

Ventilation og køling i Skoler - design og praksis

v/ Alice Andersen, Senior specialist, COWI A/S

1

6. NOVEMBER
INSTALLATIONSKONFERENCEN 2019

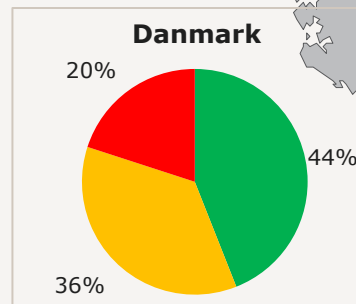
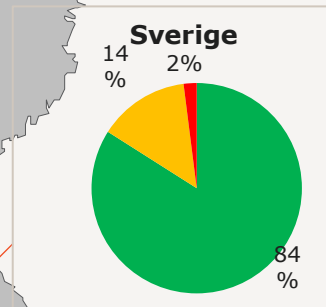
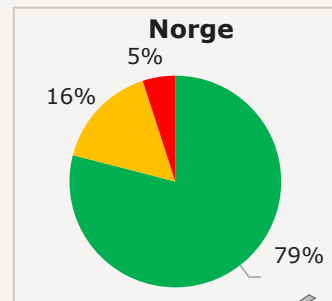
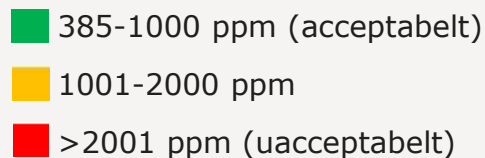
Agenda

- › Status for indeklimaet i skoler i praksis
- › Designstrategi og valg af ventilationsløsning
- › Eksempler på 2 skoleprojekter
- › Internationale erfaringer



Status – indeklimaet halter bagud

- > Danske børn tilbringer 20% af deres vågne timer i folkeskolen (gennemsnit 10.960 timer)
- > Dårligt indeklima medfører nedsat indlæring ~ op til 1 helt skoleår!

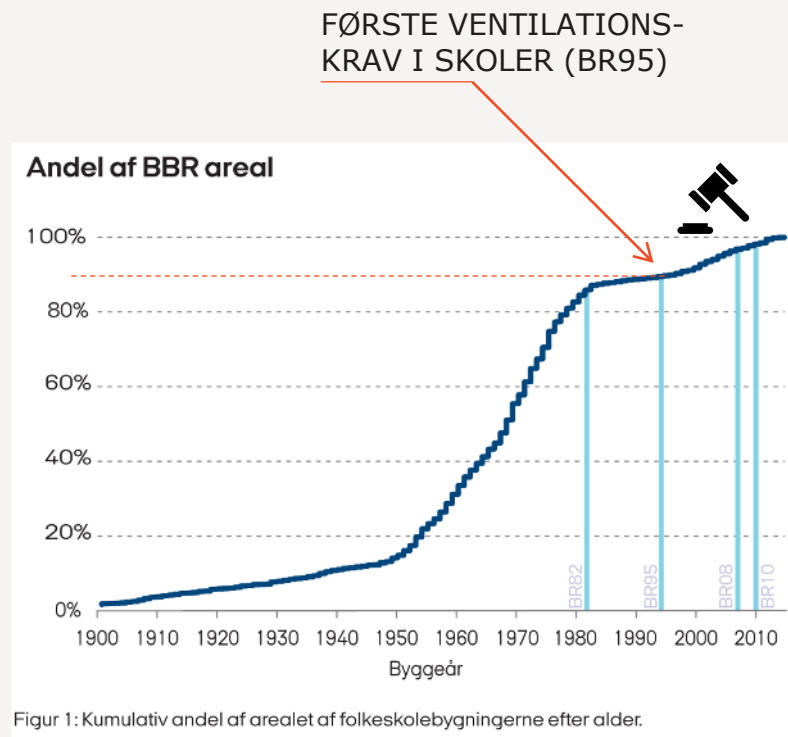


Kilde: Geo Clausen mf.
/DTU

COWI

Status for indeklima i skoler

- > 90% af skolearealerne (BBR) er bygget efter Bygningsreglement **uden** ventilationskrav
- > Målinger viser, at selvom skolerne er bygget med krav, er indeklimaet stadig uacceptabelt!

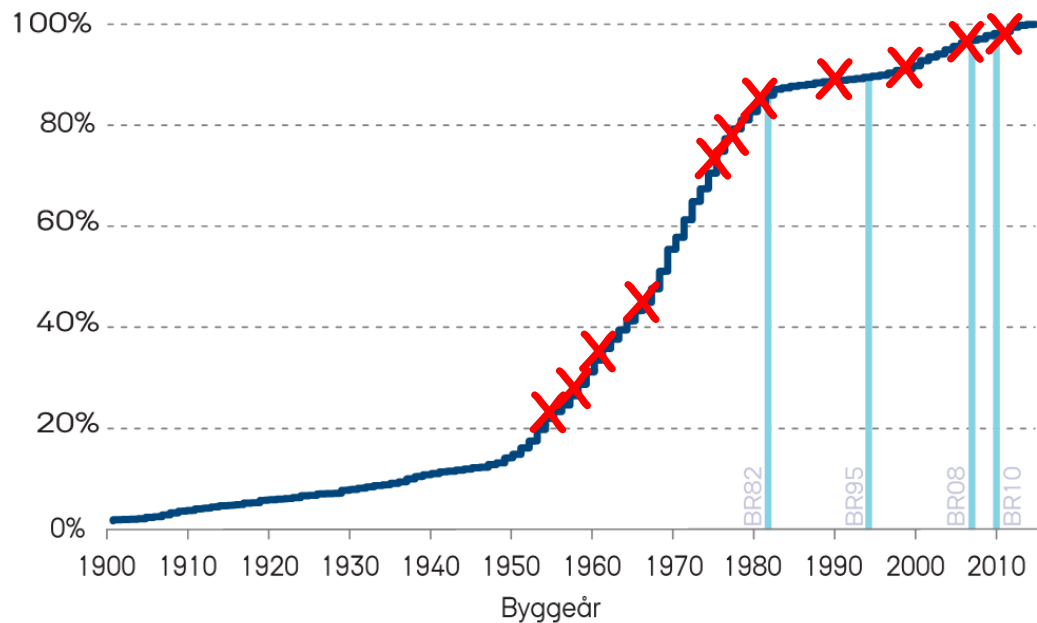


Indeklimascreening af 8 skoler på Sjælland

- Indeklimamålinger af 50 klasselokaler fordelt på 8 skoler
- Målinger er foretaget om sommeren 2018
- Både udeklima og indeklima måles
- Teknisk rådgivning ift. prioriteret rækkefølge af tekniske tiltag

Skolernes byggeår

Andel af BBR areal



Figur 1: Kumulativ andel af arealet af folkeskolebygningerne efter alder.



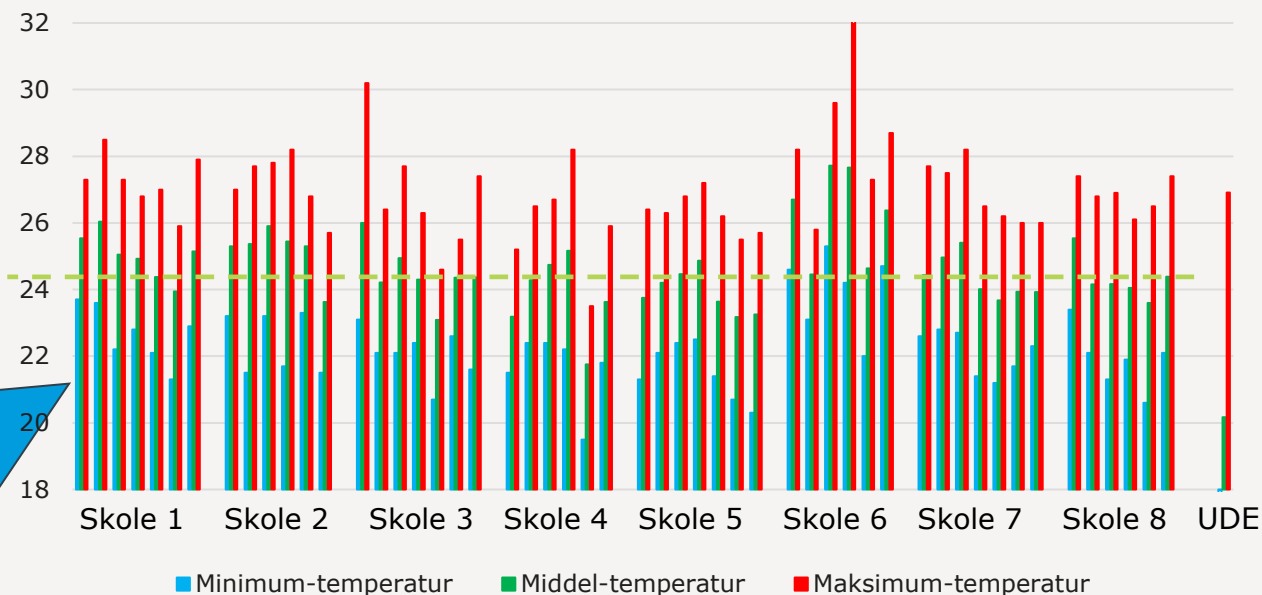
Resultater for termisk indeklima mellem kl. 8-15

Temperatur:

- Gennemsnit
 - INDENFOR: 24,6°C
 - UDENFOR: 20,5°C
- Gennemsnitlig maksimum: 27,0°C

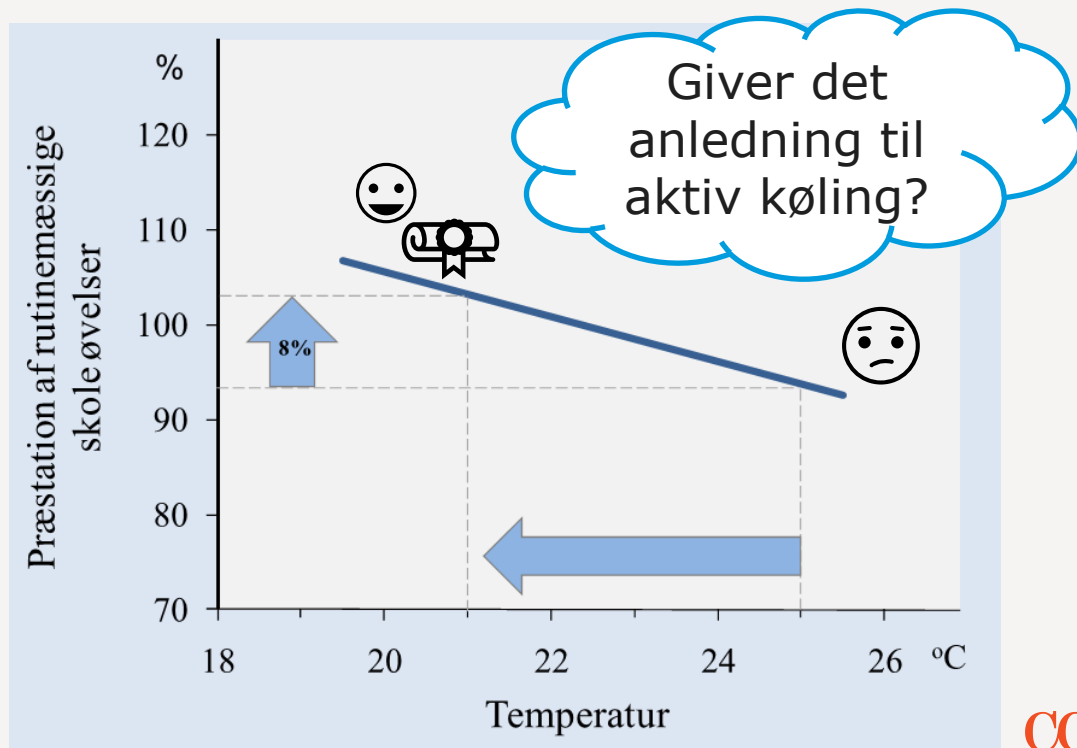


Temperaturer i de forskellige klasselokaler i skolerne



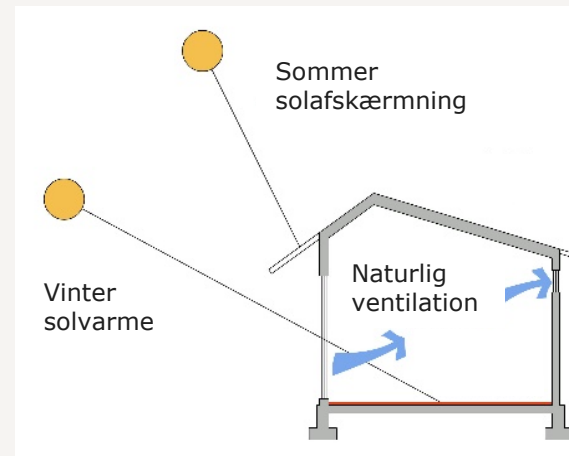
Effekt på præstationsevne pga. overtemperaturer

- 8% forbedret præstationsevne, når rumtemperaturen ændres fra 25 -> 21°C
- ~ 130 timers "gratis" undervisning per år



Designfase

- **STEP 1:** Reducer ventilations- og kølebehov mest muligt med passivt design
- **PRIORITER** indlæring og produktivitet så højt som muligt
 - Indeklimatiltag er ofte tilbagebetalt indenfor **1-1½ år**



Ventilations- og kølebehov vokser med høj belastning

- > Interne belastninger iht. Branchevejledning

- > 28 elever + 2 lærer
- > 1 tablet per elev
- > 1 projektor
- > LED-belysning

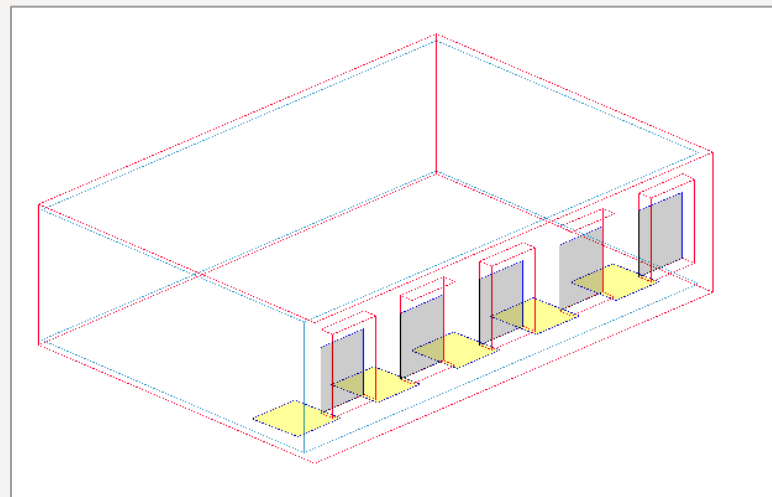


- > Typisk undervisningsrum

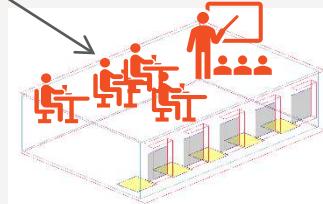
- > 79 m² og 2,8 m effektiv rumhøjde

- > Vinduer: Opfylder netop BR18's dagslys krav

- > (10%-reglen jf. §379)

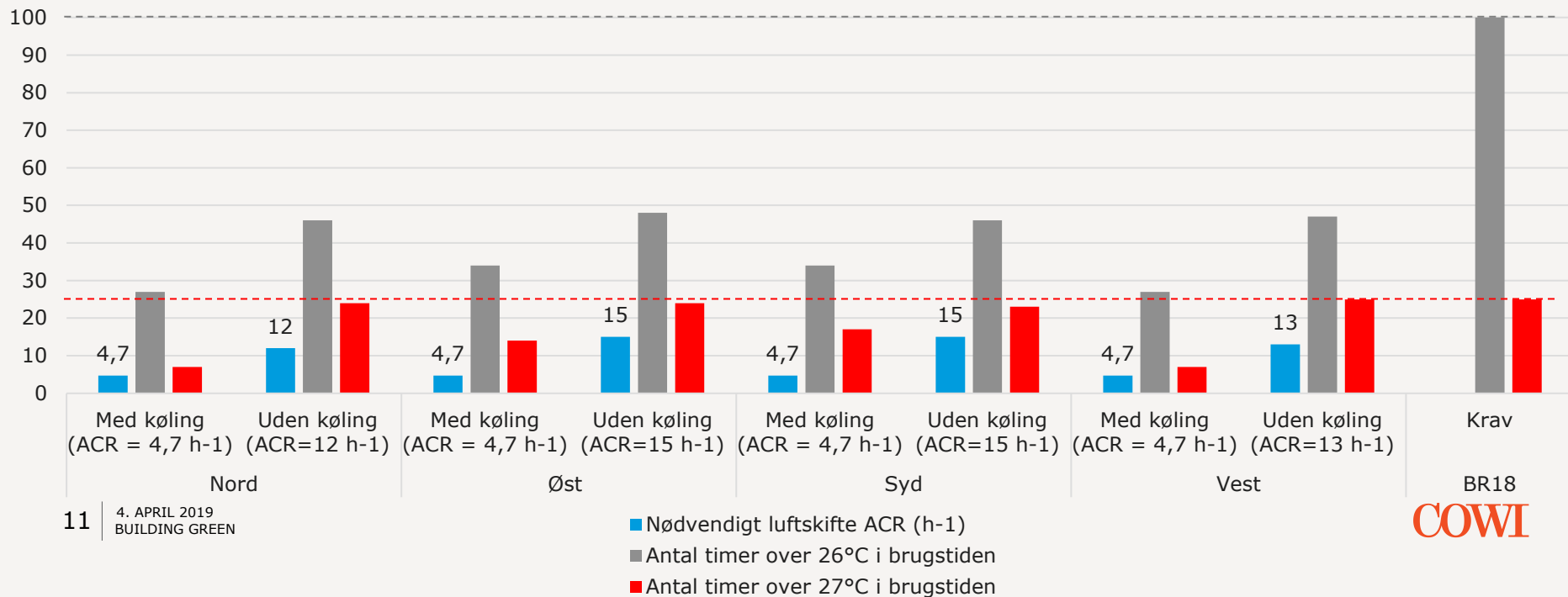


Beregningsmodel for indeklima

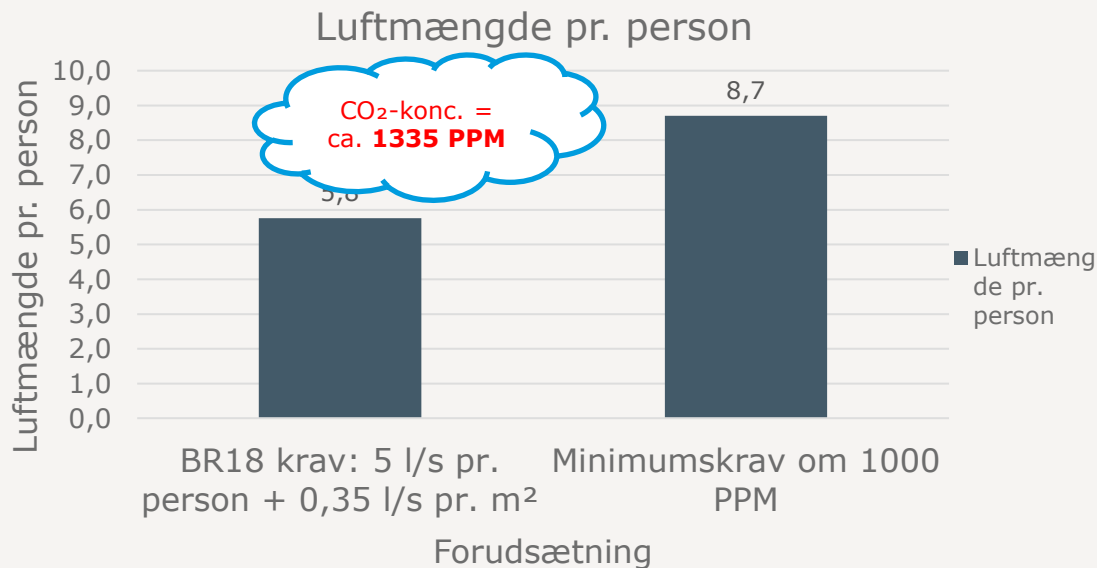


Ventilationsløsning uden køl kræver meget høje luftskifter i undervisning

Antal varme timer og nødvendige luftskifter ved forskellige orienteringer



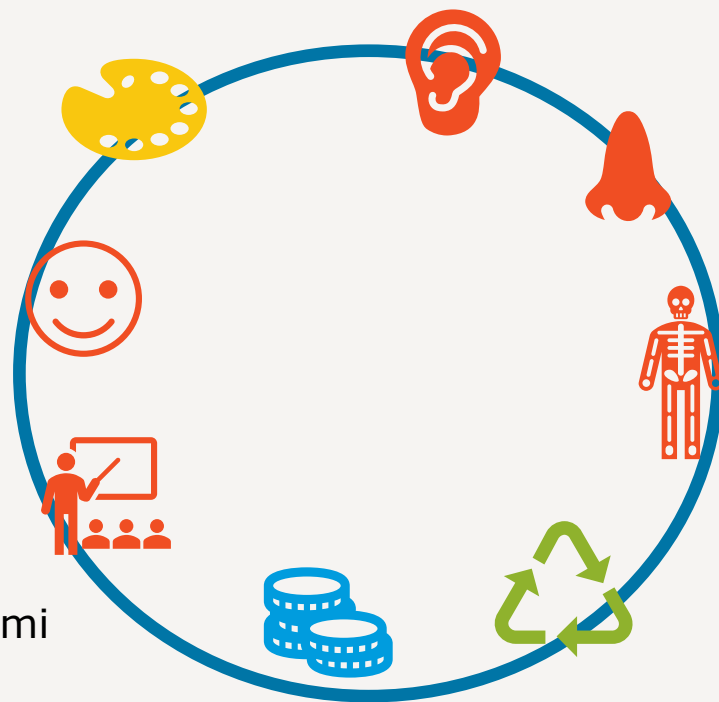
BR18's minimumsventilation er utilstrækkelig



	Termisk indeklime med BR18 luftmængder	
	Antal timer > 26°C	Antal timer > 27°C
Antal timer	424	127
Krav	100	25

En god løsning ift. ventilation og køling stiller mange krav

- > At det er æstetisk
- > At det tilfredsstiller et stabilt termisk indeklima
- > At det ikke giver træk
- > At det opfylder krav om luftkvalitet
- > At det giver en god akustik
- > At det er økonomisk og miljørigtigt i drift
- > At det er robust og fleksibelt, og har en god økonomi



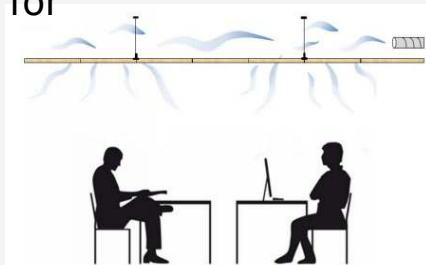
To overordnede mekaniske indblæsningsmuligheder

> Diffus indblæsning

- > Giver mindre risiko for træk
- > Kræver mindre hulrum over nedhængt loft
- > Velegnet til mekanisk køling
- > Mindre synligt
- > God fleksibilitet, hvis det indtænkes i design
- > God lyddæmpning over loft
- > Giver mindre risiko for træk selv for høje luftskifte (omkring 10 h^{-1})

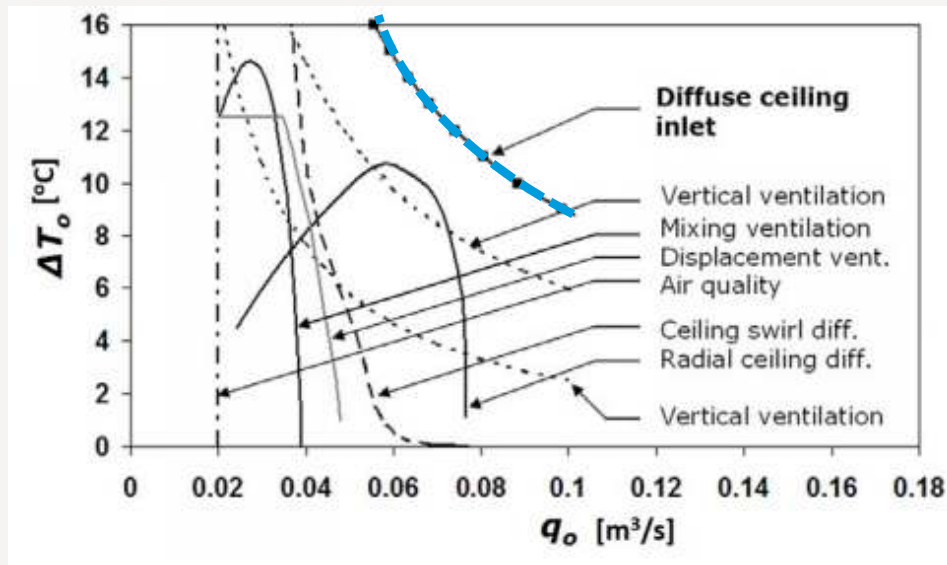
> Indblæsning via lofts- eller vægarmaturer

- > Større risiko for træk ved høje luftmængder
- > Kræver mere plads over nedhængt loft
- > Velegnet til mekanisk køling
- > God fleksibilitet
- > Større støjrisiko pga. turbulens



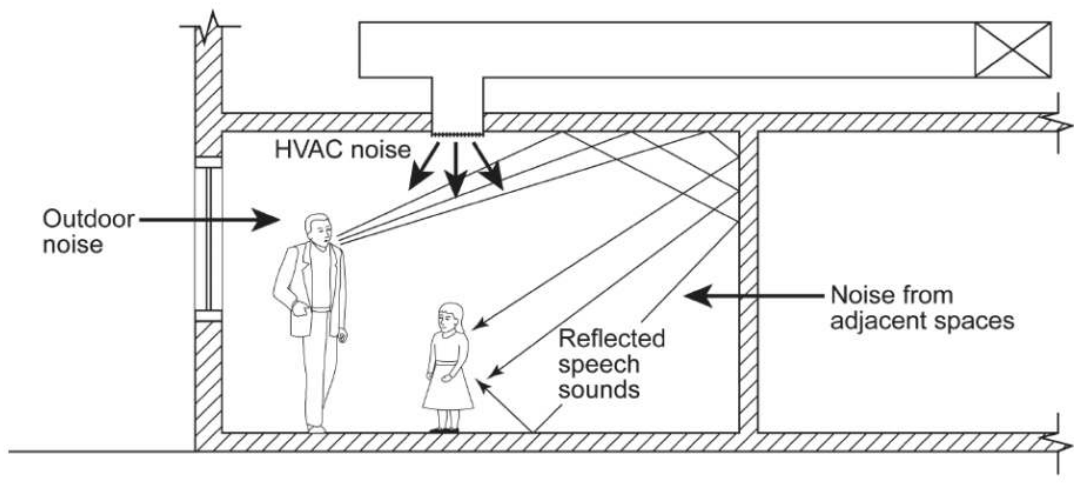
Mulighed for større køleydelse med diffus indblæsning via lofter – træk er ingen problem!

- > Designgraf med diffus loftindblæsning sammenholdt med 5 andre systemer for lufttilførsel.
 - > T: Temperaturdifferens mellem lufttilførsel og -afkast.
 - > q_o : Luftmængdetilførslen (m^3/s)
- > Forsøg er udført i samme rum:



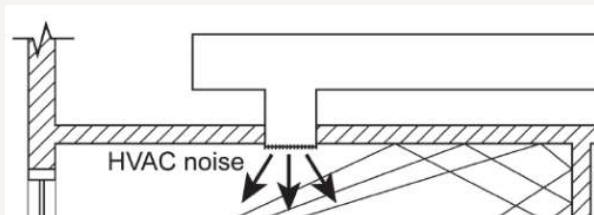
Kilde: P.V. Nielsen et al, 2009

Opmærksomhed på støj fra ventilationsarmaturer

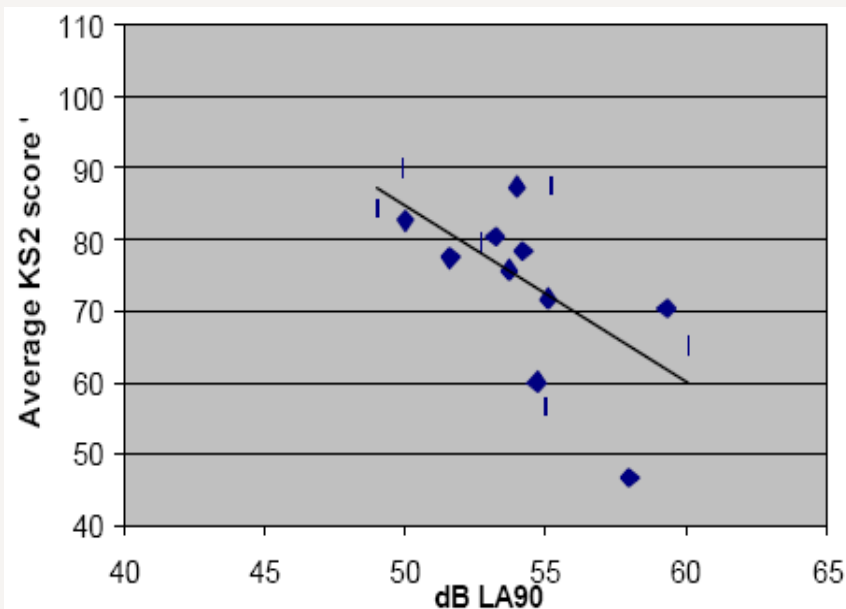


Sammenhæng mellem baggrundsstøj og testresultater

- Større engelsk undersøgelse af 16 forskellige skoler viser ca. 11% forbedring i standard test udført af 11-årige børn ved at reducere baggrundsstøj fra 55 dB til 50 dB



Sammenhæng mellem klasseværelsets baggrundsstøj og gennemsnitsscoren af 11-åriges testresultater.



Figur: Shield and Dockrell 2003

Lisbjergskolen udenfor Aarhus



- > Opførelsesår 2008
- > Omfang: 9.000 m²
- > Bygherre: Aarhus Kommune
- > Arkitekt: Kjaer og Richter A/S
- > Entreprenør: MT Højgaard
- > Ingeniør: Bascon

Diffus indblæsning uden aktiv køling i undervisning

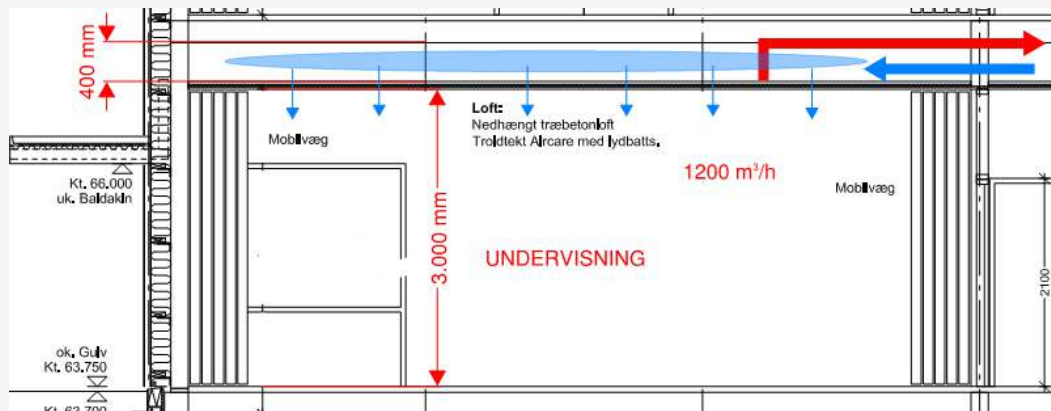
- > Tilfredse brugere
- > God akustik med lyddæmpende lofter
- > God luftmængder ($1200 \text{ m}^3/\text{h}$ pr. undervisningsrum – ca. 6 h^{-1})
- > Naturlig ventilation i tilstødende centralt atrium



AKUSTIKLOFT SOM INDBLÆSNINGSARMATUR

Opbygning:

- › Det aktive areal af loftet er cirka 50%
- › 400 mm trykkammer over det nedhængte loft



AFKAST



AKUSTIKLOFT SOM INDBLÆSNINGSARMATUR

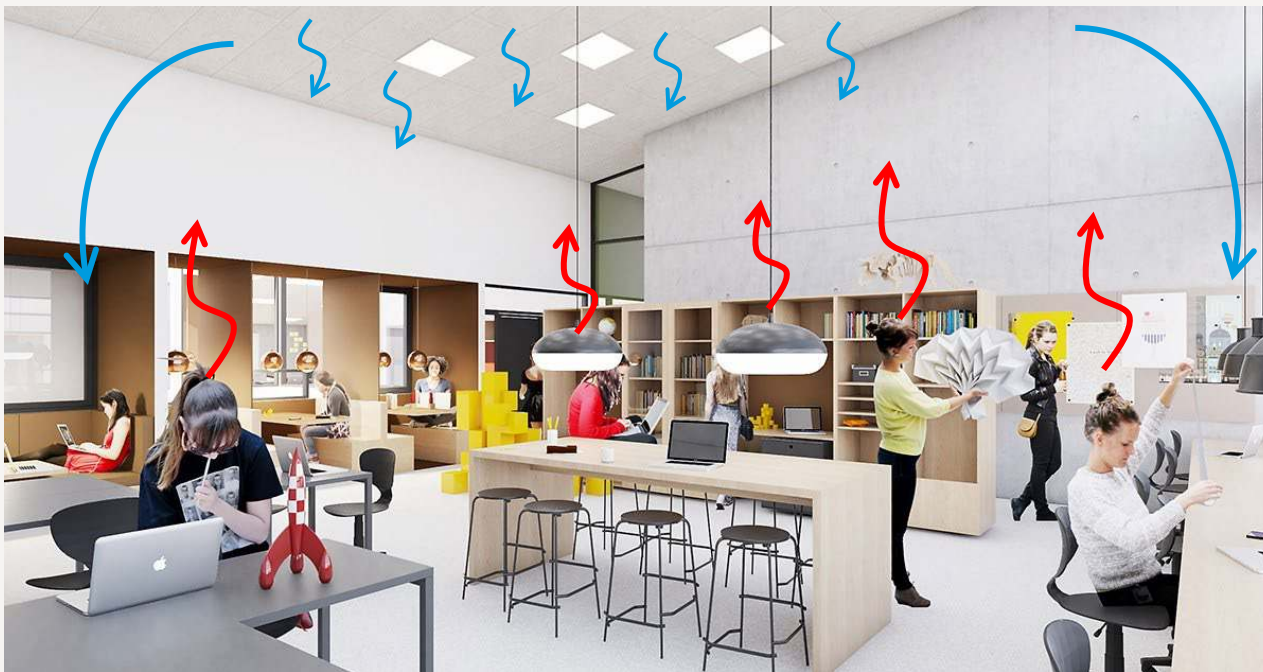
Opbygning:

- > Jævn fordeling af luft over loft
 - > Ingen forhindringer i luftfordelingen
- > Tætte gennemføringer og spalter mellem plader
 - > Max 1-2 mm sprækker for at undgå træk
- > Ingen kortslutning
 - > Plader omkring afkast kan evt. vælges ikke at være permeable

AFKAST



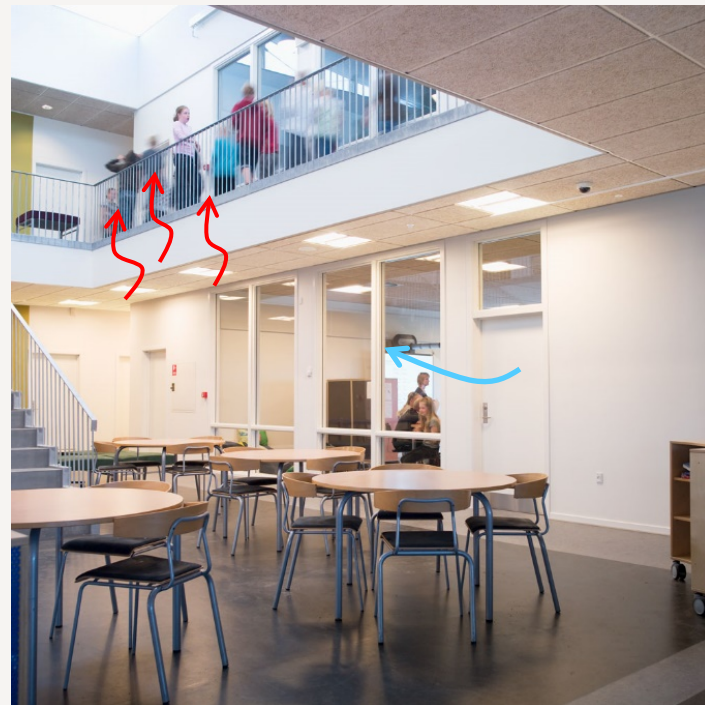
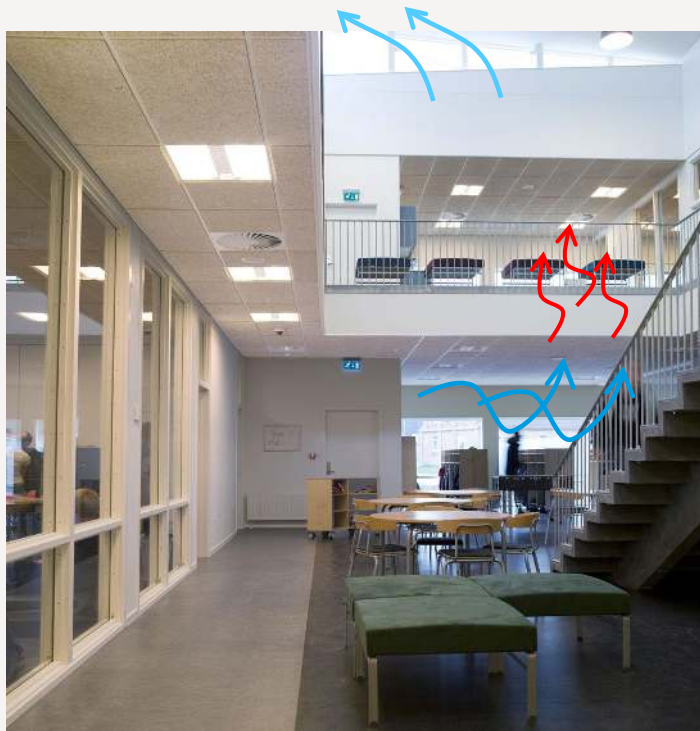
Opblanding med diffus ventilation er drevet af termik



Typiske undervisningsrum



Naturlig ventilation i fællesområder

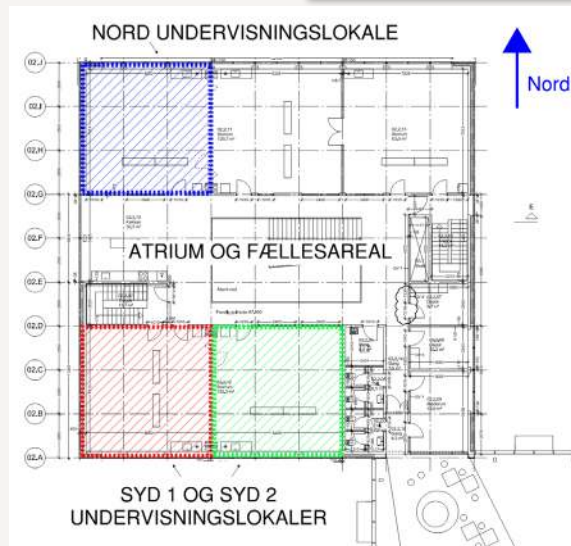


Målinger fra 3 undervisningsrum

- > Ca. 23 børn og 2 lærer (6,8 m³ pr. person)
- > 6. klasse



NORD



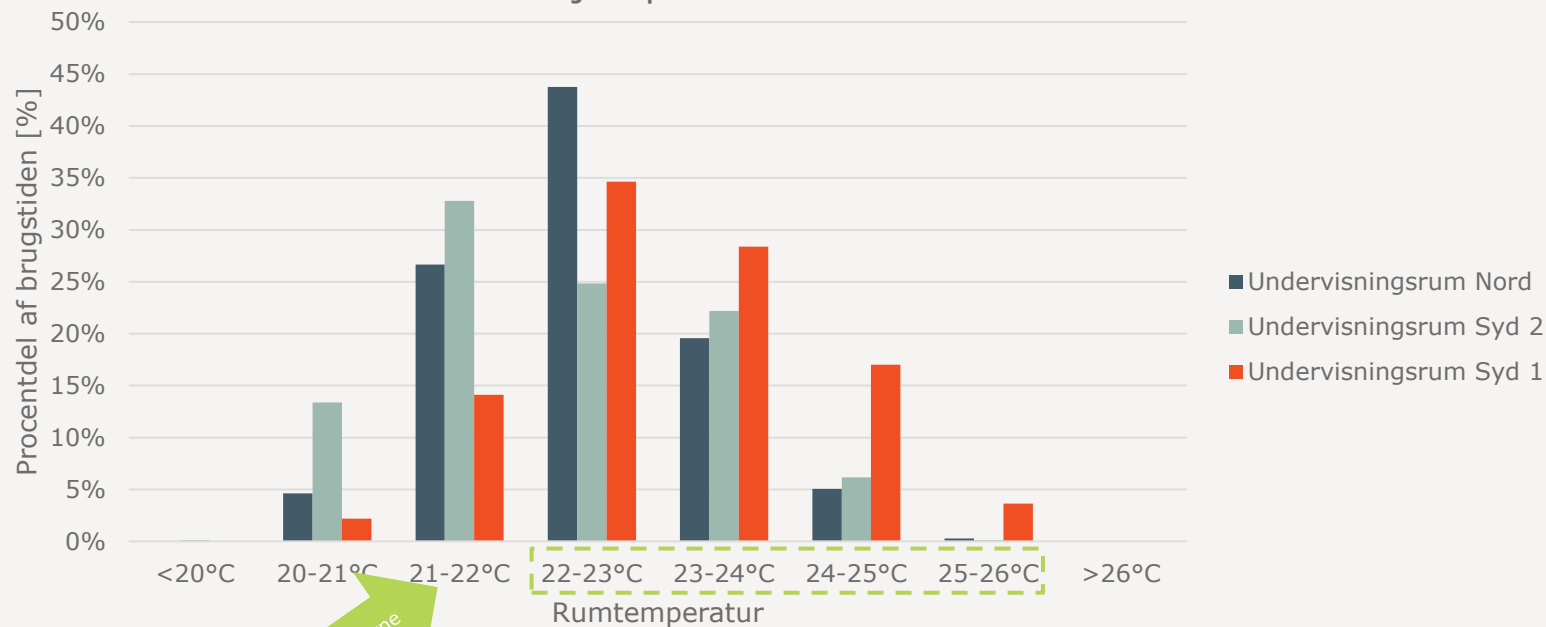
SYD 1



SYD 2

Indeklimamålinger i 3 undervisningsrum

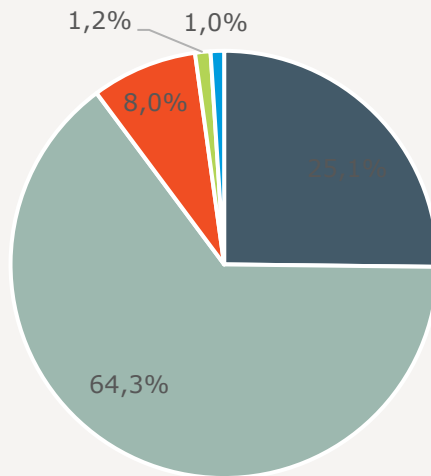
Måledata fra maj-september 2019



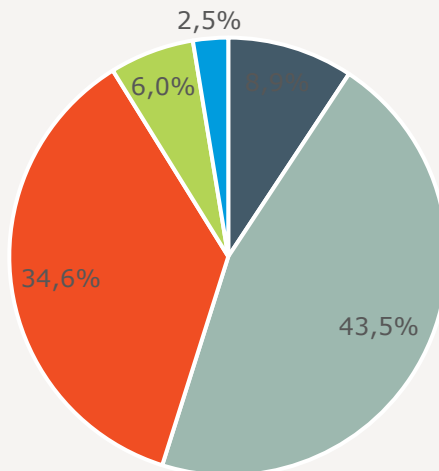
Indeklimamålinger i 3 undervisningsrum

> Målinger fra maj-september antyder en god luftkvalitet

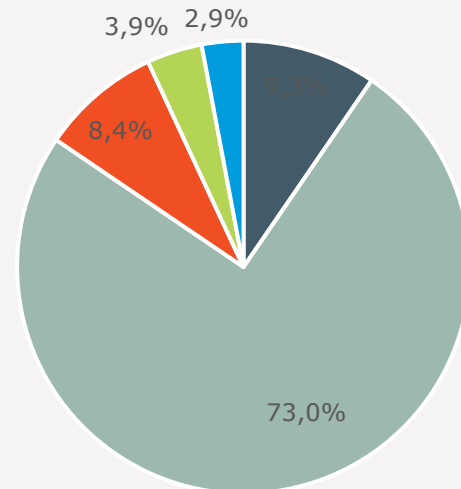
Undervisningsrum Nord



Undervisningsrum Syd 1



Undervisningsrum Syd 2



Frederiksbjerg Skole i Aarhus



- > Opførelsesår: 2016
- > Omfang: 14.800 m²
- > Bygherre: Aarhus Kommune
- > Bygherrerådgiver: COWI A/S
- > Arkitekt: Henning Larsen Arkitekter
- > Entreprenør: Hoffmann
- > Ingeniør: Niras A/S

Mekanisk køling og VAV i undervisningsrum

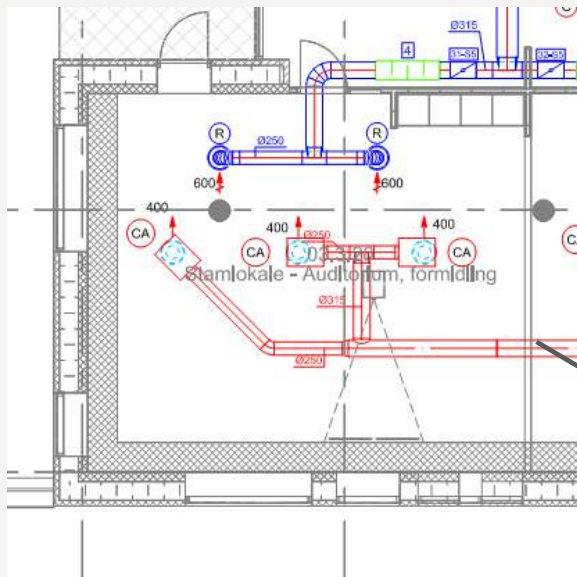


Hybrid ventilation i atrium og fællesområder



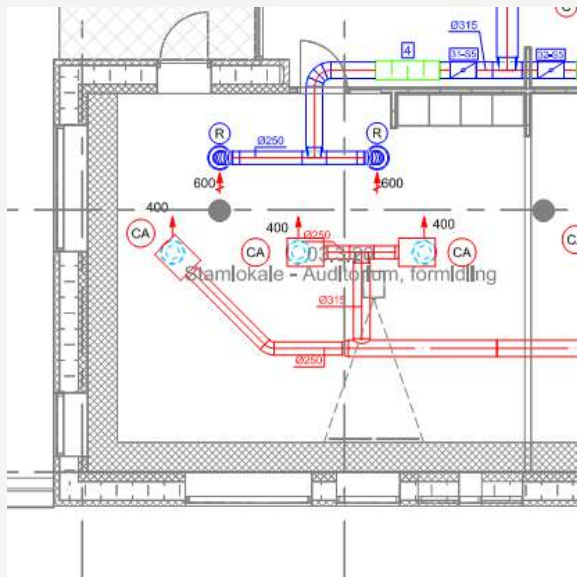
Mekanisk ventilation

> Balanceret ventilation med køling



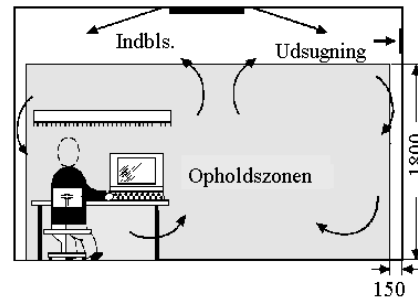
Mekanisk ventilation

> Balanceret ventilation med køling



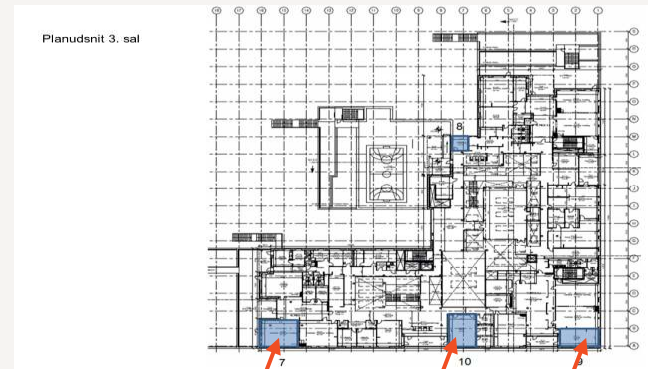
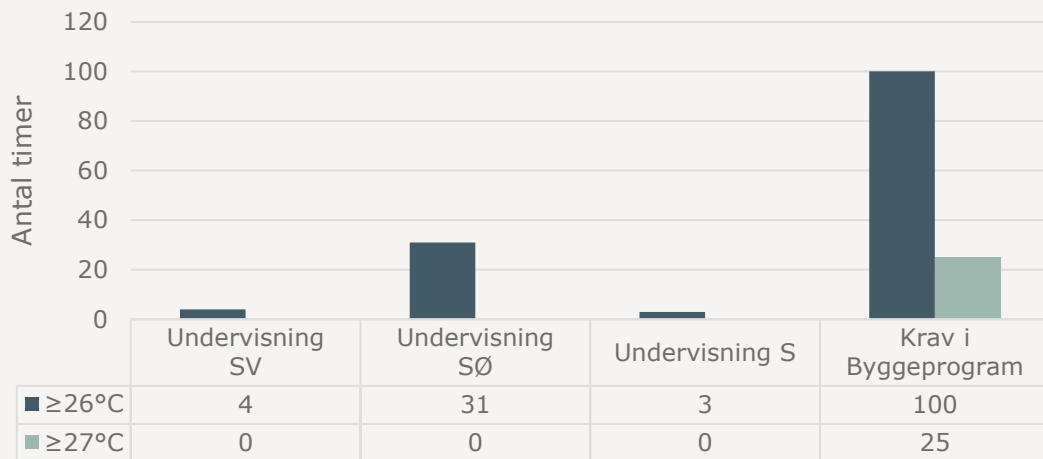
Kapacitet pr. stamlokale:

- 1200 m³/h
- Gulvareal: 62,3 m²
- Luftmængde: 6,6 h⁻¹
- Max. CO₂-koncentration: 1000 PPM
- Løsning: 3 armaturer til indblæsning og 2 armaturer til udsugning
- Princip for opblandingsventilation:



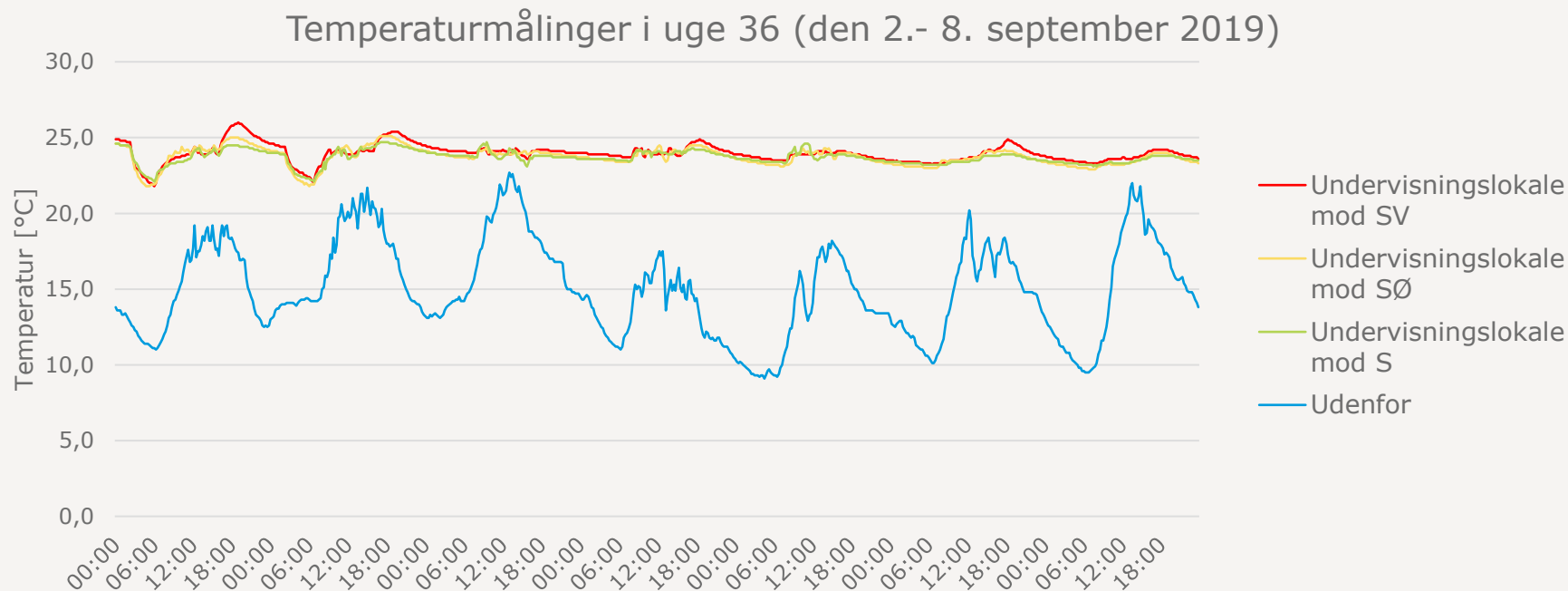
Fysiske indeklimamålinger i tre undervisningsrum

Målte varme timer i brugstiden i januar-september 2019

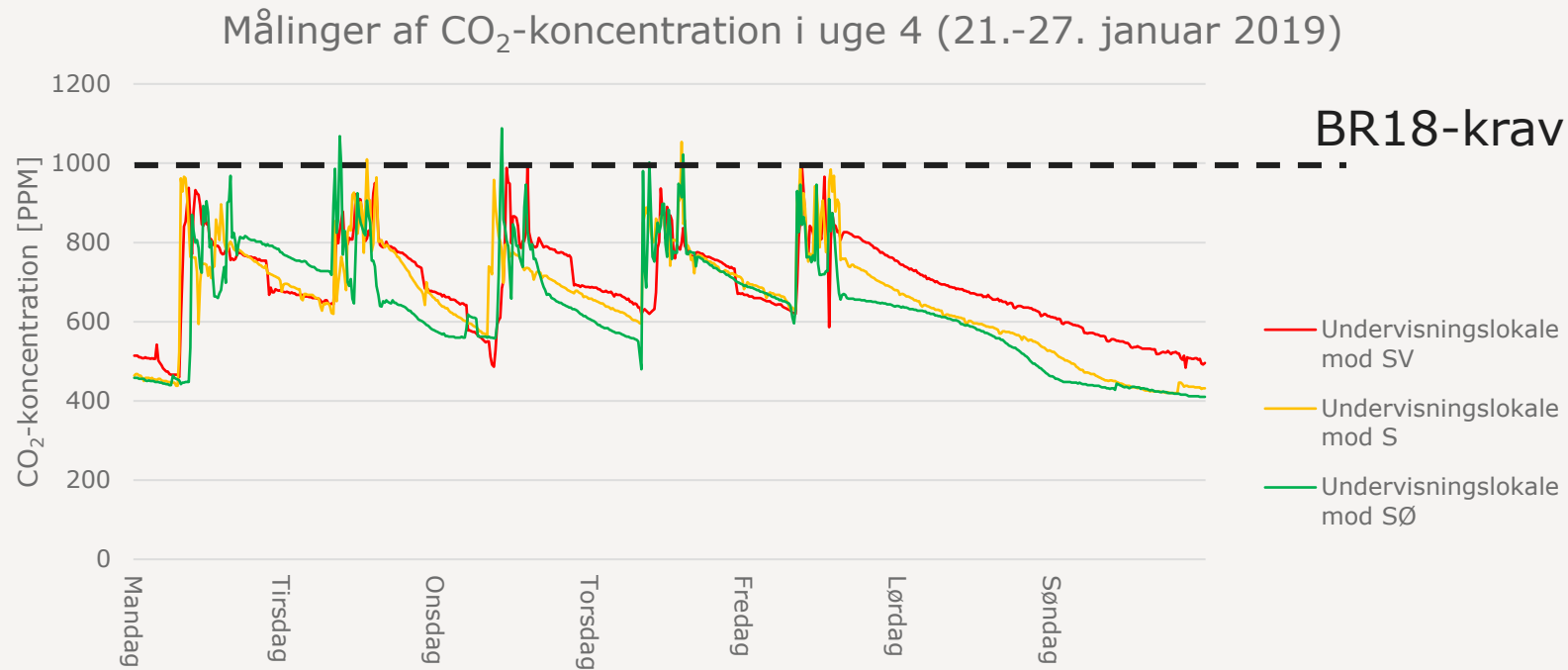


SV S SØ
orienteret undervisningslokaler

Temperaturmålinger i uge 36, 2019



Målinger af CO₂-koncentration i uge 4, 2019



Gårde og terrasser giver muligheder for at komme ud og effektiv udluftning i pauser



USA



- > Overophedning i skoler i 2016-2017 gav flere dage med skolelukninger
- > Skal køling i skoler være et krav ligesom mekanisk ventilation? (politisk bestemt)
- > Grunde:
 - > Mangelfuld ventilation
 - > Manglende vedligeholdelse og opmærksomhed på drift
 - > Dårlig økonomi til vedligeholdelse og skift af anlæg



OPGØRELSE FRA BALTIMORE

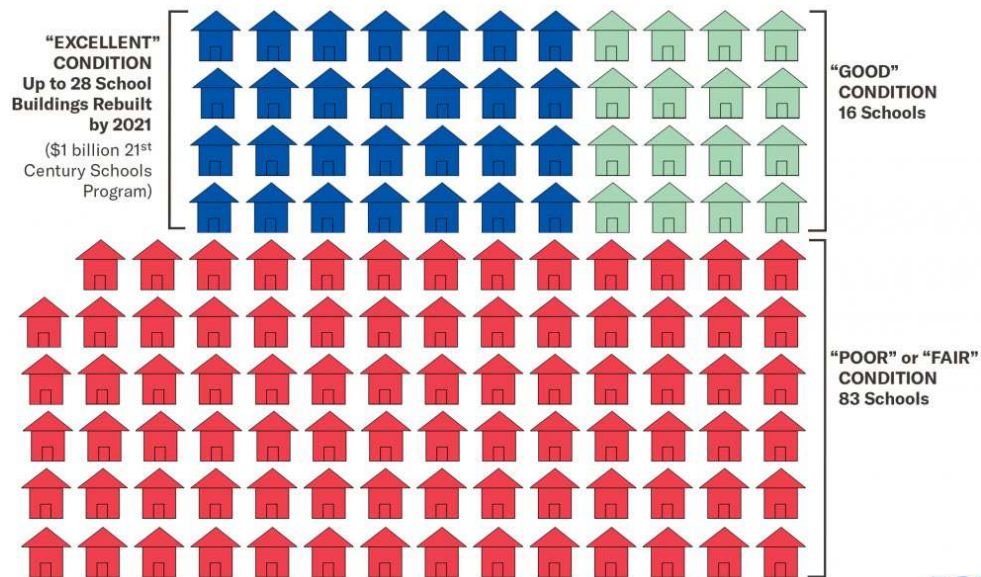


- Størstedelen af skolerne kræver renovering eller udskiftning

Studerende, forældre & advokater har kaldt på bedre indeklima i to årtier:



STATUS OF BALTIMORE CITY SCHOOL BUILDINGS



Source: State of School Facilities, Baltimore City Public Schools, Jacobs Engineering, June 2012; Annual Report on the Progress of Replacements, Renovations, and Maintenance of Baltimore City Public Schools, 21st Century School Buildings Program, January 15, 2016.

DESIGN OG PRAKSIS

Spørgsmål?

