



TEKNOLOGISK
INSTITUT

it's all about innovation





TEKNOLOGISK
INSTITUT

Installationskonferencen 2018 – for praktikere

Danvak K18402, Helnan Marselis Hotel, Strandvejen 25, 8000 Aarhus C

Den 13. november 2018

“Adiabatisk køling – en mulighed?”

Seniorspecialist Christian Drivsholm, Varme- og Ventilation, Teknologisk Institut

Elforsk PSO projekt under Dansk Energi



- Projektdeltagere:



Disposition



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Projektbeskrivelse
- Baggrund
- Udførte forsøg i Holland
- Indledende simuleringer og forsøg udført i Danmark
- Det videre arbejde i projektet

Projektbeskrivelse



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Projektbeskrivelse (forkortet)



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Høje rumtemperaturer i foråret og om sommeren giver generelt et dårligt indeklima i danske offentlige bygninger samt private erhvervsjendomme. Projektet vil udvikle og demonstrere muligheden for at anvende små renoveringsvenlige decentrale "et – rums ventilationsenheder" med højeffektiv modstrømsveksler til vinterbrug, kombineret med en simpel, billig og vedligeholdelseslet indirekte adiabatisk køling til sommerdrift.
- Mere specifikt vil fokusområde i første omgang være skoler (nybyggeri og renovering)
- Målet er derfor udvikling og langtidsdemonstration af et mindre decentralt ventilationsanlæg med kapacitet på op til 1600 m³/h, hvor en overfladebelagt aluminiumsmodstrømsveksler med høj varmegenvinding kombineres med indirekte adiabatisk køling. Ventilationsanlæggets størrelse vil kunne ventilere og køle et enkelt klasseværelse eller tilsvarende kontormiljø.
- Ved at anvende et kompakt vandfilter kan almindeligt postevand bruges uden problemer med kalkaflejringer. Regnvand vil også kunne bruges, men kræver et tilhørende opsamlingsystem til regnvandet, filtrering og vandtryk forøger.
- { projektperiode 2018 – 2020 }

Baggrund



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Mandag den 17. september 2018 kl. 19 TV2!



TEKNOLOGISK
INSTITUT

TV2

DÅRLIGT INDEKLIMA PÅ DE FLESTE SKOLER

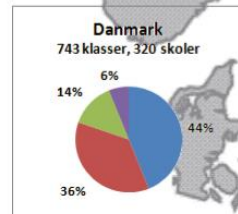
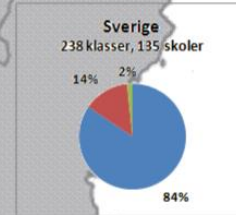
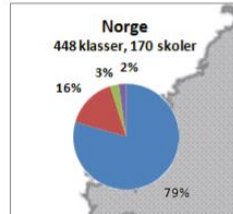
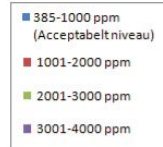
NYHEDERNE

DTU undersøgelse - luftkvalitet



TEKNOLOGISK
INSTITUT

■ CO2 koncentration



CO2 koncentration og performance



TEKNOLOGISK
INSTITUT

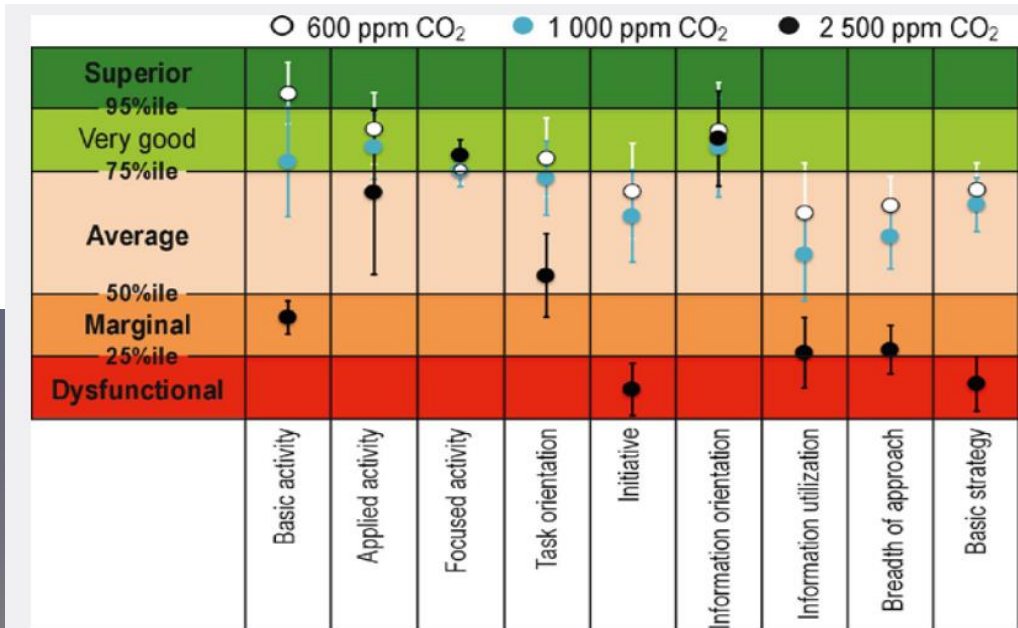


Figure 1. Impact of CO₂ on human decision-making performance. Error bars indicate one standard deviation.

DS/EN 15251 (2007)

I: 23,5-25,5 oC 750 ppm
 II: 23,0-26,0 oC 900 ppm
 III: 22,0-27,0 oC 1200 ppm
 IV: >1200 ppm

BR2018

1000 ppm

WILLIAM J. FISK¹, USHA SATISH², MARK J. MENDELL¹, TOSHIFUMI HOTCHI¹, DOUGLAS SULLIVAN¹

¹ Indoor Environment Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA

² State University of New York Upstate Medical University, Syracuse, NY

Aktiviteter igangsættes forhåbentlig!



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Realdania kører p.t. stor skolekampagne for et bedre indeklima

Realdania søger pilotkommuner til indeklima-projekt i folkeskoler

Strategisk fokus på indeklima i skolernes renovering kan give klogere og sundere børn. Sammen med kommunerne vil foreningen Realdania derfor bidrage til at udvikle metoder til indeklimarenovering, som kan bruges på alle skoler. Kommuner fra hele landet opfordres til at indsende en ansøgning om at deltage som pilotkommune. Deadline for ansøgning er den 30.oktober 2018.

Hvad med det termiske indeklima?



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Ved en helhedsorienteret tilgang til renovering af eksisterende skoler, men også i forbindelse med opførelse af nye skoler vil dette projekt også sætte fokus på det termiske indeklima
- Det vil være en skam, hvis muligheden for at skære toppen af eventuelle overophedninger mistes selvom der er brugt mange penge på renovering og på nybyggeri
- Politiske strømninger fx fra Holland indikerer, at der også skal fokus på reduktion af overophedning i klasselokaler på skoler

Hvad siger Arbejdstilsynet (AT) angående rumtemperatur?



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Temperatur i arbejdsrum på faste arbejdssteder
- At-vejledning A.1.12
Marts 2005
Erstatter At-meddelelse nr. 1.01.7 af september 1995
- *Generelt bør temperaturen under normale klima- og arbejdsforhold holdes på 20-22 °C ved stillesiddende arbejde og må ikke overstige 25 °C. Sagt med andre ord kræver Arbejdstilsynet, at temperaturen holdes under 25 °C, bortset fra perioder med varmebølge ^{**} eller hedebløge ^{**}.*

Kan denne temperatur ikke holdes, selv ved normale udetemperaturer, bør det undersøges, hvad årsagen hertil kan være.

Det kan fx skyldes belysning, varmeafgivende maskiner eller solindfald.

Der skal i disse tilfælde træffes passende foranstaltninger, så temperaturen nedbringes.

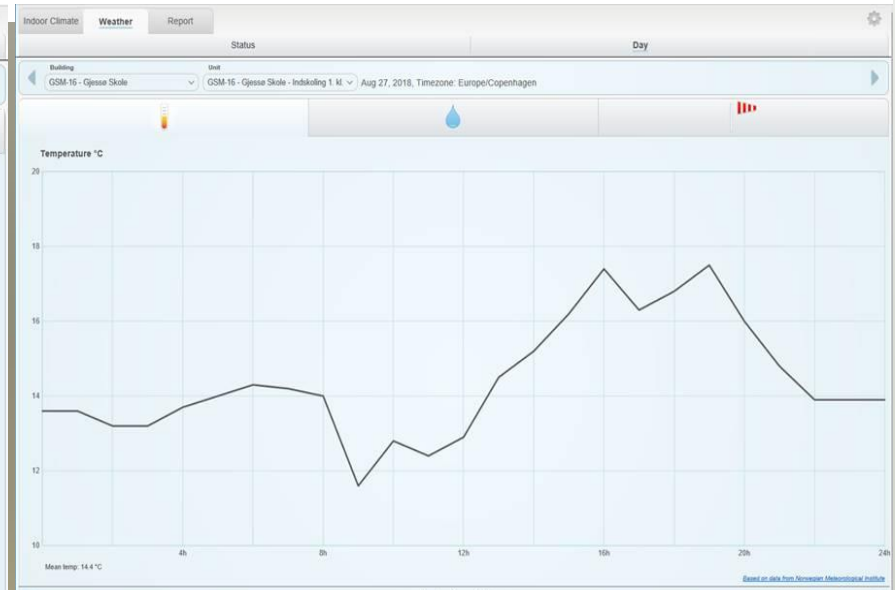
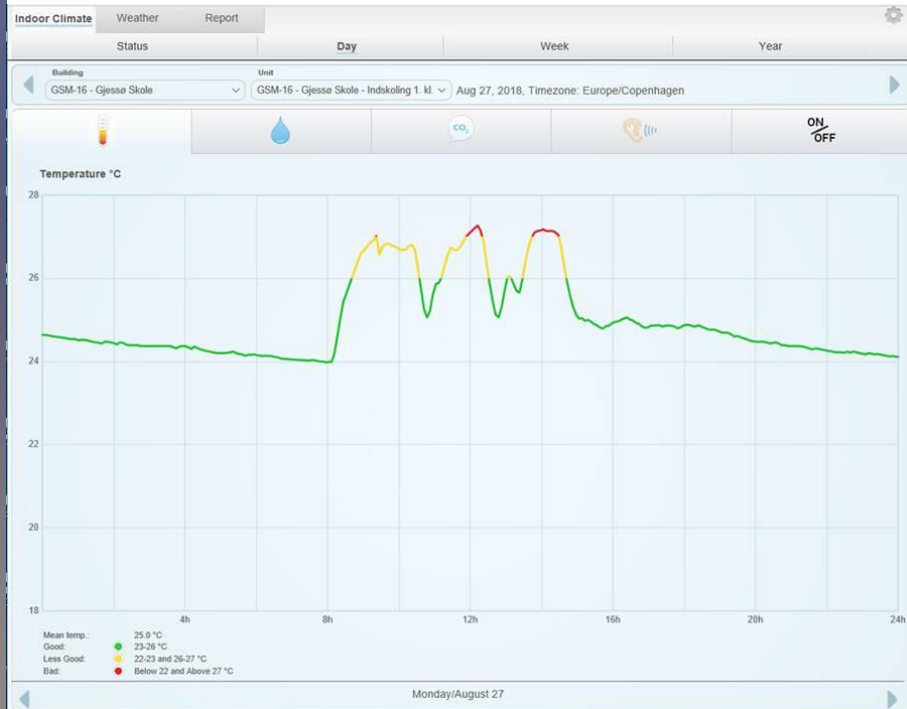
- ^{**} I Danmark definerer DMI en **varmebølge** som en periode, hvor gennemsnittet af de højeste registrerede temperaturer målt over tre sammenhængende dage overstiger 25°C. En varm periode skal således være mindst tre dage, før den karakteriseres som en varmebølge, men den kan naturligvis også være længere. En varmebølge bliver ikke afbrudt, selv om der skulle forekomme enkelte dage midt i den, hvor temperaturen ikke når over de 25°C, når blot gennemsnittet over tre dage ligger højere.
- I Danmark definerer DMI en **hedebløge** som en periode, hvor gennemsnittet af de højeste registrerede temperaturer målt over tre sammenhængende dage overstiger 28 °C. En varm periode skal således være mindst tre dage, før den karakteriseres som en hedebløge, men den kan naturligvis også være længere. En hedebløge bliver ikke afbrudt, selv om der skulle forekomme enkelte dage midt i den, hvor temperaturen ikke når over de 28 °C, når blot gennemsnittet over tre dage ligger højere.

Klasselokale (Gjessø, Silkeborg)



TEKNOLOGISK
INSTITUT

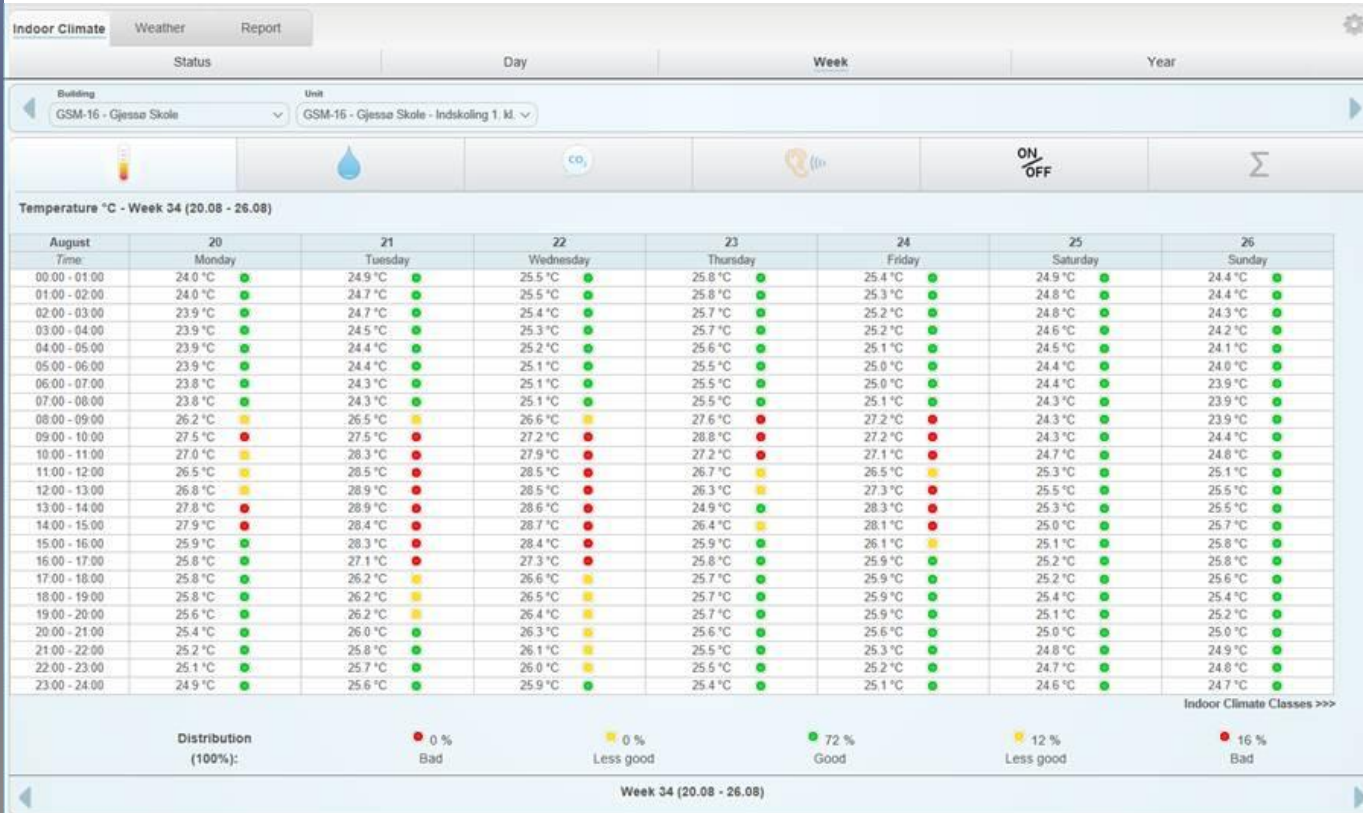
- 27. august 2018, totalt overskyet, Tude 12-17 oC, naturlig ventilation



Klasselokale (Gjessø, Silkeborg)



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Teoretisk studie viser potentiale for adiabatisk køling



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Princippet er dog ikke særlig udbredt i EU
- Der kan registreres en stigende brug af komfortkøling i EU

Technical potential of evaporative cooling in Danish and European condition

Michal Pomianowski*, Christian Hede Andersen, Per Heiselberg

Aalborg University, Sofiendalsvej 11, Aalborg 9200, Denmark

Abstract

Evaporative cooling is a very interesting high temperature cooling solution that has potential to save energy comparing to refrigerant cooling systems and at the same time provide more cooling reliability than mechanical or natural ventilation system without cooling. Technical cooling potential of 5 different evaporative systems integrated in the ventilation system is investigated in this article. Annual analysis is conducted based on hourly weather data for 15 cities located in Denmark and 123 European cities. Investigated systems are direct, indirect, combinations of direct and indirect system and one with desiccant wheel. Obtained results indicate which system would be sufficient to provide necessary cooling load in order to maintain acceptable indoor temperature for specified range of heat gains and design air change rates.

Udførte forsøg i Holland



TEKNOLOGISK
INSTITUT

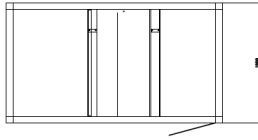
Adiabatische forsøg udført i Holland



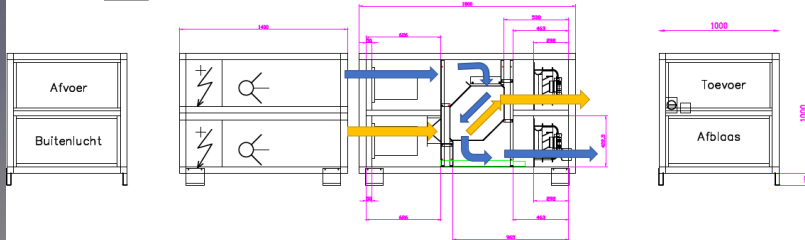
TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Ventilationsaggregat (th): 2000 m³/h og H = 1600 mm
- Ventilationsaggregat (tv): 1200 m³/h og H = 1000 mm

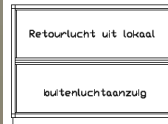
HCP 1200
Aussenaufstellung



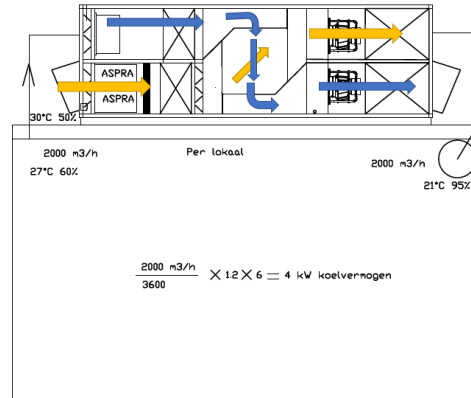
Links



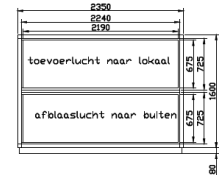
LZA



VA



BZA



Adiabatiske forsøg udført i Holland



TEKNOLOGISK
INSTITUT

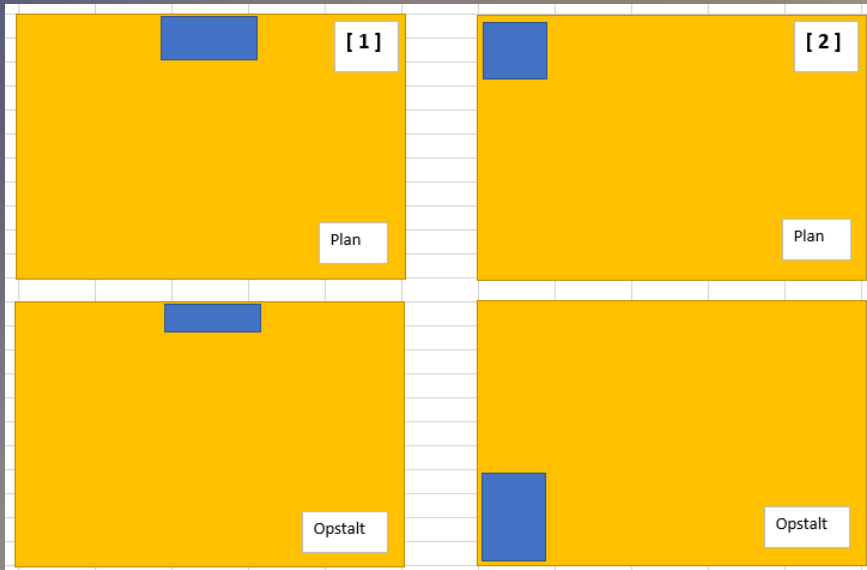
Ashrae climate data Amstedam					101325 Pa	Altitude 0 m				HCP EVAP
Weerdata Ambient					Return condition			Supply condition		
Hours	TempDryBulb	AverageRH	TempWetBulb	TempDewPoint	TempDryBulb	AverageRH	TempWetBulb	TempDryBulb		
439	16	80	13,9	12,6	24	48,9	16,9	16,9		
395	17	80	14,9	13,6	24	52,2	17,4			
304	18	76	15,3	13,7	24	52,5	17,5			
216	19	72	15,8	13,9	24	53,2	17,6			
144	20	71	16,6	14,6	24	55,7	18,0	18,0		
116	21	68	17,1	14,9	24	56,8	18,1			
110	22	65	17,6	15,2	24	57,9	18,3			
76	23	59	17,6	14,6	24	55,7	18			
42	24	63	19,0	16,6	24	63,3	19,1	19,1		
24	25	61	19,6	17,0	24	64,9	19,3			
20	26	57	19,9	16,9	24	64,5	19,3			
11	27	52	19,9	16,3	24	62,1	18,9			
7	28	53	20,9	17,6	24	67,4	19,7	19,7		
6	29	44	20,1	15,5	24	59	18,5			
2	31	45	21,9	17,7	24	67,9	19,8			
1	32	43	22,2	17,9	24	68,7	17,9			
2	33	39	22,2	17,2	24	65,7	19,5	19,5		

Salgsbetingelser i Danmark



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Hvilken løsning kan umiddelbart sælges i Danmark [1] eller [2]?
- Baseret på mindre undersøgelse kan kun [1] umiddelbart sælges
- Derfor vil en salgbar løsning (ventilationsaggregat) blive presset på højden



Indledende simuleringer og forsøg udført i Danmark



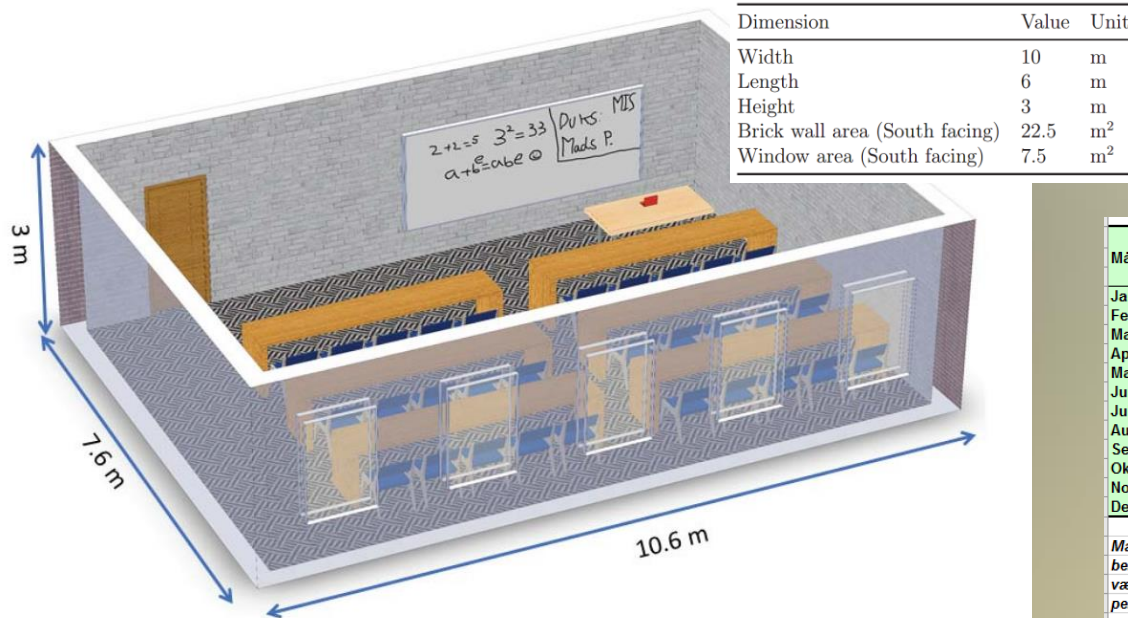
TEKNOLOGISK
INSTITUT

Termiske simulering af klasselokale



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Udført af Alexander Lind (AAU & NB Ventilation), 30 elever og 1 lærer, juli måned (DRY)



Heat Source	Value	Unit
People	72	W/person
Equipment	50	W/person
Lights	9.68	W/m ²

Måned	Solindfald på en klar dag [Wh/m ²]				Udetemperatur [°C]	
	Døgnsum for vindue med orientering:				Maks. døgn- middel	Typisk variation
	Syd	Øst/vest	Nord	Vandret		
Januar	2880	410	180	430	3,9	5,0
Februar	4150	1390	510	1420	4,2	6,0
Marts	4320	1990	710	2590	6,3	7,5
April	3840	3430	1210	4800	11,2	9,0
Maj	3140	3720	1530	5450	15,9	11,5
Juni	3020	3580	1730	5780	20,0	12,0
Juli	2760	3650	1610	5540	21,0	12,0
August	3500	2780	1110	3790	20,5	11,0
September	3410	1990	770	2930	16,9	9,0
Oktober	3740	1340	520	1610	13,7	7,0
November	3050	700	260	700	10,0	5,0
December	2160	280	130	310	6,0	5,0

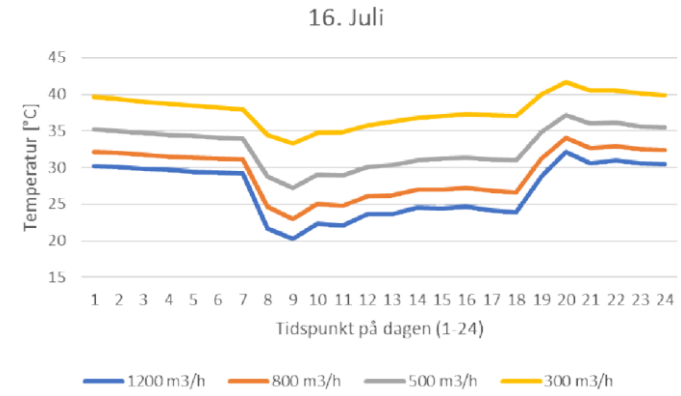
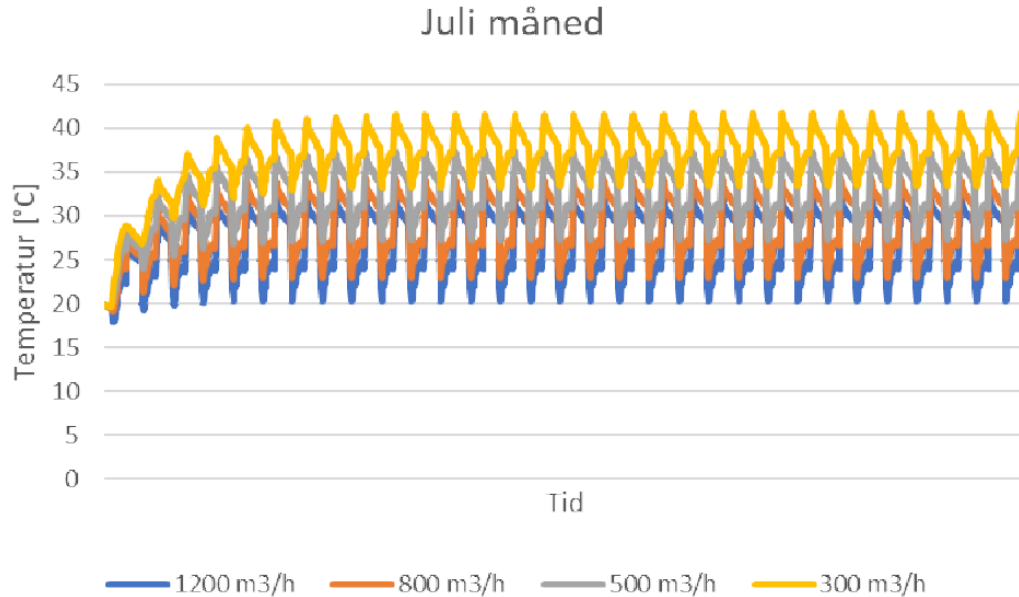
Maksimalde værdier af døgnsum for solindfald gennem normal 2 - lags rude beregnet med edb - programmet tsbi3 ud fra Referenceårets vejrdata samt værdier for maksimale døgnmiddel og typiske døgnvariationer af udetemperaturen på klare dage i de enkelte måneder ud fra 15 års vejrdata.

Termisk simulering af klasselokale



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Udført af Alexander Lind (AAU & NB Ventilation), 30 elever og 1 lærer, juli måned (DRY)
- 1200 m³/h svarer til et luftskifte på knap 5 gange pr. time



I	750 ppm ->	1450 m ³ /h
II	900 ppm ->	1000 m ³ /h
BR18	1000 ppm ->	850 m ³ /h
III	1200 ppm ->	650 m ³ /h

Prototypeventilationsaggregat til 1600 m³/h klar til test



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Prototypeaggregat - befugtning



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Omfang af laboratorietest



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Ekstern lækage
- Intern lækage
- SEL kurver
- Tør temperaturvirkningsgrad
- Adiabatisk køleperformance

Ekstern- og intern lækagetest



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Hej CD

Hermed resultater fra lækagetesten, testdata markeret med gult er iht EN308

$$(98,18/1600) \times 100 = 6 \% !$$

Ekstern			Intern	
Tryk	Lækage		Tryk	Lækage
Pa	m3/h		Pa	m3/h
100	19.57		50	38.40
250	34.95		100	59.29
400	47.27		250	98.18

EN308 max 3% lækage i forhold til
deklarerede nominel flow

Tør temperaturvirkningsgrad



TEKNOLOGISK
INSTITUT

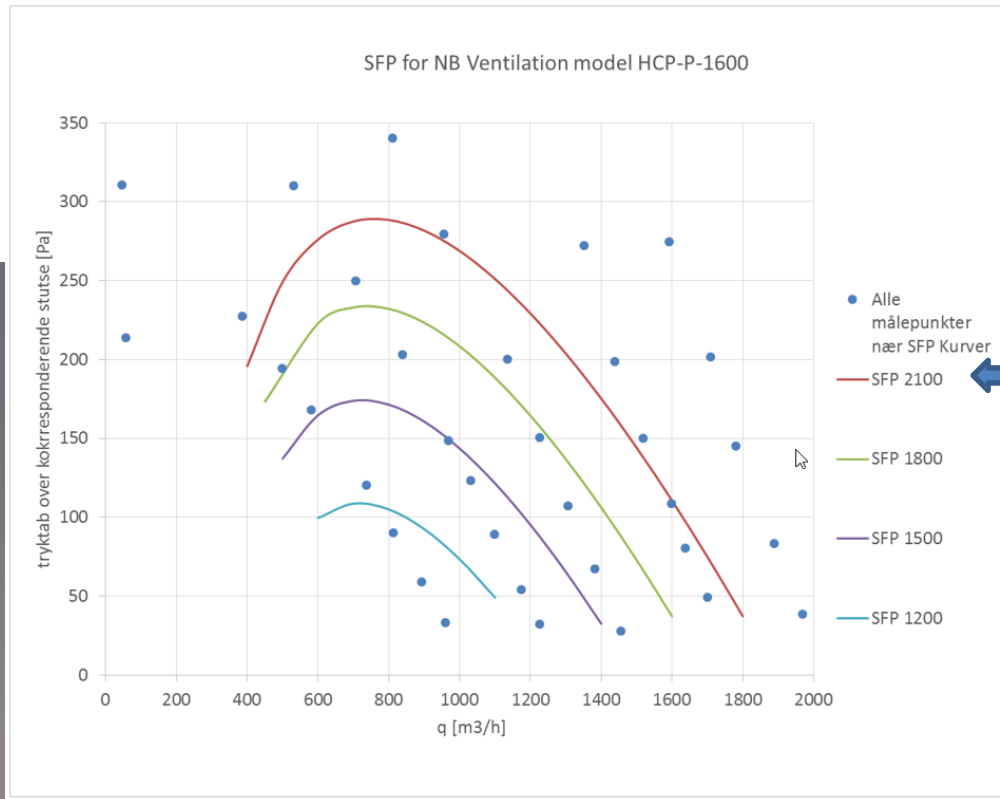
- EU-1253: fra 1. januar 2016: mindst 0,67 og fra 1. januar 2018 mindst 0,73

m3/h	eta_vgv
839	0,70
1138	0,72
1516	0,72
1866	0,72

SFP (SEL) kurver



TEKNOLOGISK
INSTITUT

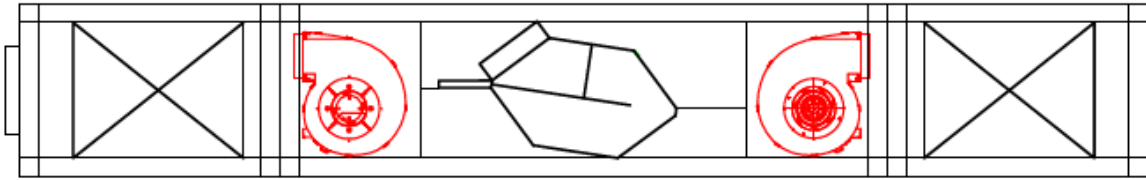


BR2018

Har vgv hældning betydning for køleeffektivitet?



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Defineret til ca. 0 grader

defineret til ca. 90 grader



Laboratorieopstilling



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- 0 grader til 25 grader hældning af prototypeaggregat {indtil videre!}



Indledende testkonditioner – adiabatisk køling



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- DS 469 Varme- og køleanlæg i bygninger
- Den dimensionerende udetemperatur for mekanisk køling fastsættes til 26 oC
- Den dimensionerende udeluftfugtighed for mekanisk køling fastsættes til 60 % RF
- Den dimensionerende rumtemperatur for køling i almindelige rum, fx kontorer, arbejdsrum, undervisningsrum, opholdsrum i institutioner, forsamlingsrum samt butikker, udstillingslokaler, biografteatre og teatre, fastsættes normalt til 26 oC
- Vi har som udgangspunkt valgt disse konditioner indtil videre til laboratorietesten

Indledende test/målinger



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Kølekapaciteten er p.t. ikke helt tilfredsstillende

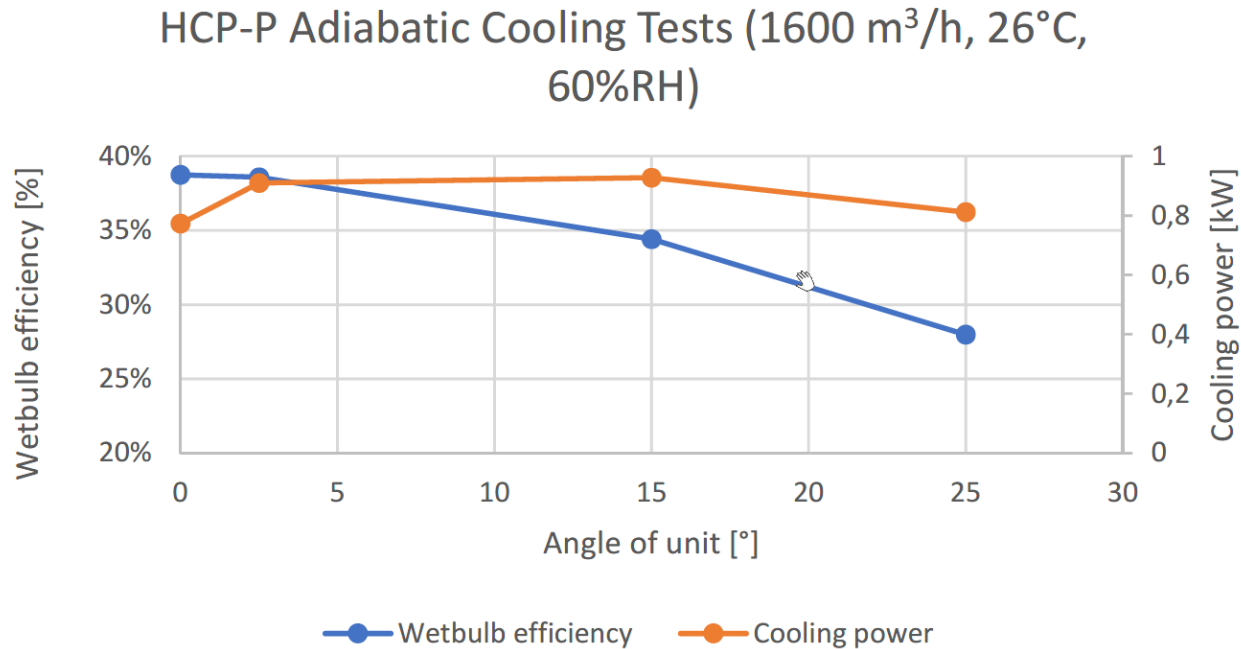
	Outdoor air			Vandflow	vandtemperatur	vandtryk (absolut tryk)	vandflow afløb
	Dry bulb temperature	Dew point temperature	Relative humidity				
1600 m3/h - hældning = 0 grader	27.1	21.7	72.4	68	27.1	4.88	47
1600 m3/h - hældning = 2.5 grader	27.2	20.8	68.4	75	25.1	4.80	68
1200 m3/h - hældning = 2.5 grader	26.6	19.8	66.4	72	28.0	4.80	64
1600 m3/h - hældning = 15 grader	26.7	19.1	63.2	64	26.9	4.94	56
1600 m3/h - hældning = 25 grader	26.2	18.3	61.9	45.3	25.7	4.80	39.8
	Supply air						
	25.6	21.6	78.9				
	25.5	20.8	75.5				
	24.9	19.8	73.4				
	25.0	19.1	69.9				
	24.7	18.3	67.6				
	Exhaust air						
	26.3	21.8	76.7				
	26.3	21.0	72.6				
	26.0	20.2	70.9				
	25.4	19.3	69.2				
	25.0	18.4	66.8				

T_våd
23,2
22,6
22,0
21,2
20,5

Indledende test/målinger



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Det videre arbejde i projektet



TEKNOLOGISK
INSTITUT



- Forsøg med endnu større hældning af ventilationsaggregat
- Forsøg med andre typer dyser og dyseplacering
- Hvis veksleren kræver markant hældning for høj køleeffektivitet må der sandsynligvis tænkes i et nyt ventilationsaggregat design
- Med udgangspunkt i opnået højere køleeffektivitet skal der udvikles generel styringsstrategi og styringsstrategi for selve den adiabatisk køling
- Herefter skal ventilationsaggregatet langtidstestes i et klasselokale, hvor der måles diverse parametre på ventilationsaggregatet og diverse atmosfæriske- og termiske indeklimaparametre i selve klasselokalet

SLUT



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Tak for opmærksomheden!