



## Renovering af skoleventilation - indeklima og energiforbrug

Toftum, Jørn; Wargocki, Pawel

*Published in:*  
H V A C Magasinet

*Publication date:*  
2017

*Document Version*  
Peer reviewed version

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Toftum, J., & Wargocki, P. (2017). Renovering af skoleventilation - indeklima og energiforbrug. *H V A C Magasinet*, 53(7), 24-28. <http://ipaper.ipapercms.dk/TechMedia/HVACMagasinet/>

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## Renovering af skoleventilation - Indeklima og energiforbrug

Jørn Toftum og Pawel Wargocki

Center for Indeklima og Energi, Danmarks Tekniske Universitet

Danske skoler er notorisk underventileret. I dette projekt blev betydningen af forskellige ventilationsløsninger for klasseværelses indeklima, elevernes oplevelse af indeklimaet og deres præstationer samt energiforbrug undersøgt. Artiklen præsenterer målinger af luftkvalitet og energiforbrug.

### Udtalt dårlig luft i klasseværelser

I både 2009 og 2014 viste Masseeksperimenterne, hvor elever i mere end 1500 klasser i danske folkeskoler målte på deres indeklima, at ventilationen var utilstrækkelig i over halvdelen af klasselokalerne (Clausen et al. 2014). Resultaterne endte på forsiden af en række landsdækkende medier og fik omtale i bedste sendetid på nationalt tv. I 2015/2016 gennemførtes en opfølgende grundig screening af folkeskolernes indeklima, hvor ikke kun luftkvalitet og temperatur blev målt, men også støj og belysning/dagslys. Resultaterne bekræftede, at ventilationen på mange skoler stadig ikke lever op til nuværende standarder og at CO<sub>2</sub>-koncentrationen i gennemsnit oversteg 1000 ppm i 47% af skoletiden i fyringssæsonen og 12% uden for fyringssæsonen (Dam-Krogh et al. 2017). Omtrent 50% af landets skolebygninger er opført i 1960'erne og 1970'erne og kun ca. 10% efter at der første gang optrådte ventilationskrav i bygningsreglementet fra 1995. Samlet set har vi ved DTU målt på luftkvaliteten i mere end 2000 af landets klasselokaler gennem de seneste 10-15 år og generelt har resultatet været ensartet nedslående.

Konsekvenserne rammer både elever og lærere, som trives ringere, har større fravær og får mindre udbytte af undervisningen, end hvis ventilationen fulgte gældende standarder (Wargocki og Wyon 2017). Grundlaget virker således til at være på plads – vi ved, at ventilation i mange danske skoler er et forsømt barn og at det negativt påvirker elever og lærere. Kikkerten bør nu rettes mod robuste tekniske løsninger, der kan anvendes til renovering af først og fremmest de ældre, ikke-renoverede skolebygninger, hvor det står værst til.

### Afprøvning af ventilationsløsninger

Med finansiel støtte fra ASHRAE har DTU Bygs Center for Indeklima og Energi undersøgt fem forskellige løsninger til at forbedre klasseværelses ventilation. Projektets titel var Effective energy-efficient classroom ventilation for temperate zones og det blev afviklet i perioden 2014 til 2016. I det følgende gennemgås de afprøvede løsninger og nogle indledende resultater. Artiklen vil blive fulgt op med yderligere beskrivelse af, hvordan indeklimaet med de forskellige løsninger opleves af eleverne og hvordan deres præstationer og velvære blev påvirket.

### Skole og løsninger

Undersøgelsen blev gennemført på en skole nord for København, opført mellem 1979 og 1986. Før undersøgelsen var der ikke styret ventilation i klasseværelserne og kommunen og skolens ledelse besluttede at renovere skolen for at forbedre ventilationen og indeklimaet i klasseværelserne. Forud for valget af en løsning blev det yderligere besluttet først at afprøve forskellige potentielle kandidater. Tre

klasseværelser blev således ombygget med hver sit system: ét med et decentralt, mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding og to lokaler med hybride, automatisk styrede naturlige ventilationsløsninger. I det ene lokale fungerede den styrede naturlige ventilation sammen med en udsugningsventilator og i det andet med seks mikroventilationsenheder indbygget i facaden. Mikroventilationsanlægget genvinder varmen i afkastluften og tilfører og fjerner luft ved et lavt tryktab. Den afprøvede løsning omfattede både automatisk styret vinduesåbning alene og kombinationen af styret vinduesåbning og mikroventilation. Systemerne kørte som afleveret, d.v.s. der blev ikke gjort noget specielt for at trimme driften af hensyn til undersøgelsen. Målinger og observationer reflekterer derfor variationer i indeklima, brugeradfærd og energiforbrug som i en tilfældig skole med samme ombygning.

Yderligere to klasselokaler i samme fløj blev anvendt i undersøgelsen: ét lokale fungerede som et referencelokal, hvor der ikke blev foretaget ændringer i ventilationsforholdene og hvor elever og lærere på eget initiativ manuelt skulle åbne vinduerne. I et andet lokale fik elever og lærere en CO<sub>2</sub>-indikator, der kunne fortælle, hvornår der var behov for at lufte ud, men de skulle stadig selv sørge for det.

Klasseværelserne blev brugt af 4. og 5. klasser med elever i 11-12 års alderen. Figur 1 viser en plantegning af den fløj på skolen, der indgik i undersøgelsen.

#### Procedure for afprøvning

I seks-ugers forsøgsperioder både i og udenfor fyringssæsonen blev klasseværelserne i en uge ad gangen ventileret af den anvendte løsning eller ved manuel åbning af vinduer og døre som før ombygningen. I disse uger blev styringen af systemerne holdt slukket og CO<sub>2</sub>-indikatoren deaktiveret.

#### Målinger

Hver uge bedømte eleverne deres oplevelse af indeklimaet, symptomer som koncentrationsbesvær eller hovedpine og de udførte sproglige og matematiske opgaver for at bedømme, hvor godt de kunne arbejde, tænke logisk og koncentrere sig. De udførte også en standardopgave, som bedømte deres opmærksomhed. Der blev løbende målt temperatur, luftfugtighed, støj og CO<sub>2</sub> koncentration i klasseværelserne. Frekvens og varighed af vindues- og døråbning samt energiforbrug til opvarmning og ventilation blev ligeledes logget.

#### Luftkvalitet før ombygning

Figur 2 giver et indtryk af klasseværelsernes luftkvalitet i den aktuelle skolefløj før ombygningen. Målingerne viser CO<sub>2</sub> koncentrationens fordeling i opholdstiden i løbet af en to-ugers periode i fyringssæsonen (januar 2014). I to af lokalerne var mediankoncentrationen i brugstiden højere end 1500 ppm og koncentrationen nåede nogle dage helt op i nærheden af 4500 ppm – mellem 4 og 5 gange den normalt anvendte øvre grænse på 1000 ppm for acceptabel luftkvalitet. Der er således ingen tvivl om, at der var behov for en forbedring af klasseværelsernes ventilationsforhold.

#### Luftkvalitet efter ombygning

For to af de afprøvede systemer i fyringssæsonen viser figur 3 kontrasten i CO<sub>2</sub> koncentration mellem uger med tændt og slukket ventilation og sammenligner med tilsvarende målinger foretaget parallelt i referencelokalet. Fordi lokale S5 blev brugt til at teste flere kombinationer af systemer er testperioden forskellig mellem S3, S5 og S7. Hullerne i figuren for S5 skyldes dels vinterferie og emneuge, hvor klassen var fordelt på andre lokaler. I disse uger blev undersøgelsen sat på pause. Ikke overraskende ses det tydeligt, at luftkvaliteten var langt bedre i de uger, hvor systemerne var i drift, end når de var slukket. Kontrasten var langt mere beskedent udenfor fyringssæsonen, primært fordi elever og lærere hyppigere

åbnede døre og vinduer og luftkvaliteten i uger med slukket ventilation derfor ikke var ligeså dårlig, som i fyringssæsonen med lav udetemperatur. I gennemsnit reducerede de afprøvede systemer CO<sub>2</sub> koncentrationen mellem 41% (decentral mekanisk ventilation) og 18% (automatisk styret naturlig ventilation alene) i fyringssæsonen og mellem 29% og 9% udenfor fyringssæsonen. Maksimumkoncentrationen blev reduceret mellem 61% (decentral mekanisk ventilation) og 28% (automatisk styret naturlig ventilation alene) i fyringssæsonen.

#### Temperaturforhold

Alle klasselokaler havde termostatstyret opvarmning som modvirkede effekten på temperaturen af de skiftende driftsforhold. Temperaturen var således mindre påvirket af interventionen end CO<sub>2</sub> koncentrationen og temperaturerne lå for det meste i komfortintervallet mellem 20°C og 26°C. Samtidig var temperaturen uafhængig af, at udetemperaturen kunne stige og falde noget i løbet af de seks ugers afprøvning.

#### Energiforbrug

Tabel 1 sammenligner energiforbruget til opvarmning og ventilation i de tre ombyggede lokaler. Målingerne er foretaget i løbet af to kalenderår (2015 og 2016). I alle lokaler målt varmeforbrug på radiatorer og konvektorer og i lokalet med decentral mekanisk ventilation yderligere for varmebladen i ventilationsanlægget. El til styring af systemerne er ikke inkluderet i tallene i tabel 1.

Varmeforbruget var højest i lokalet med det decentrale anlæg efterfulgt af lokalet med styret naturlig ventilation og udsugningsventilator og mindst i lokalet med styret naturlig ventilation og mikroventilation. En defekt temperatursensor i det decentrale anlæg kan have forårsaget et usædvanligt højt varmeforbrug som forekom på trods af, at anlægget var udstyret med en modstrømsveksler.

#### Afrunding

Før ombygning nåede CO<sub>2</sub> koncentrationen i skolens klasseværelser op på særdeles høje og uacceptable niveauer. Alle de afprøvede systemer var i stand til at nedbringe CO<sub>2</sub> koncentrationen, om end i forskellig grad som følge af forskelle i systemernes volumenstrømskapacitet. Der var et trade-off mellem den opnåede luftkvalitet og varmeforbruget og de to systemer, som gav den bedste luftkvalitet, havde også det højeste forbrug. Effekterne på eleverne af at installere ventilation er naturligvis endnu vigtigere, men er af pladshensyn ikke medtaget i denne artikel. Disse resultater vil blive præsenteret i en opfølgende artikel.

#### Referencer

Clausen, G., Toftum, J., Andersen, B., 2014. MasseEksperiment 2014. Indeklima i klasselokaler - resultater. Danish Science Factory ([www.danishsciencefactory.dk](http://www.danishsciencefactory.dk))

Dam-Krogh, E., Toftum, J., Clausen, G., 2017. Indeklimaet i danske folkeskoler - skoler, klasseværelser og faglokaler. Realdania ([www.realdania.dk](http://www.realdania.dk))

Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2017). Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork. *Building and Environment*, 112, 359-366.

Evt. i faktaboks ved figur 2: Figur 2 er et boxplot, hvor boksen indikerer 25%, 50% (median) og 75% fraktiler, og stregerne i forlængelse af boksen ender ved det datapunkt, der er tættest på 1.5 gange afstanden mellem 25% og 75% fraktilerne. Datapunkter udenfor stregerne markerer ekstremværdier.

## Tabel og figurtekster

Tabel 1. El og varmekonsum målt i løbet af to driftsår.

Figur 1. Plan over den fløj i skolen hvor undersøgelsen blev gennemført. Lokalebetegnelser med rød skrift blev ombygget.

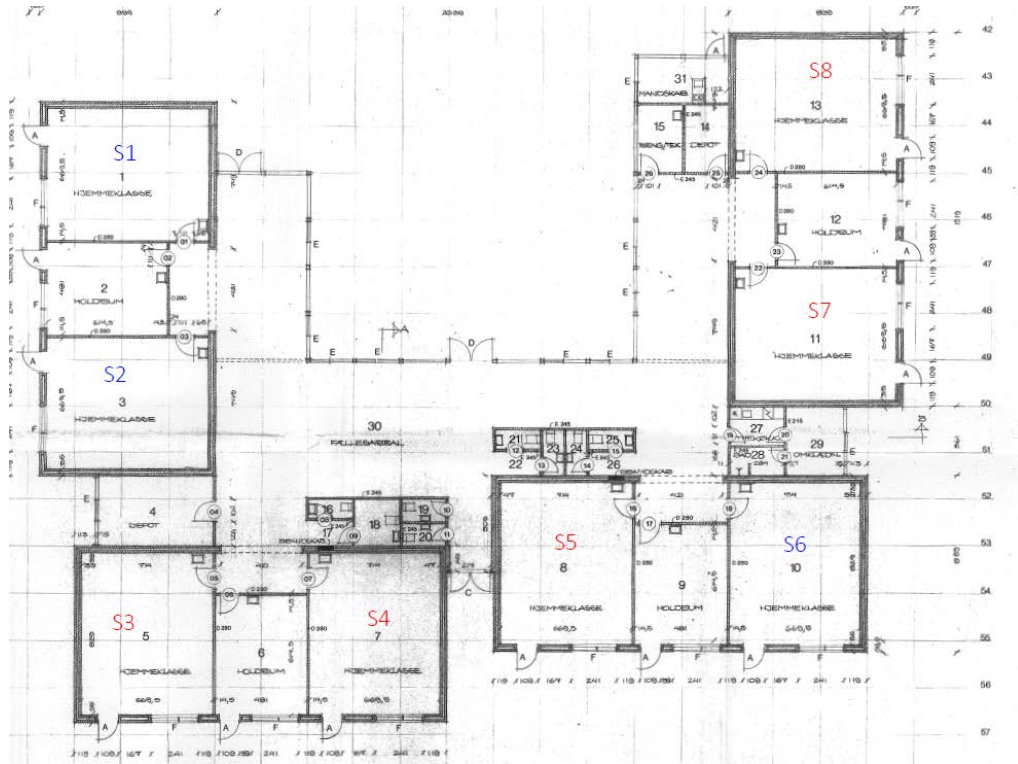
Figur 2. CO<sub>2</sub> koncentrationer i de undersøgte lokaler målt i en to ugers vinterperiode før ombygning.

Figur 3. CO<sub>2</sub> koncentrationer målt i fyringssæsonen i udvalgte lokaler efter ombygning. A. Lokale med decentral mekanisk ventilation, B. Lokale med hybrid ventilation (automatisk styret naturlig og mikroventilation), C. Referencelokale med manuel åbning af vinduer.

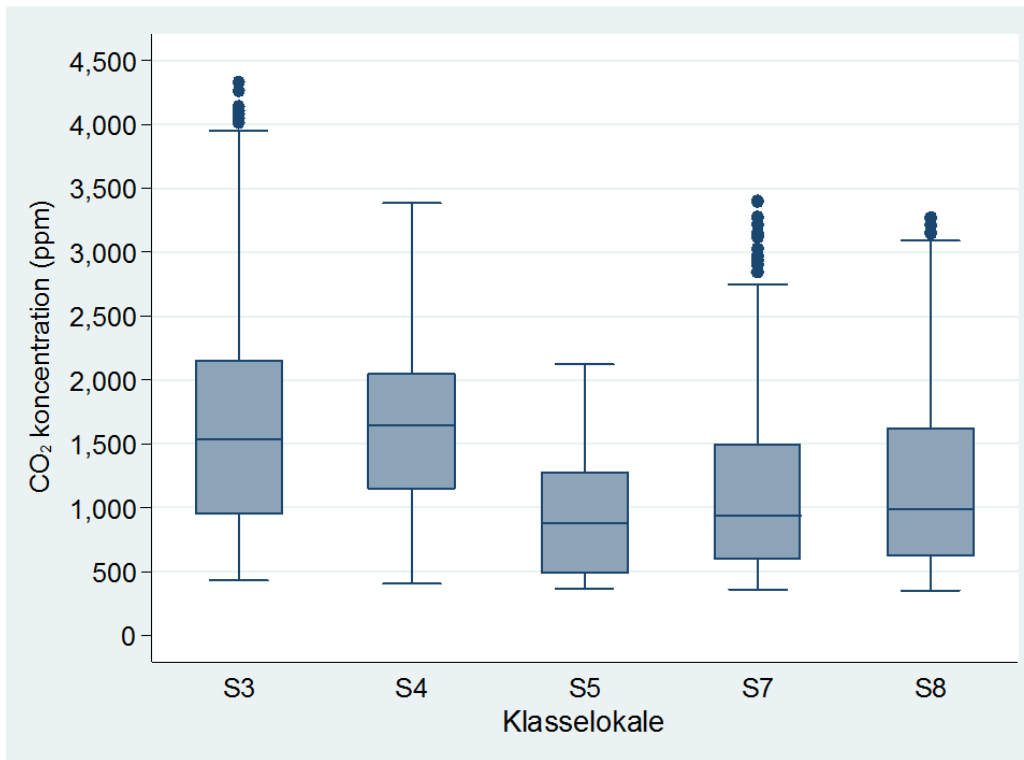
Tabel 1

| System   | Elektricitet (kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup> ) | Varme (kWh m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup> ) |
|--|--|---|
| Decentral mekanisk ventilation                           | 30   | 149   |
| Aut. styret naturlig ventilation og udsugningsventilator | 22   | 123   |
| Aut. styret naturlig ventilation of mikroventilation     | 33   | 54  |

Figur 1

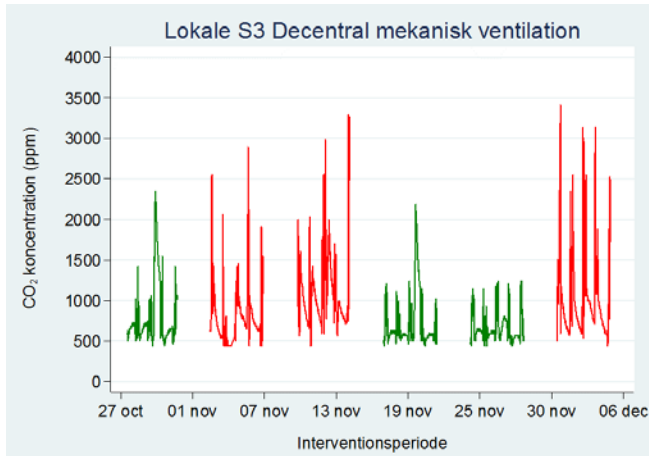


Figur 2

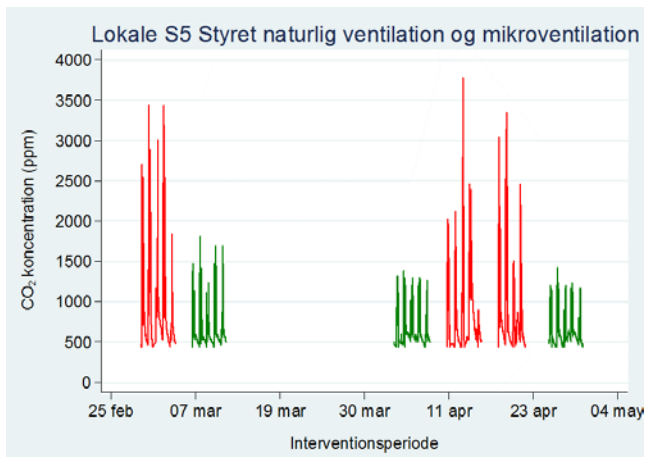




Figur 3a



Figur 3b



Figur 3c

