

Eri ilmanjakotapojen toimivuus luokkahuoneessa



Risto Kosonen & Panu Mustakallio
Halton Technology Center, Oy Halton Group Ltd

Ilmanjakotutkimus:

Lähtökohdat

Tutkimusmenetelmä

Tulokset

Sisäilman merkitys koulutyöhön

- Suomen 6 000 koulurakennuksessa työskentelee 750 000 oppilasta ja 100 000 aikuista.
- Koulurakennuksen kunto ja ilmanvaihdon toimivuus voivat parhaimmillaan tukea opetustoimintaa luoden viihtyisän ja turvallisen työympäristön
- Sisäilmaongelmat vievät merkittävästi resursseja opetustoiminnasta muuhun toimintaan
- Epämääräinen sisäilmaongelma voi hallitsemattomana aiheuttaa koko lukuvuoden pahasti sekoittavan häiriön
- Sisäilmaongelmien ehkäiseminen ennakolta niin, että rakennuksen kunto ja ilmanvaihdon toimivuus varmennetaan ja tarvittaessa korjataan välittömästi, on paras tapa välttää vaikeuksia.

Meillä kaikilla on oikeus terveelliseen sisäilmaan

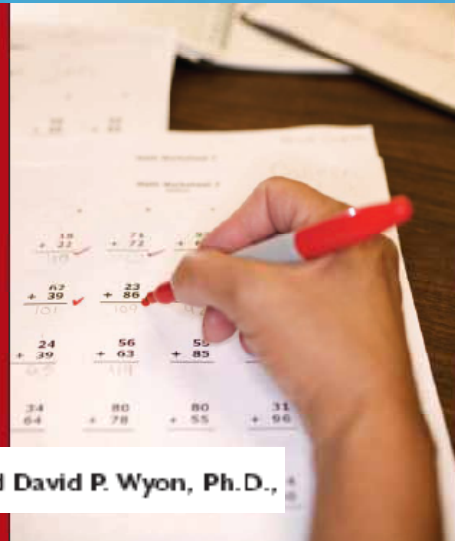
“Sisäilman laadulla on merkittävä vaikutus väestön terveyteen ja hyvinvointiin. Altistuminen sisäilman mahdollisille epäpuhtauksille heikentää terveyttä ja voi aiheuttaa esimerkiksi hengityselinten sairauksia, allergioita ja hengitystiehyeen ärsytystä”.



Maailman terveysjärjestö WHO:n raportti: Oikeus terveelliseen sisäilmaan
Bilthoven, Hollanti, toukokuu 2000

Sisäympäristöllä on merkitystä oppimistuloksiin

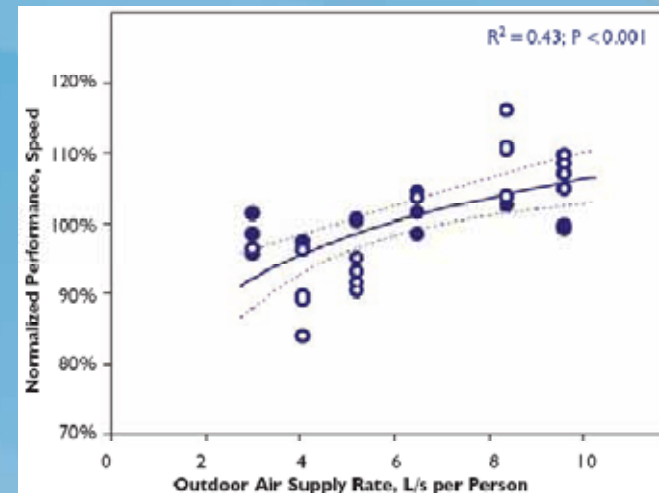
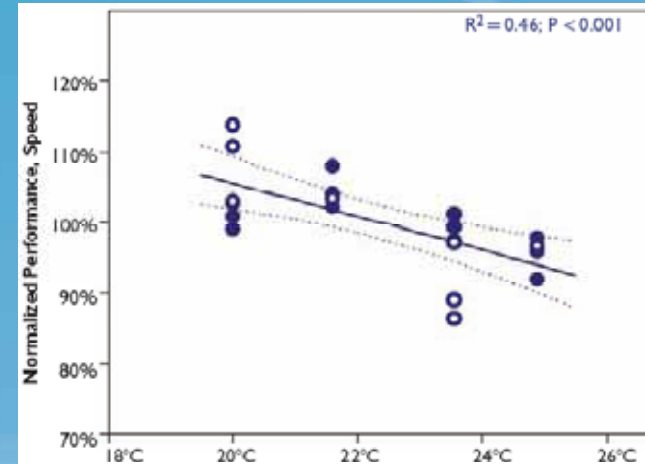
'...air quality and temperatures in classrooms are important factors in the learning process and improving them should be given as much priority as improving teaching materials and methods.'



By Pawel Wargocki, Ph.D.; and David P. Wyon, Ph.D.,

Research Report on

Effects of HVAC On Student Performance



Ilmanjaon suunnittelun lähtökohtia

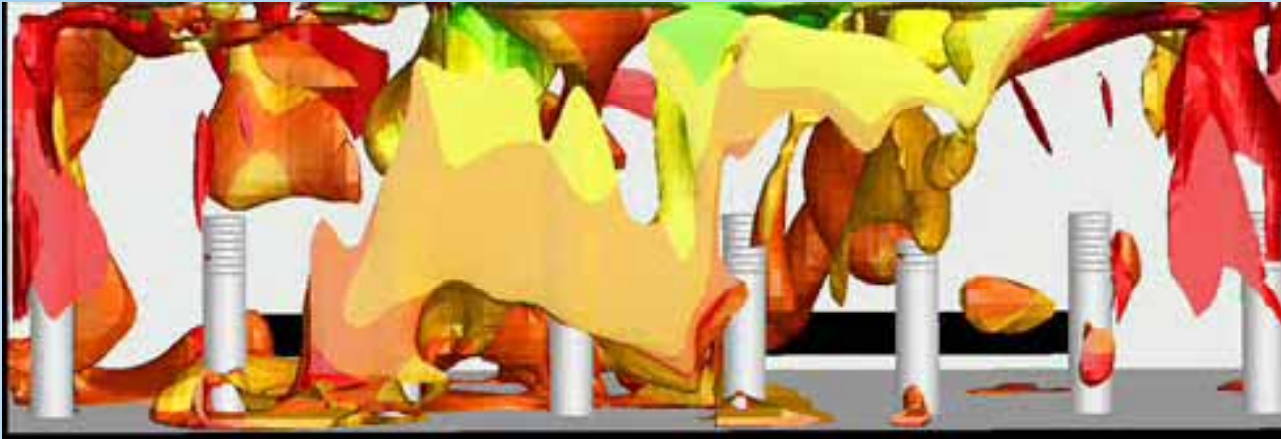
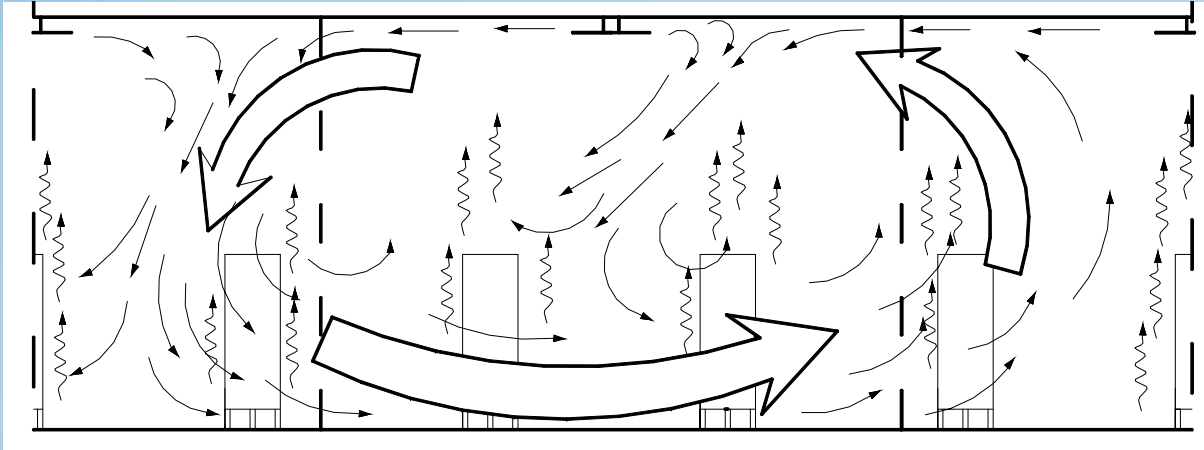
- Ihminen tarvitsee puhdasta ilmaa 12 m^3 päivässä.
 - tuloilmavirta 6 l/s per hlö
- Luokissa suhteellisen suuret ilmavirrat
 - oppilastiheys $1,8\text{-}2,4 \text{ m}^2/\text{oppilas}$
- Muuttuvat kuormitustilanteet
 - talvi- ja kesätilanne
 - täysi ja osakuormitettu luokkahuone



Liian usein ilmanjako ei toimi



Lämpökuormilla on merkittävä vaikutus ilmanjaon toimintaan



Ilmanjakotutkimus:

Lähtökohdat

Tutkimusmenetelmä

Tulokset

Tehdyt mallikokeet

Lämpökuormat ja huonetilan lämpötase tehdyissä mallikokeissa.

Puolikkaan luokkamodulin lämpökuormat ja häviöt	Kesä täysi kuorma	Kesä osakuorma	Talvi osakuorma
Huoneilman lämpötila	26 °C	24 °C	21 °C
Henkilöiden lukumäärä (henkilökuorma 58 W/hlö)	15 (870 W)	7 (406 W)	7 (406 W)
Valaistuskuorma 15 W/m ²	360 W	360 W	360 W
Ikkunan lämpökuorma tai lämpöhäviö (ikkunan pintalämpötila)	197 W (30 °C)	296 W (30 °C)	-448 W (11 °C)
Radiaattorin lämpöteho	0 W	0 W	250 W
Lämpökuormat yhteensä	1427 W	1062 W	1016 W
Tuloilmavirta 90 l/s (tuloilman lämpötila)	-972 W (17 °C)	-756 W (17 °C)	-324 W (18 °C)
Lämpöhäviöt rakenteiden läpi	-455 W	-306 W	-244 W
Lämpöhäviöt yhteensä	-1427 W	-1062W	-1016 W

Ilmanjakotutkimus:

Lähtökohdat

Tutkimusmenetelmä

Tulokset

Ilmanjaon visualisointi savulla



a) Käytäväpuhallus kesä

b) Syrjäytys kesä

c) Kattohajoittaja kesä

d) Reikäputkihajoittaja kesä

a) Käytäväpuhallus talvi

b) Syrjäytys talvi

c) Kattohajoittaja talvi

d) Reikäputkihajoittaja talvi

Ilman nopeus käytäväpuhalluksella

		Kesä, täysi kuorma					Kesä, puolikas kuorma					Talvi, puolikas kuorma							
1.8 m			0,18		0,12			0,10		0,12			0,09		0,17				
		0,15	0,14	0,09	0,13	0,25		0,11	0,11	0,11	0,09	0,23		0,07	0,08	0,09	0,06	0,25	
			0,11		0,08				0,09		0,08				0,10		0,05		
		0,13	0,14	0,09	0,11	0,09	0,32		0,09		0,07				0,12		0,07		
			0,09		0,07				0,09		0,07				0,12		0,07		
1.3 m			0,16		0,11			0,12		0,10				0,10		0,14			
		0,14	0,13	0,13	0,07	0,20		0,09	0,07	0,10	0,06	0,19		0,05	0,07	0,05	0,05	0,22	
			0,10		0,08				0,08		0,08				0,14		0,06		
		0,10	0,11	0,06	0,13	0,14	0,27		0,10	0,08	0,08	0,11	0,14	0,30		0,08	0,08	0,27	
			0,06		0,11				0,11		0,08				0,14		0,08		
0.9 m			0,16		0,19			0,17		0,15				0,09		0,15			
		0,14	0,13	0,14	0,11	0,20		0,09	0,08	0,11	0,08	0,17		0,06	0,08	0,09	0,10	0,17	
			0,15		0,13				0,11		0,14				0,18		0,12		
		0,09	0,10	0,07	0,14	0,15	0,26		0,09	0,07	0,08	0,10	0,14	0,29		0,11	0,14	0,12	0,24
			0,10		0,19				0,13		0,13				0,16		0,10		
0.5 m								0,19		0,17				0,19	0,10	0,16	0,10	0,12	
								0,09	0,09	0,15	0,16	0,17		0,11	0,10	0,19	0,15	0,13	
									0,15		0,20			0,21		0,17			
								0,08	0,06	0,13	0,14	0,18	0,26		0,14	0,15	0,17	0,21	
									0,18		0,20				0,15		0,16		
0.1 m			0,15		0,20			0,22		0,18				0,24		0,25			
		0,14	0,18	0,16	0,20	0,18		0,08	0,17	0,24	0,29	0,19		0,12	0,17	0,21	0,28	0,12	
			0,23		0,22				0,22		0,29			0,25		0,33	0,17		
		0,11	0,11	0,13	0,21	0,22	0,22		0,09	0,10	0,21	0,20	0,33	0,17		0,21	0,26	0,23	
			0,19		0,25						0,28		0,37			0,11	0,26		
0.1 m		0,18	0,17	0,21	0,24	0,26		0,16	0,21	0,28	0,29	0,13		0,08	0,20	0,20	0,26	0,21	
									0,21	0,28	0,29						0,26		
									0,24		0,26						0,25		

Värikoodit: 0,15-0,20 m/s 0,21 - 0,25 m/s 0,3 - m/s

Ilman nopeus syrjäytyksellä

		Kesä, täysi kuorma					Kesä, puolikas kuorma					Talvi, puolikas kuorma				
1.8 m			0,03	0,03				0,03	0,03				0,03	0,03		
		0,03	0,03	0,03	0,03	0,04		0,03	0,03	0,03	0,04		0,03	0,03	0,03	0,03
		0,03	0,03	0,03	0,03	0,04		0,03	0,03	0,03	0,04		0,03	0,03	0,03	0,08
		0,03	0,03	0,03	0,03	0,04		0,03	0,03	0,03	0,03		0,03	0,04	0,03	0,04
		0,03	0,03	0,03	0,03	0,04		0,03	0,03	0,03	0,03		0,03	0,04	0,03	0,04
1.3 m			0,02	0,02				0,02	0,02				0,02	0,02		
		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		0,02	0,02	0,02	0,02		0,02	0,02	0,02	0,02
		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		0,02	0,02	0,02	0,02		0,02	0,02	0,02	0,02
		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		0,02	0,02	0,02	0,02		0,02	0,02	0,02	0,02
		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		0,02	0,02	0,02	0,20		0,02	0,02	0,02	0,10
0.9 m			0,03	0,03				0,03	0,03				0,03	0,03		
		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03		0,03	0,03	0,03	0,03		0,03	0,03	0,03	0,03
		0,03	0,03	0,02	0,03	0,03		0,03	0,02	0,03	0,03		0,03	0,02	0,03	0,07
		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03		0,03	0,03	0,02	0,03		0,03	0,03	0,03	0,10
		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03		0,03	0,03	0,02	0,03		0,03	0,03	0,03	0,10
0.5 m			0,03	0,04				0,04	0,03				0,03	0,04		
		0,04	0,06	0,04	0,05	0,06		0,04	0,03	0,04	0,05		0,03	0,04	0,01	0,07
		0,04	0,06	0,06	0,07	0,06		0,04	0,04	0,04	0,05		0,04	0,04	0,04	0,08
		0,05	0,06	0,06	0,07	0,06		0,04	0,04	0,03	0,05		0,04	0,04	0,04	0,08
		0,06	0,07	0,06	0,07	0,06		0,04	0,04	0,03	0,07		0,04	0,04	0,04	0,09
0.1 m			0,15	0,10				0,11	0,18				0,07	0,12		
		0,17	0,08	0,12	0,16	0,20		0,17	0,08	0,07	0,16		0,10	0,07	0,10	0,21
		0,08	0,08	0,09	0,14	0,14		0,06	0,13		0,15		0,07	0,10	0,12	0,15
		0,16	0,18	0,08	0,09	0,14		0,08	0,10	0,16	0,15		0,08	0,11	0,12	0,15
		0,10	0,07	0,09	0,08	0,09		0,08	0,08	0,11	0,08		0,08	0,08	0,06	0,07
	0,11	0,07	0,09	0,08	0,09		0,08	0,05	0,08	0,10		0,08	0,08	0,06	0,07	
	0,06	0,06	0,09				0,06	0,09				0,06	0,06			

Värikoodit: 0,15-0,20 m/s

0,21 - 0,25 m/s

0,3 - m/s

Ilman nopeus kattohajoittajalla

		Kesä, täysi kuorma					Kesä, puolikas kuorma					Talvi, puolikas kuorma							
1.8 m			0,11	0,09				0,12	0,09				0,08	0,10					
		0,10	0,11	0,10	0,11	0,11		0,08	0,09	0,06	0,13	0,09		0,07	0,06	0,05	0,06	0,08	
			0,10		0,09			0,09		0,07				0,10		0,06			
		0,15	0,13	0,13	0,09	0,08	0,11	0,17	0,08	0,10	0,08	0,09	0,10	0,08	0,09	0,08	0,09	0,11	0,14
			0,12		0,08			0,10		0,09				0,12		0,07			
1.3 m		0,10	0,11	0,08	0,08	0,10		0,12	0,09	0,08	0,07	0,07		0,09	0,10	0,07	0,06	0,06	
			0,10		0,07			0,08		0,05			0,08		0,07				
		0,08	0,08	0,07	0,07	0,09		0,11	0,09	0,04	0,10	0,07		0,06	0,05	0,09	0,05	0,05	
		0,07	0,09	0,07	0,07	0,10	0,12	0,10	0,09	0,08	0,06	0,08	0,07	0,08	0,06	0,09	0,09	0,10	
			0,11		0,05			0,06		0,07			0,13		0,07				
0.9 m		0,07	0,07	0,07	0,07	0,08		0,09	0,06	0,04	0,06	0,07		0,07	0,10	0,08	0,05	0,06	
			0,07		0,06			0,06		0,05			0,07	0,07	0,06				
		0,10	0,08	0,08	0,09	0,10		0,12	0,07				0,05	0,10					
		0,14	0,13	0,12	0,09	0,10	0,14	0,09	0,08	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,11	0,08	0,08	
			0,11		0,08			0,09		0,06			0,12		0,06				
0.5 m		0,10	0,08	0,10	0,09	0,09		0,08	0,08	0,06	0,09	0,08		0,06	0,08	0,09	0,07	0,08	
			0,08		0,08			0,08		0,09			0,08		0,06				
		0,10	0,09					0,12	0,07				0,04	0,11					
		0,12	0,13	0,11	0,10	0,11	0,11	0,13	0,08	0,10	0,09	0,07	0,05	0,09	0,11	0,10			
		0,13	0,15	0,15	0,13	0,11	0,09	0,14	0,09	0,12	0,09	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	0,11	0,07	0,09
0.1 m			0,15	0,15	0,10			0,11	0,10	0,09	0,09		0,12	0,05	0,05	0,07	0,07		
			0,15		0,10			0,14		0,07			0,08		0,11	0,10			
		0,11	0,11	0,13	0,12	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,07	0,08	0,07	0,11	0,07	0,09		
			0,11		0,11			0,12		0,10			0,12	0,07	0,09	0,08	0,10		
		0,10	0,08					0,12	0,09				0,04	0,11					
0.1 m		0,15	0,17	0,15	0,12	0,09		0,16	0,14	0,14	0,11	0,11		0,07	0,12	0,21	0,19	0,14	
			0,23		0,12			0,19		0,07			0,11		0,17				
		0,11	0,18	0,18	0,18	0,11	0,13	0,12	0,15	0,14	0,14	0,09	0,08	0,09	0,11	0,08	0,09	0,11	0,17
			0,20		0,15			0,11		0,13			0,09		0,10				
		0,14	0,11	0,16	0,11	0,08		0,15	0,12	0,16	0,11	0,09	0,08	0,11	0,11	0,17	0,09		
		0,11		0,17			0,16		0,13			0,09		0,11					

Värikoodit: 0,15-0,20 m/s

0,21 - 0,25 m/s

0,3 - m/s

Ilman nopeus reikäputkihajoittajalla

Kesä, täysi kuorma

1.8 m	0,11	0,08	IKKUNA
	0,10	0,05	
	0,05	0,10	
	0,12	0,09	
	0,09	0,07	
1.3 m	0,09	0,07	IKKUNA
	0,06	0,08	
	0,12	0,10	
	0,11	0,07	
	0,05	0,08	
0.9 m	0,12	0,07	IKKUNA
	0,10	0,09	
	0,13	0,11	
	0,13	0,10	
	0,06	0,09	
0.5 m	0,16	0,09	IKKUNA
	0,14	0,12	
	0,13	0,15	
	0,17	0,16	
	0,06	0,14	
0.1 m	0,30	0,13	IKKUNA
	0,30	0,31	
	0,20	0,15	
	0,25	0,16	
	0,27	0,17	

Kesä, puolikas kuorma

1.8 m	0,11	0,07	IKKUNA
	0,09	0,06	
	0,10	0,09	
	0,10	0,07	
	0,09	0,08	
1.3 m	0,07	0,06	IKKUNA
	0,08	0,05	
	0,08	0,09	
	0,12	0,12	
	0,07	0,07	
0.9 m	0,07	0,06	IKKUNA
	0,06	0,08	
	0,13	0,11	
	0,11	0,13	
	0,06	0,10	
0.5 m	0,08	0,06	IKKUNA
	0,08	0,09	
	0,10	0,11	
	0,14	0,14	
	0,09	0,11	
0.1 m	0,23	0,12	IKKUNA
	0,19	0,21	
	0,16	0,20	
	0,10	0,11	
	0,14	0,11	

Talvi, puolikas kuorma

1.8 m	0,10	0,05	IKKUNA
	0,07	0,08	
	0,06	0,08	
	0,06	0,09	
	0,05	0,09	
1.3 m	0,10	0,04	IKKUNA
	0,05	0,08	
	0,03	0,06	
	0,06	0,07	
	0,05	0,07	
0.9 m	0,08	0,04	IKKUNA
	0,05	0,08	
	0,04	0,07	
	0,07	0,06	
	0,06	0,07	
0.5 m	0,07	0,05	IKKUNA
	0,06	0,07	
	0,07	0,07	
	0,08	0,08	
	0,06	0,10	
0.1 m	0,17	0,09	IKKUNA
	0,15	0,18	
	0,13	0,10	
	0,07	0,11	
	0,12	0,09	

Värikoodit:

0,15-0,20 m/s

0,21 - 0,25 m/s

0,3 - m/s

Yhteenveto

- Käytäväseinäpuhalluksella on haasteellista saada pienen nopeudet oleskeluvyöhykkeelle.
- Reikäputkipuhalluksesta tulee epästabiili kuormitusten kasvaessa
- Syrjäytys tunteeton kuormitusten muutoksille: tuloilmalaitteen sijoituksella hallitaan lähialue vetoriski
- Kattohajoittaja saadaan hyvät olosuhteet eri kuormitustilanteissa

