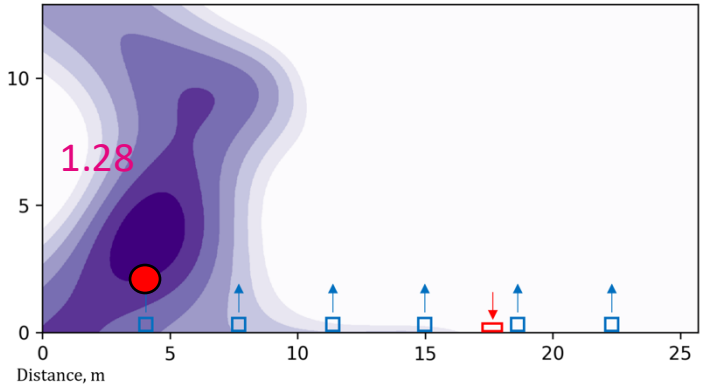
Jõusaali pilt.

Ventilation effectiveness and incomplete mixing in air distribution design for airborne transmission Kiil, M; Mikola, A; Võsa K-V; Simson, R; Kurnitski, J. (submitted)

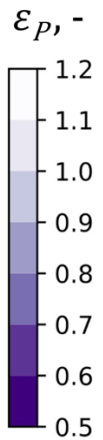
NÄIDE 5 JA 6
VÕIMLA MÕÕTMISED ÜLDHARIDUSKOOLIS HELSINGIS



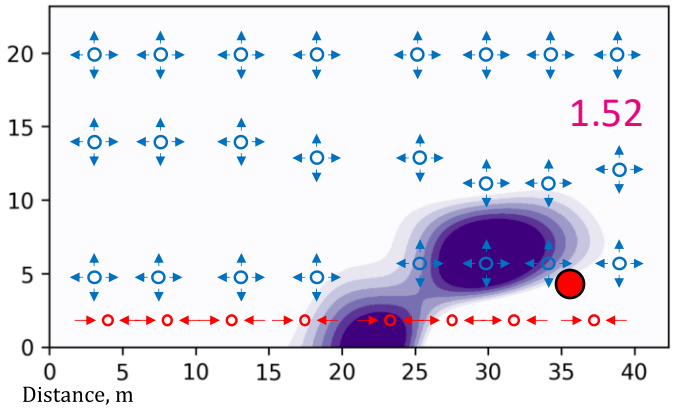
Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis vasakul.



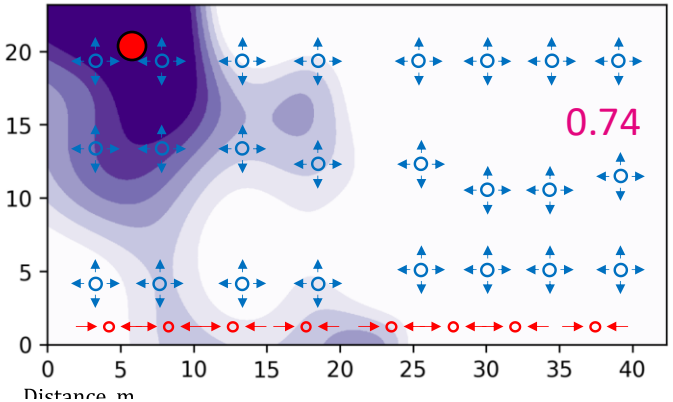
Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis paremal.



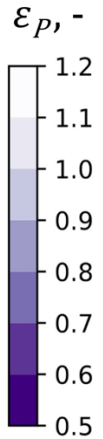
Võimla pilt.



Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis vasakul.



Lokaalsed õhuvahetuse indeksid, allikas ruumis paremal.

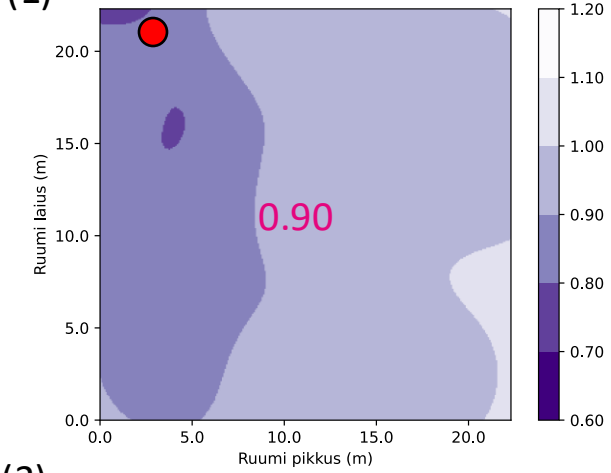


Võimla pilt.

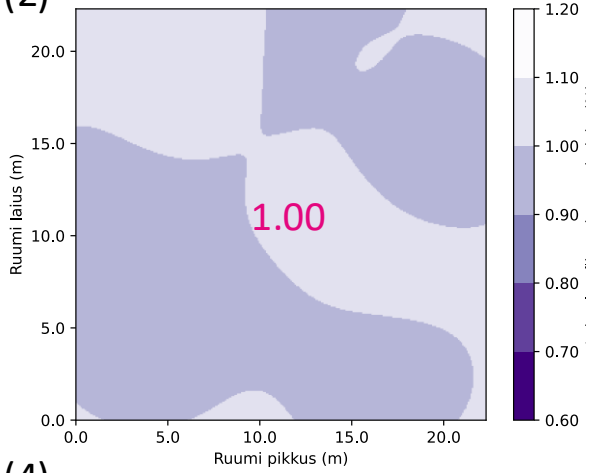
Ventilation effectiveness and incomplete mixing in air distribution design for airborne transmission Kiil, M; Mikola, A; Võsa K-V; Simson, R; Kurnitski, J. (submitted)

NÄIDE 7
KÕRGE LAEGA JUHTIMISKESKUSE MÕÕTMISED TALLINNAS

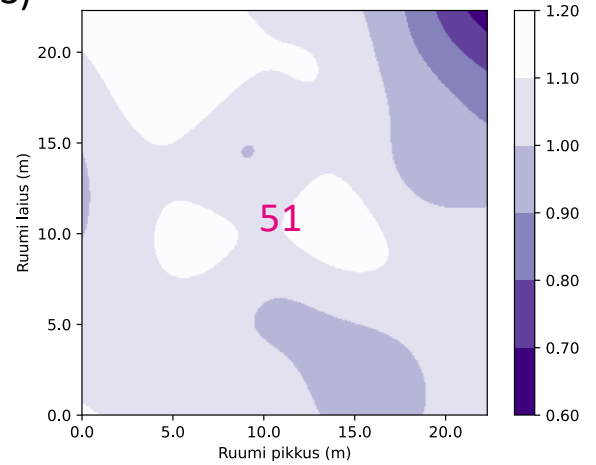
(1)



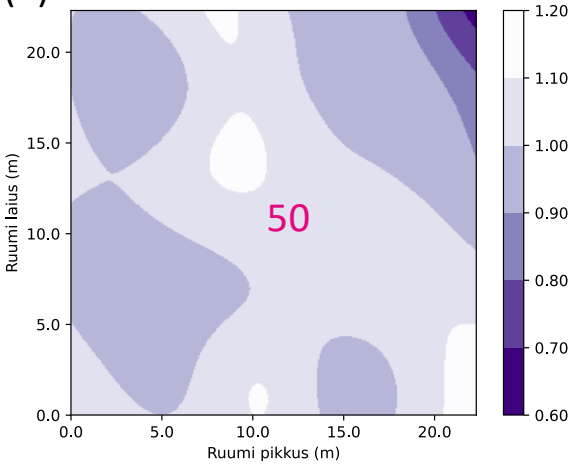
(2)



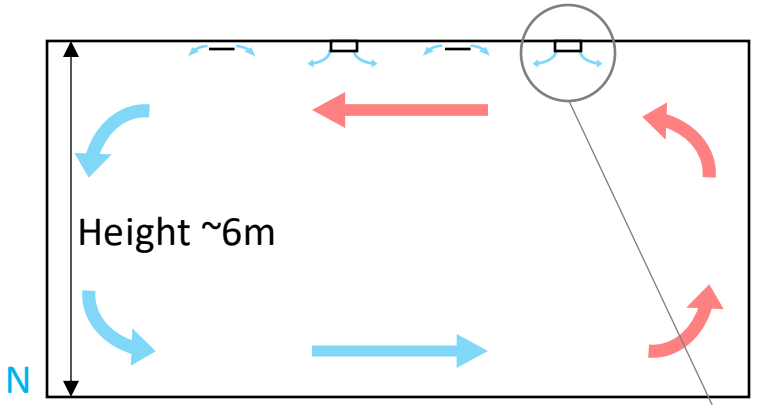
(3)



(4)

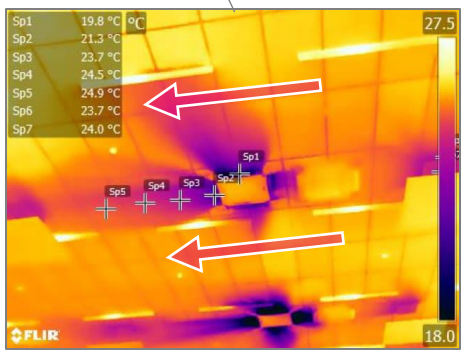


(5)



Jahtunud õhk langeb alla ja liigub tagasi lõunafassaadi suunas

(6)



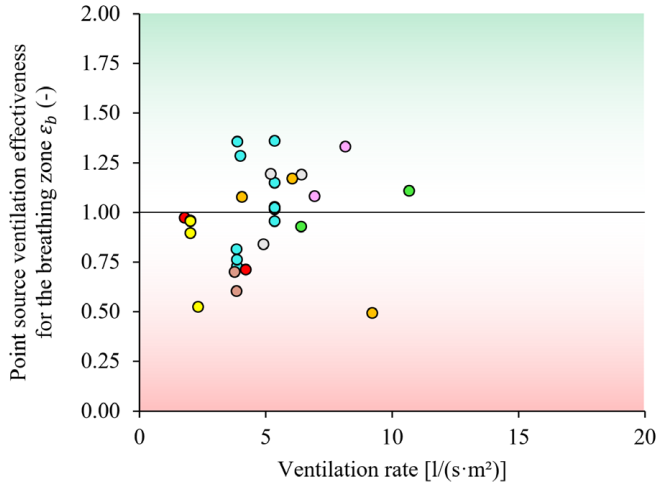
Soe õhk liigub põhjafassaadi suunas ja seguneb ventilator-konvektorite ning sissepuhke jahutatud õhuga

Lokaalsed õhuvahetuse indeksid konstantse manustamise meetodil (1) (2), kontsentratsiooni languse meetodil (3) (4) ja õhu liikumine ruumis (5). Termopilt õhujugadest lae all ventilaatorkonvektorite lähedal (6).

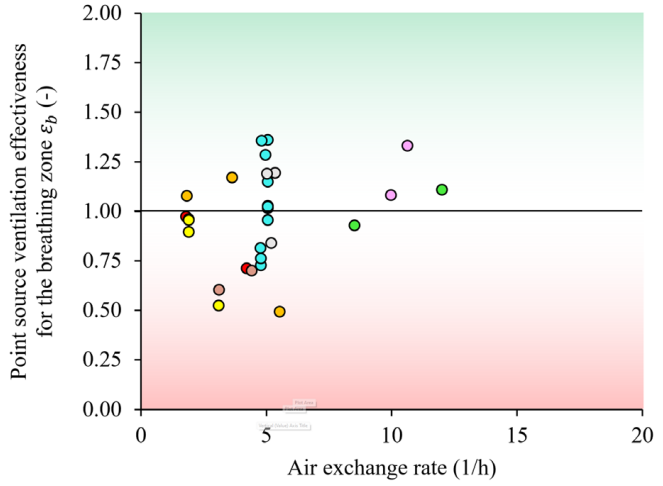
Mõõtmiste raport. Mikola, A; Kiil, M;; Võsa, K-V; Kurnitski, J. nZEB uurimisrühm

SÕLTUVUS ÕHUVAHETUSE MÄÄRAST JA VÄLJATÕMBEELEMENTIDEST

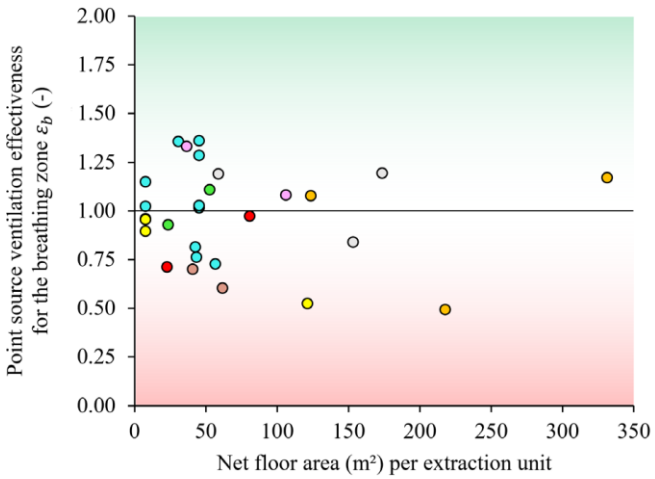
(1)



(2)

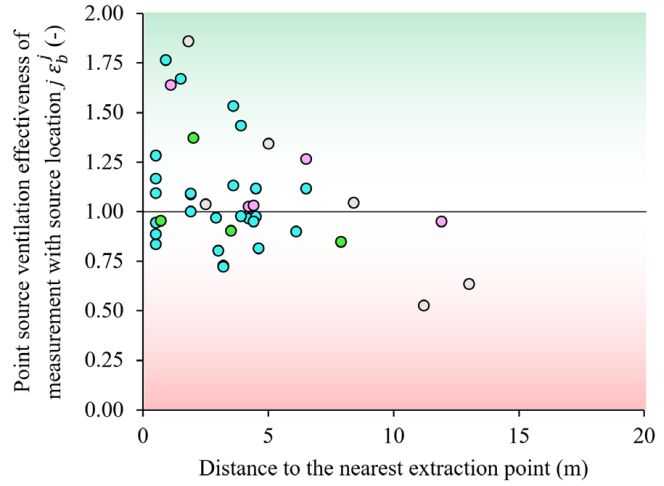


(3)

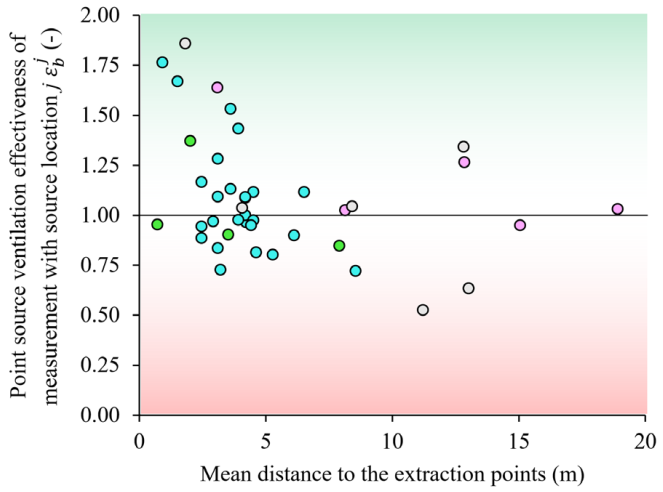


Classroom · Dressing room · Fitness · Gym · Bar · Restaurant · Meeting room · Open office

(4)



(5)



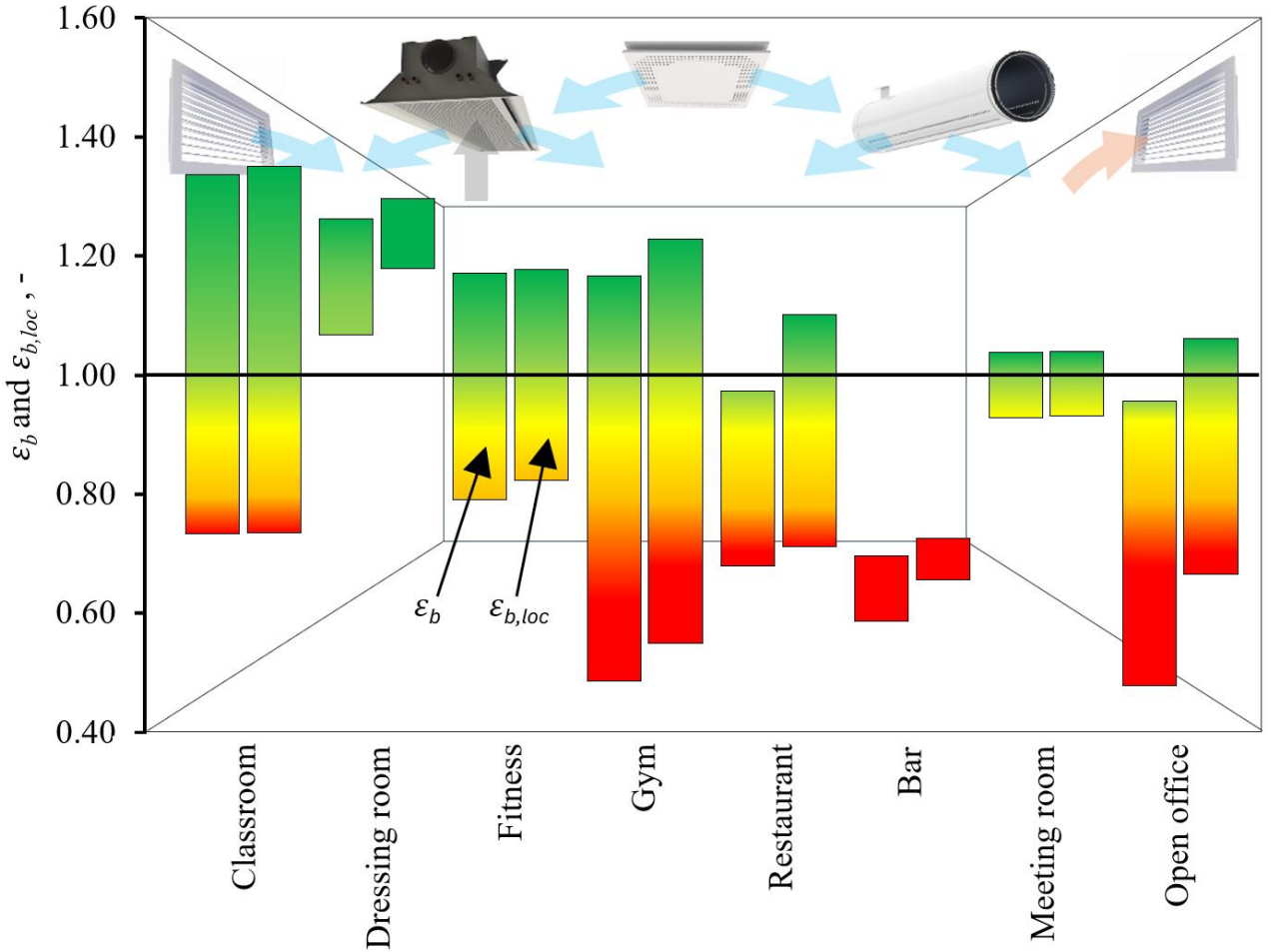
Classroom · Dressing room · Fitness · Meeting room

Punktallika ventilatsiooni efektiivsus sõltuvalt:

(1) õhuvahetusest
(2) õhuvahetuse kordarvust
(3) ruumi netopindalast
(4) lähima väljatõmbe elemendi kaugusest
(5) keskmisest väljatõmbe elemendi kaugusest

Point source Ventilation Effectiveness of mixing ventilation solutions used in non-residential Settings Kiil, M; Mikola, A; Võsa K-V; Simson, R; Kurnitski, J. *Indoor Air Conference 2024*

TULEMUSED
VENTILATSIOONI EFEKTIIVSUSE MÕÕTMISED MITTEELUHOONETES



Ventilatsiooni efektiivsuse mõõtmistulemused keskmiste (vasak) ja lokaalsete (parem) kontsentratsioonide alusel.

Ventilation effectiveness and incomplete mixing in air distribution design for airborne transmission Kiil, M; Mikola, A; Võsa K-V; Simson, R; Kurnitski, J. (submitted)

KOKKUVÕTE

- Paljud mõõdetud ruumid ei vastanud täieliku segunemise eeldusele ($\varepsilon_b \neq 1$).
- Kõrgemad õhuvahetuse määrad ega ka suurem väljatõmbe elementide arv ei pruugi tagada paremat ventilatsiooni efektiivsust.
- Ventilatsioonisüsteem peab toimima aastaringselt, ventilatsiooni efektiivsus ei saa sõltuda aastaajast.
- Ventilatsiooni efektiivsust ei saa tõsta muude parameetrite, nt tõmbuse, müra või energiaefektiivsuse arvelt.
- Kõrgeid, suurema netopindalaga või osaliselt avatud ruume on keerulisem mõõta kui ka kavandada.
- Vajaliku õhuvahetuse nakkuspõhise ventilatsiooni jaoks saab arvutada läbi nakatumisriski (R_0=1).
- **Õhuvahetuse efektiivsuse parandamise eesmärk on:**
  - **tagada õhuvahetuse efektiivsus ε_b > 1.**
  - **vähendada (mitte eemaldada) nakatumisriski siseruumides.**

TAL TECH

TÄNAN KUULAMAST!

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL