

Aalborg Universitet



Vurdering af indeklimaet i skoler - baseret på indeklimamålinger

Markvart, Jakob

Publication date:
2018

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Markvart, J. (2018, maj). Vurdering af indeklimaet i skoler - baseret på indeklimamålinger.

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 -

Take down policy

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



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

BYGNINGERS ENERGIEFFEKTIVITET,
INDEKLIMA OG BÆREDYGTIGHED

A.C. MEYERS VÆNGE 15
2450 KØBENHAVN SV
SBI.DK
CVR 29 10 23 84

+45 9940 2525
JAKOB MARKVART
JAM@SBI.AAU.DK

DATO 20. 04. 2018

EUDP Projekt - Skolerenovering i en
Helhed

Vurdering af indeklimaet i skoler

-baseret på indeklimalmål

Introduktion til skrivelsen

Dette notat og tilhørende excel-værktøj er et delprodukt tiltænkt at skulle indgå i et større evalueringsværktøj til brug i forbindelse med Projektet 'Skolerenovering i en Helhed'.

Det tilhørende excel-værktøj kan rekvireres ved henvendelse til:

jam@sbi.aau.dk

Øvelsen, som dette notat vedrører, gik ud på at udvikle en metode til at vurdere de forskellige målte indeklimate parametre fra mobile indeklimate sensorer på en 5 trins skala fra -2 til 2, hvor 0 på skalaen er neutralt. Forslaget til vurderingen baserer sig på målte parametre, herunder CO₂ koncentration, temperatur, relativ fugtighed og støj. Metoden er udtænkt til at skulle indgå i et samlet evalueringsværktøj til brug i EUDP-projektet 'Skolerenovering i en helhed', men vil også kunne bruges separat. Notatet og excel-værktøjet tager afsæt i kontinuerlige indeklimalmål, og hvordan disse kan bruges i forbindelse med at evaluere indeklimaet i skolelokaler. Valg af metoden beskrives i første del af notatet og i anden del følger konkrete eksempler fra projektet. Eksemplerne evaluerer indeklimaet i 4 testlokaler før og efter for forskellige renoveringsinitiativer og ét referencelokale på Skovlunds skole Nord.

Indhold



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Introduktion til skrivelsen	1
Del 1: Beskrivelse af metoden.....	4
Baggrund	4
Formål.....	4
Metode - Hvornår skal der måles?	4
Placering af måleenhederne.....	6
Indeklima parametrene vægtning	6
Beregning af en evalueringsscore	7
Eksempel på beregning af evalueringsscore:	7
Luftkvalitet	8
Evaluerings af luftskiftet på baggrund af målt CO ₂ koncentration	8
CO ₂ koncentrations målinger til brug i Evaluerings-værktøjet.....	9
Temperatur forhold	10
Evaluerings af termisk komfort på baggrund af målt rumtemperatur	10
Målinger af rumtemperaturen til brug i Evaluerings-værktøjet	11
Relativ luftfugtighed	12
Evaluerings af luftfugtighed på baggrund af den målte relative luftfugtighed	12
Målinger af relativ luftfugtighed til brug i Evaluerings-værktøjet.....	12
Støj	13
Evaluerings af støj på baggrund af "A-vægtede" støjmålinger.....	13
Målinger af støj til brug i Evalueringsværktøjet.....	14
Lysforhold	14
Evaluerings af lysforholdene i et klasselokale	14
Del 2: Eksempler på evalueringer af 5 lokaler på Skovlundeskole Nord - før og efter tiltag	18
Introduktion til evalueringerne.....	18
Lokale 11 – Hybrid-ventilation og LED-belysning, Resultat	19
Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 11)?	23
CO ₂	23
Temperatur.....	24
Relativ fugtighed	25
Støj	25
Lokale 12 - Vinduesåbnere med manuelt tryk, Resultat.....	26
Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 12)?	29
CO ₂	29
Temperatur.....	29
Relativ fugtighed	29
Støj	29
Lokale 13 - Adfærdspåvirkning, Resultat.....	31
Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 13)?	33
CO ₂	33
Temperatur.....	33
Relativ fugtighed	33
Støj	35
Lokale 15 - Decentral ventilation med sive loft og LED-belysning, Resultat.....	36
Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 15)?	38
CO ₂	38
Temperatur.....	39
Relativ fugtighed	39
Støj	39
Lokale 16 – Referencelokale, Resultat.....	40
Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 16)?	42
CO ₂	42
Temperatur.....	42
Relativ fugtighed	42

Støj	43
NOTE ang. data fra CTS-anlæg versus uafhængige målinger.	44
Litteratur	45
Bilag 1: Skovlunde skole, afdeling Nord, beskrivelse, lokaleoversigt og udførte tests.....	46
Lokaleoversigt og udførte tests.....	50
Oversigt over skole og lokaleplacering for test af løsningsforslag.....	50



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN



Baggrund

Indeklimaet i bygninger, herunder temperatur, ventilation, støj, fugtighed og belysning påvirker i høj grad sundheden og komforten for brugerne. Undersøgelser peger ligeledes på, at omkostningerne for samfundet ved et dårligt indeklima påvirker produktivitet, indlæring og sundhed, og at disse omkostninger er betydelig højere end prisen på den energi der bruges i samme bygning. Set ud fra denne synsvinkel er kriterierne der sættes op for et godt indeklima væsentlige. Dette gælder også for kriterier ifm. udviklingen af et evalueringsværktøj for indeklimaet i skoler.

Der findes forskellige nationale og internationale standarder som specificerer kriterier for termisk komfort og luftkvalitet (EN ISO 7730, CR1752, DS/EN 15251). Det er med udgangspunkt i disse standarder, at udviklingen af denne del af Evalueringsværktøjet har sit afsæt. Hertil kommer inspiration fra hvad de kommercielle indeklimatealere og CTS anlæg (Central Tilstands-kontrol og Styling) selv leverer af målerapporter. Disse rapporter har sine begrænsninger pga. flere forhold. Typisk genererer disse rapporter nogle øjebliks-grafer og gennemsnitsværdier, der ikke altid er brugbare til at vurdere indeklimaet for en aktuel brugsperiode. Nogle gange måles indeklimateparameteren som f.eks. temperaturen i selve anlægget frem for i lokalet hvor brugeren opholder sig.

Det er blevet nemmere at foretage indeklimatealinger inden for de sidste par år. Dette er sket i takt med, at flere indeklimatealeenheder nu er blevet tilgængelige til en overkommelig pris (pris: 2650 kr/stk ved køb af 10 stk. IC-meter af gsm-type, anno 2017). Disse indeklimatealeenheder har forskellige sensorer som registrerer forskellige indeklimateparametre som temperatur, relativ fugtighed, CO₂ koncentration og støj. Logning af data sker på en it-plattform og med logningsintervaller på typisk 5 minutter eller når der sker ændringer. Det er derfor relativt nemt at få et nu-og-her oversigtsbillede af, hvordan et lokales indeklima er.

Formål

Formålet med denne del af evalueringsværktøjet er med udgangspunkt i indeklimatealinger at kunne evaluere indeklimaet i et lokale. I praksis vurderes det om et lokale i en given bygning matcher det brugsmønster, som lokalet er udsat for. Der ønskes et mål for om indeklimaet i det aktuelle lokale kan vurderes at være tilstrækkeligt ved de givne omstændigheder, ift. anbefalinger for, hvad der er et komfortabelt og sundt indeklima for brugeren.

Metode - Hvornår skal der måles?

Ideelt set skal målingerne foretages kontinuerligt over en længere periode og helst mere end et år. Dette gør det muligt at udvælge en repræsentativ uge og tidsinterval at tage udgangspunkt i. Ofte vil der forekomme uregelmæssigheder i brugsmønstret af lokalet, og dette er man nødt til at tage højde for. I analyserne som er medtaget som eksempel i dette notat blev ugerne udvalgt efter hvornår spørgeskemaer ang. oplevet indeklima blev besvaret af elever og lærerne. Ugerne er derfor nøje udvalgt med det formål at kunne sammenligne en før- og efter-situation i forbindelse med en renovering og derudover at kunne sammenligne det målte med det rapporterede oplevede indeklima.



Indeklimaet bør, med udgangspunkt i dette notats formål, som hovedregel vurderes ud fra hvad der er godt for brugerne, dvs. de mennesker der opholder sig i rummene. CO₂ koncentration og støj bør vurderes i perioden, hvor der er aktivitet i rummene f.eks. en udvalgt uge fra mandag til fredag mellem kl. 8 og 15 for en alm. skole eller på baggrund af tidspunkter med aktivitet. Det samme gælder for temperatur og luftfugtighed, men disse parametre vil også give mening at analysere over hele døgnet da disse har stor betydning for energiforbruget og bygningernes sundhed. Vi har ifm. udvikling af metoden beskrevet, hvad man bør fokusere på for at opnå en høj indeklimatekomfort, og mindre på hvad der er hensigtsmæssigt i henhold til energiforbrug. Vurdering af energiforbruget bliver i Skolerenoveringsprojektet vurderet separat.

Punkter der er væsentlige at tage i betragtning for valget af periode og tidsintervaller der analyseres på er:

- Rum kan afvige i volumen. Brug af lokalet kan være forskelligartet og antallet af brugere være forskelligt. Rumvolumen i forhold til antallet af personer får betydning for eks. CO₂ koncentrationen og behovet for luftskifte.
- Udendørs-vejret har stor betydning når man sammenligner forskellige perioder. Dette har især betydning ved energiforbrug-betragtninger, men også ved vurdering af komfort afhængig af årstid hvor problemerne kan ændre sig. Det være sig om det er koldt eller varmt der kan forårsage forskelle i vindues-åbnings-frekvensen.
- Lokalets placering i bygningen er væsentlig i forhold til det aktuelle udendørs-vejr og kan have større eller mindre betydning ift. varme og lys afhængig af tidspunktet på dagen. Lokaleplacering er ligeledes vigtig for evaluering af evt. udefra kommende støj fra f.eks. en skolegård.

Indeklima-måleinstrumenter, som f.eks. et IC-meter, har typisk faste intervaller hvormed der måles og logges data. Typisk er intervallerne mellem logningerne af data på 5 min., men også logning ved hver ændring af en parameter kan være aktuelt. Datahåndteringen vil her være forskellig, men burde ikke have betydning for resultatet. For at anvende notatets tilhørende excel-værktøj, så skal data dog have struktur som for data logget med IC-meter.

Ovenstående punkter er taget med i betragtningen og vil yderligere blive behandlet i underafsnittene for målte indeklimateparametre medtaget: CO₂ koncentration, temperatur, relativ luftfugtighed og støj. Lyset er svært at måle og ikke mindst at sætte på formel hvorfor denne parameter vil blive behandlet separat. I dette notat er der dog opstillet nogle punkter der er væsentlige for et godt lys-miljø.

Målet med metoden er at kunne vurdere indeklimaet og placere det på en 5 trins skala fra -2 til 2, for hvordan rummet præsterer i forhold til rummets brug og antal brugere. Dette gør at tiden hvor rummet bruges er væsentlig. Tidsintervaller kan favorisere de rum, der i mindre grad bliver brugt, når gennemsnits værdier beregnes f.eks. for luftskifte vurderinger, hvorfor brugen af lokalerne vil skulle inddrages og overvejes ved sammenligninger. Vælges en periode hvor rummet ikke bruges (Se: *Note), vil rummet ikke blive belastet og rummets beregning af hvordan det performer vil fremstå mere positiv end det måske er.

*Note: IC-meter (www.ic-meter.com) beregner et "Activity index" der vil være afhængig af automatisk vindues-åbning/mekanisk ventilation, hvorfor dette kun anbefales anvendt til evaluering af rum uden automatik, og derfor ikke vurderes anvendeligt i denne sammenhæng.

Det er væsentligt at placere måleenhederne hensigtsmæssigt. Her er sund fornuft altafgørende for at få repræsentative indeklimate målinger, men også i forhold til mere praktiske forhold som rengørings-praksis mv. Gode råd er typisk beskrevet fra producenternes side (www.ic-meter.com), men placering bør være i en "hoved"-højde og på et sted f.eks. en væg der som eksempelvis ikke påvirkes af varme fra radiator eller elektronik, direkte sol eller træk pga. placering nær et vindue eller en dør. Dertil kommer, at man så vidt muligt skal lave foranstaltninger, der gør, at strømforsyningen til måleenhederne ikke nemt afbrydes, da man herved risikerer at miste data. Dette kan være en udfordring på skoler, hvis der ikke er så mange stikkontakter og børnene afkobler måleinstrumenterne for f.eks. at oplade mobiltelefonen. En uhensigtsmæssig placering vil kunne betyde ubrugelige data eller en forkert vurdering af det aktuelle indeklima i rummet. Derfor er en kritisk vurdering af måleenhedernes placering set i forhold til målingerne nødvendig inden en evalueringsperiode startes.

Indeklima parametrenes vægtning

Indeklimaparametrene som ønskes vurderet og vægtet for hvert lokale vil blive beskrevet i separate afsnit for CO₂, temperatur, fugtighed og støj. Baggrunden for vægtningen og baggrunden for hvilke intervaller eller niveauer for de enkelte parametre som foreslås her, vil blive behandlet under hvert beskrevet parameter/afsnit. Vægtningen baserer sig på, at indeklimateparametrene skal ligge inden for hvad der i gældende bygningsreglement stilles krav om. Gør de det, så vil indeklima parameteren målt i lokalet få en positiv vægtning og hvis ikke vil den få en negativ vægtning i vurderingen.

Nedenfor er en overordnet tabel med niveauer og vægtningen, som anvendes i projektet 'Skolerenovering i en helhed' (Tabel 1). Andre niveauer vil kunne vælges afhængig af f.eks. årstid eller lokalebrug, lige som at vægtningen vil kunne tilpasses éns egen case. Dette er muligt at gøre i notatets tilhørende excel-fil, så det med små ændringer til en vis grad er muligt frit at vælge niveauer og vægtning.

Det er vigtigt, at forslaget som er anvendt her ikke tages for at være den endegyldige sandhed, da det i nogle tilfælde kan resultere i forkerte konklusioner. Vurdering af indeklima og ikke mindst om et lokale lever op til gældende krav er komplekst. Metoden her er IKKE tiltænkt at skulle bruges til at verificere om et lokale lever op til gældende krav. Metoden vil kunne give en indikation om hvor der med fordel kan sættes ind for at forbedre indeklimaet.

Tabel 1: Tabel med overordnede valgte niveauer og vægtninger af indeklimateparametre til brug for evaluering af klasselokalerne i projekt 'Skolerenovering i en Helhed's case på Skovlundeskole Nord.

Indeklimaparametre / vægtning for måling med IC-meter	Uacceptabelt	Skidt	Mindre godt	Godt	Mindre godt	Skidt	Uacceptabelt
	-80	-2	0	2	0	-2	-80
Frisk luft (CO ₂), ppm				<900	900-999	1000-1999	≥2000
Temperatur, °C	<17	17-19	19-21	21-25	25-27	27-29	≥ 29
Relativ fugtighed, %		<20	20-30	30-50	50-70	≥70	
Støj, dB (A)				<40	40-60	≥60	

Beregning af en evalueringsscore

Alle målinger i en udvalgt periode anvendes (Se afsnittet 'Metode – Hvornår skal der måles'). Den %-del af målingerne der falder inden for intervallerne i tabel 1 vægtes med angivne vægtnings-værdier (tal med fed skrifttype, tabel 1). Den samlede score for alle målinger i den valgte periode klassificerer den målte indeklimaparameter jf. farvekoderne ud fra en skala, hvor rød er negativt, gul er neutralt og grønt er positivt.

Eksempel på beregning af evalueringsscore:

En skoleuge (mandag til fredag) som er repræsentativ for årstiden udvælges. Tidsintervallet bestemmes ud fra det tidsrum, hvor rummene anvendes og eleverne har normal skolegang.

Den valgte periode, hvor lokal(-et)/-erne vurderes at være i brug: Uge 5

Kl. 8-15 mandag til fredag = 5 dage af 7 timer x 60 min = 2100 min. (5 min logninger ~ 420 logninger)

Eksemplet tager udgangspunkt i CO₂ målingerne i et lokale, men beregningen for øvrige indeklimaparametre foregår på samme vis.

Eksempel på beregning af score for CO₂ koncentrationen. Her er der valgt kun at vurdere og vægte i 3 kategorier: Godt, CO₂ koncentrationen < 1000 ppm (score-vægt: 2 point); Skidt, CO₂ koncentrationen > 1000 ppm og < 2000 ppm (score-vægt: -2 point); og Uacceptabelt, CO₂ koncentrationen > 2000 ppm (score-vægt: -80 point).

Indeklima-kategorier	Tid i minutter (logninger x 5 min)	% tid i periode	Samlet gns. score (% tid x værdi)
Godt (vægtning = 2) CO ₂ koncentrationen < 1000 ppm	1575 min (~26 timer)	75	(Godt %tid * 2) + (Skidt %tid * -2) + (Uacceptabelt %tid * -80) = -2,12 (Hvis Samlet gns. score < -2,5, så sættes scoren til -2,5 = Uacceptabelt)
Skidt (vægtning = -2) CO ₂ koncentrationen > 1000 ppm and < 2000 ppm	441 min (~7 timer)	21	
Uacceptabelt (vægtning = -80) CO ₂ koncentrationen > 2000 ppm Denne værdi skal belastes den samlede score hvis forekommende!	84 min	4	
Samlet for perioden:	1575+441+84=2100 min (~420x5)	100	

Resultatet i viste eksempel er en samlet gennemsnitlig score der er mindre end -2 (beregnet til -2,12), hvilket indikerer at indeklimaet, mht. de målte CO₂ koncentrationer i lokalet, er uacceptabelt til lokalets belastning i den pågældende periode og derfor bør der gøres noget.

Forklaring på farvekoderne anvendt i tabel 1 og i eksemplet ovenfor er som følger:



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

- Hvis "Samlet score for perioden" < -2 , så er indeklimaet uacceptabelt til den belastning rummet har været udsat for og der bør gøres noget.
- Hvis "Samlet score for perioden" < 0 og > -2 , så er indeklimaet utilstrækkeligt til den belastning rummet har været udsat for.
- Hvis "Samlet score for perioden" > 0 , så er indeklimaet acceptabelt til den belastning rummet har været udsat for.

Bemærk: Det er vigtigt ved denne type af evaluering, at man har forståelse for, hvad der ligger bag evalueringsresultatet eller den beregnede overordnede score. En score er et vægtet gennemsnit, der ved beregning kan placere sig som værende acceptabelt, uden nødvendigvis at være det og *vice versa*. At spørge brugerne i supplement til målinger anbefales!

Luftkvalitet

Evaluering af luftskiftet på baggrund af målt CO_2 koncentration

CO_2 er en gas vi let kan måle, hvorfor CO_2 koncentrationen typisk bliver brugt som mål for luftkvaliteten i et lokale. At der er et luftskifte er vigtigt for at der ikke ophobes sundhedsskadelige gasser, herunder afgang fra byggematerialer og inventar. Der er for skoler og kontorer især fokus på forringelse af luftkvaliteten forårsaget af rummets brugere, på trods af at andre ikke naturlige gasser formentlig er mere skadelige.

Ventileres der ikke nok, vil koncentrationen af andre potentielt sundhedsskadelige gasser forøges ved tilstedeværelse (såsom PCB, VOC'er og Radon, men også gasser vi ikke kender til). Afgasningen fra møbler og byggematerialer til indeluften vil modsat til CO_2 koncentrationen ikke stige fordi der er flere mennesker i lokalet. Derfor er der ikke direkte sammenhæng mellem den målte CO_2 koncentration og forurening af luften som følge af afgasning fra byggematerialer og inventar. Parfume, cigaretrøg, lugte fra madpakker mv. er andre kilder til luftforurening, der følger personbelastningen og/eller skolens politikker. Her vil forskellige adfærdsregulerende tiltag kunne overvejes.

Hvor om alting er, så er CO_2 den gas vi udånder, hvorfor koncentrationen heraf i et rum hænger nøje sammen med det antal mennesker og det luftskifte der er i et rum. I et lukket undervisningslokale fyldt med elever går det relativt hurtigt hvormed CO_2 koncentrationerne stiger til definerede uacceptable niveauer for indeklima. Andre lugte forårsaget af menneskelig aktivitet vil intensiveres i takt med personbelastningen og vil følge stigningen i CO_2 koncentrationen.

I sig selv anses CO_2 koncentrationerne op til 10.000 ppm ikke for at være farlige og heller ikke andre naturlige menneskelige gasser (fra prutter og svedlugt). CO_2 i moderate koncentrationer ($< 0,5\%$) har dog i senere studier, vist sig at have negativ indvirkning på menneskelig ydeevne (Satish et al., 2012). Af denne årsag bør CO_2 måske vurderes, som en forureningskilde af indeklimaluften på lige fod med andre forureningskilder. Der er regler for at CO_2 koncentrationen kun må overstige 0,1 % "kortvarigt". Tolkningen af 0,1 % er jævnligt til diskussion, da afrunding reelt betyder at grænsen for tilladte CO_2 koncentrationer ligger på 1499 ppm, og ikke ved 1000 ppm, som 0,1 % reelt svarer til. For bygninger omfattet af den frivillige bygningsklasse 2020 gælder, at man i kontorer, skoler og institutioner skal sikre, at indeluftens CO_2 indhold ikke overstiger 900 ppm i længere perioder (Bygningsreglement BR15, 7.2.5.1, stk. 11).



Tilgængelige loggere af indeklimamålinger på markedet (anno 2017), logger typisk data med 5-minutters intervaller. I mindre rum med mange mennesker kan CO₂ koncentrationen stige kraftigt på få minutter. En "kortvarigt" overskridelse accepteres derfor som oftest, da systemerne skal kunne nå at reagere på en ændring i lokalebelastningen. I sådanne tilfælde bør "kortvarigt" som minimum defineres som værende af 5 minutters varighed. Defineres grænsen eksempelvis som værende ved 1000 ppm, så må det accepteres at have én logning > 1000 ppm, men typisk ikke to på hinanden målinger med CO₂ koncentration > 1000 ppm (svarende til 10 minutter). Denne accept er med baggrund i, at der er en vis responstid før virkningen af systemerne kan registreres. Vi foreslår at man ved brug af IC-meter (eller tilsvarende loggere brugt som kontrol målings-værktøj), beregner antal logninger over x antal ppm efter første logning (forekomst) med CO₂ koncentration > x antal ppm og at dette antal ganges med 5 minutter for beregning af tiden, hvor kravet ikke overholdes.

Hvis to på hinanden logninger begge er større end den fastsatte grænse (eks. 1000 ppm), så vil rummets brug kunne antages ikke at matche kravene til indeklimaet for det pågældende rum. Det skal bemærkes at det er til diskussion hvad betegnelsen "kortvarigt" dækker over og det vil komme an på den konkrete situation. Udgangspunktet bør være i tiden under almindelig brug, dvs. når lokalet ikke er ekstraordinært belastet, som f.eks. ved et elev- og forældre-arrangement. CO₂ koncentrationer > 2000 ppm antages i inde-værende projekt som værende uacceptable.

Vejledningen beskrevet her er (kun) tiltænkt at kunne bruges som en *indikator* for om et givent lokales brug lever op til de gældende krav, der stilles til indeklimaet.

CO₂ koncentrations målinger til brug i Evaluerings-værktøjet

Som et mål for luftkvalitet og hvor godt et klasselokale performer, anvendes i dette projekts case på Skovlundeskole Nord, at beregne tid (antal logninger x 5 minutter), hvor CO₂ koncentrationen er over eller under 1000 ppm, når lokalet er i brug. Er koncentrationen over 1000 ppm vægtes målingen med værdien -2 og er den under 900 ppm vægtes den med værdien 2. værdier mellem 900 og 1000 ppm vægtes neutralt. Simplificeringen af vægtningen er ikke helt fair jf. enighed om at kort tid med CO₂ koncentrationer > 1000 ppm bør accepteres, men det er gjort for at lette håndteringen i beregningerne. Dette vil kunne forsvares da usikkerhederne i vurderingen kan være betydelig og dette vil være afhængig af den aktuelle case. Resultatet vil formentligt ikke være forskelligt fra, om man ændrede skæringsværdien for acceptabelt CO₂ koncentration til f.eks. at være ved 1050 ppm. I den sammenhæng er det værd at huske på, at usikkerheden på mange CO₂ sensors målinger til dato kan være på +/- 50 ppm eller højere og at placeringen af følerne kan have stor betydning for målingerne. Man skal i øvrigt være opmærksom på, at der typisk er mulighed for at CO₂ sensoren indstilles til autonomt at foretage en intern kalibrering omtrent ugentligt. I så fald foretages der en intern kalibrering af CO₂ sensoren, så at den laveste registrerede CO₂ måling over tid bruges til indregulering af sensorens minimum CO₂ koncentration (uden-dørs niveauet på ca. 400 ppm). Dette er kun praktisk hvor der med mellemrum er foretages et totalt luftskifte der hvor sensoren er placeret.

For beregning af en samlet score og til brug som input til Evalueringsværktøjet medregnes tid med koncentrationer over 2000 ppm med en ekstra straf, da CO₂ koncentrationer over 2000 ppm vurderes uacceptable. Hvor man vælger at placere grænserne, afhænger af casens/bygningsdriftens fastsatte krav til indeklimaet.

Følgende intervaller for CO₂ koncentrationerne og vægtning er valgt:

Tabel 2: Tabel med overordnede valgte intervaller og vægtninger af CO₂ koncentrationer til brug for evaluering af klasselokalerne i case på Skovlundskele Nord.

Indeklimaparametre / vægtning for måling med IC-meter	Uaccepta- belt	Skidt	Mindre godt	Godt	Mindre godt	Skidt	Uaccepta- belt
	-80	-2	0	2	0	-2	-80
Frisk luft (CO ₂), ppm				<900	900-999	1000- 1999	≥2000

Den beregnede score eller vægtning, der er valgt og foreslået beregnet vil dog på grund af usikkerhederne ikke kunne danne grundlag for vurdering af om lokalet lever op til indeklima kravene, dvs. om rummets brug matcher rummets indeklima-formåen mht. luftkvalitet (jf. bygningsreglementet). Man skal tillige være varsom med sammenligninger på tværs af årstid, tid på døgnet, forskellige lokaler og belastning.

Temperatur forhold

Evaluering af termisk komfort på baggrund af målt rumtemperatur

Rumtemperaturen er typisk meget afhængig af vejret udendørs. Der er derfor ofte forskel på de problemer, der opleves hhv. sommer (varme) og vinter (kulde). Om natten når solen ikke varmer bygningerne, vil det ofte også inde være koldere end det er om dagen. Dette udnyttes i bygningsdrifts sammenhæng til om sommeren at anvende natkøling, således at bygningens temperatur er lav inden en varm dag starter. Der vil derfor være udsving i rumtemperaturen afhængig af tidspunktet på dagen.

Hvilken temperatur der vil være velegnet for et givent rum afhænger af rummets brug. Anbefalinger for et givent rum-type kan man slå op i tabeller opført i standarden (DS/EN-15251, 2015) eller (ISO 7730, 2005). Der er forskel på hvor meget tøj der anvendes afhængig af årstid. Mht. de anbefalede komforttemperaturer (DS/EN-15251, 2015), så er der i tabellerne taget højde for og beskrevet, at man har mere tøj på om vinteren end om sommeren. Dette gør, at man vil kunne argumentere for at bruge lidt andre komforttemperaturer om sommeren end om vinteren.

Der vil, uanset hvilke temperatur intervaller der vælges, være individuelle forskelle på hvor meget tøj vi har på og dermed også hvilken temperatur vi foretrækker. Dette er ikke mindst afhængigt af vores aktivitetsniveau og/eller træthedsniveau mv. Tiltag og anbefalinger mht. god komfort-temperatur i klasseværelser er også beskrevet af DCUM (DCUM, 2017). Hver person i et lokale er ligeledes med til at opvarme lokalet, da vi hele tiden afgiver varme, hvorfor personbelastningen på et rum vil påvirke rumtemperaturen. I projekts case på Skovlundskele Nord varierede elevantalet fra 16 til 27 per lokale. Temperaturen hæves gradvist i et lukket lokale pga. den forskel der er på kropstemperaturen og den aktuelle rumtemperatur. Ofte opererer man med hvor stor %-del af en gruppe personer, der ved en given temperatur vil være tilfredse/utilfredse, da det ikke er muligt at tilfredsstille alle samtidigt. Den mest anvendte metode til at angive hvor vidt temperaturen føles behagelig er PMV-indekset (Predicted Mean Vote metoden) (Fanger, 1970). Det er ofte varmere ved loftet end ved gulvet, da varmen så at sige 'stiger til vejrs'.

Direkte solindfald gennem vinduet vil også have betydning for temperaturen på lokale steder, hvorfor placeringen af føleren vil have indvirkning på målingerne. Ligeledes er det værd at være opmærksom på at store forskelle i temperaturer på bygningsdeles overflader kan give anledning til træk-gener.



Målinger af rumtemperaturen til brug i Evaluerings-værktøjet

En vurdering og vægtning af optimal rumtemperatur afhænger af hvad man optimerer efter. Evalueringer og standard kategorier af inde-temperaturen som bruges af producenten af IC-meter, formodes at have til formål at minimere energiforbruget til opvarmning, hvorfor målte temperaturer mellem 22 og 24 °C kategoriseres som mindre godt (www.ic-meter.com). Komfort-temperaturen i klasselokaler ligger dog ifølge anvisninger netop i dette interval (DS/EN-15251, 2015).

ISO 7730 (2005) angiver specifikke krav til forskellige indeklimate kategorier: Kategori A svarer til et højt niveau af forventning til indeklimaet (plads til syge mennesker, ældre mennesker, småbørn mv.), Kategori B svarer til et normalt niveau af forventning (nye bygninger og renoveringer) og kategori C svarer til et acceptabelt, moderat forventningsniveau (eksisterende bygninger).

Tabel 3 angiver værdier jf. standarden (ISO 7730, 2005) for termisk komfort i kategorierne A, B og C som er den sindstilstand hvorved de fleste udtrykker tilfredshed med det termiske miljø. Dette skal ses i relation til kravene omkring maksimale lufthastigheder i lokalet som også er angivet i tabellen.

Tabel 3: Kriterier for den operative temperatur og den maksimale gennemsnitlige lufthastighed for forskellige indeklimate kategorier i henhold til ISO 7730 (2005, oversat).

Kategori	Operative temperatur [°C]		Maksimum gns. lufthastighed [m/s]	
	Sommer (sæson for køling)	Vinter (sæson for opvarmning)	Sommer (sæson for køling)	Vinter (sæson for opvarmning)
A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21

Evaluerings mht. komforttemperatur i klasseværelser bør være for de perioder, hvor der er aktivitet i lokalet. I denne case vælges perioden mandag til fredag mellem kl. 8-15 for Skovlunds skole Nord. Hver logning af temperaturen i den aktive periode vægtes, så det beregnede gennemsnit, kan indgå i evalueringsværktøjets 5-trins score fra -2 til 2. Temperatur-intervallerne er valgt ud fra at de ville kunne bruges for både vinter og sommer perioderne. Intervallerne er således et kompromis, der dog har udgangspunkt i ISO 7730 (2005), kategori B, og på hvad der anbefales for klasselokaler jf. DS/EN 15251 (2015). Dette kompromis skal ses i lyset af et ønske om forenkling af værktøjet og at der også er usikkerheder forbundet med målingerne og placeringen af sensorerne i klasselokalerne.

Følgende intervaller for rumtemperatur og vægtning er valgt (Tabel 4):

Tabel 4: Tabel med overordnede valgte intervaller og vægtninger af rumtemperaturen til brug for evaluering af klasselokalerne i case på Skovlunds skole Nord.

Indeklimaparametre / vægtning for måling med IC-meter	Uacceptabelt	Skidt	Mindre godt	Godt	Mindre godt	Skidt	Uacceptabelt
	-80	-2	0	2	0	-2	-80
Temperatur, °C	< 17	17-19	19-21	21-25	25-27	27-29	> 29

Relativ luftfugtighed

Evaluerings af luftfugtighed på baggrund af den målte relative luftfugtighed

Den relative luftfugtighed hænger nøje sammen med temperaturen i et lokale og udgør typisk ikke et problem i nyere byggerier. En relativ luftfugtighed på 25-60 % har begrænset betydning for, hvordan det fysiske indeklima opleves. En oplevelse af at luften føltes tør er dog ikke ualmindeligt ved lave relative luftfugtigheder. En sådan oplevelse forstærkes dog ofte hvis luften er forurenset med støv eller at den er for varm. En varm luft kan indeholde mere vand end en kold luft. Hvis luften føles tør og temperaturen ligger i overkanten af det anbefalede, så vil det derfor kunne afhjælpe problemet at sænke temperaturen. En oplevelse af at luften er tør, øges tillige med stigende luftbevægelse. Er der meget lav luftfugtighed kan der forekomme statisk elektricitet og det kan resultere i tør hud. Brug af luftfugtere uden desinficering af den befugtede luft frarådes på grund af mulighed for problemer med bakterie- og svampevækst. Meget energi er bundet til den fugt, der er i luften, hvilket udnyttes i ventilationsanlæg med varmegenvinding.

Høj luftfugtighed kan forekomme i lokaler med for stor personbelastning i forhold til luftskiftet, hvorved luften føles tung hvilket også vil afspejles i CO₂ målingerne. Er luftfugtigheden generelt høj eller har man at gøre med en fugtamt bygning, så kan det give anledning til problemer med bl.a. forekomst af skimmelsvamp, der kan forårsage allergi og astma. Udskiftning af vinduer som en del af en renovering resulterer ofte i en bygning der er mere tæt hvorved fugtigheden i luften (som resultat af personbelastningen) forøges hvor der ikke er installeret mekanisk ventilation.

Standarden ISO 7730 (2005) giver ikke specifikke krav til den relative luftfugtighed, men anbefalede designkriterier er inkluderet i DS/EN 15251 (2015), som tager udgangspunkt i ISO 7730 (2005). I DS/EN 15251 (2015) svarer Kategori I til Kategori A, II til B og III til C, mens IV er udenfor kategori. De anbefalede design kriterier er vist i tabel 5.

Table 5: Anbefalede designkriterier for den relative luftfugtighed for forskellige indeklima kategorier ifølge DS/EN 15251 (2015, oversat).

Kategori	Relativ fugtighed for affugtning [%]	Relativ fugtighed for befugtning [%]
I	50	30
II	60	25
II	70	20
IV	> 70	< 20

Målinger af relativ luftfugtighed til brug i Evaluerings-værktøjet

Evaluerings af et rums relative luftfugtighed skal ses i sammenhæng med rumtemperaturen. Luftfugtigheden, har set i det lys, typisk begrænset indflydelse på ens oplevelse af indeklimaet. Der er på denne baggrund valgt at anvende relativt vide intervaller for, hvad der er acceptabelt.

Følgende intervaller for relativ luftfugtighed og vægtning er valgt (Tabel 6):



Tabel 6: Tabel med overordnede valgte intervaller og vægtninger af relativ luftfugtighed til brug for evaluering af klasselokalerne i case på Skovlunds skole Nord.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Indeklimaparametre / vægtning for måling med IC-meter	Uacceptabelt	Skidt	Mindre godt	Godt	Mindre godt	Skidt	Uacceptabelt
	-80	-2	0	2	0	-2	-80
Relativ fugtighed, %		<20	20-30	30-50	50-70	>70	

Baggrunden for inddelingen baserer sig på hvad der anbefales for klasselokaler jf. DS/EN 15251:2015.

Støj

Evaluering af støj på baggrund af "A-vægtede" støjmålinger

Bygningers akustiske indeklima- og lydforhold kan kontrolleres ud fra stikprøvemålinger. Funktionskravene til bygningers lydforhold er at finde i bygningsreglement 2015 (BR15, Trafik- og Byggestyrelsen, 2016). Bygningsakustiske målinger for skoler bør udføres efter retningslinjerne beskrevet i SBI-anvisning 217, med henvisning til SBI-anvisning 218, Lydforhold i undervisnings- og daginstitutionsbygninger (Hoffmeyer, 2008). Der er krav til at måleudstyret overholder standardkrav specificeret i f.eks. DS/EN ISO 16283-serien (Dansk Standard, 2014b, 2015 og 2016). For en beskrivelse af udførelsen af bygningsakustiske målinger henvises desuden til SBI-anvisning 217. I denne anvisning findes en kort beskrivelse af målingernes udførelse for vurdering af loflydisolation, trinlydniveau, efterklangstid, støj fra installationer og støj fra veje og jernbaner.

Målinger af lydtryk-niveauer forgår i oktav-bånd eller i tredjedels oktavbånd. Den mest anvendte måde at vægte de forskellige lydfrekvensintervaller på er ved at anvende en såkaldt A-frekvens-vægtning. Kurven for A-frekvensvægtet lyd er et forsøg på at måle lyd-niveauet, som det opfattes af det menneskelige øre. Vægtningen tager højde for, at øret er mindre følsomt over for lave lydfrekvenser og er sammen med vægtningskurverne B, C, D og Z for vægtede lydtryk-niveauer defineret i den internationale standard (IEC-61672, 2003). Enheden for A-vægtet lydniveau bliver skrevet som dB(A).

En måling er aldrig bedre end udstyret tillader, og som ovenfor beskrevet er spændet af frekvensområdet og vægtningen af lydfrekvensintervallerne afgørende for målingen. Der kan derfor godt være støj uden at det registreres af lydtryksmåleren, hvis udstyret ikke måler i det relevante frekvensområde eller ikke er kalibreret korrekt.

Det er vigtigt at gøre sig klart, hvad det er man gerne vil måle, når man har at gøre med menneskers indeklimakomfort ift. støj. Er det støj fra den mekaniske ventilation, støj gennem facaden fra støjende elementer udendørs, generelt lydniveau af en klasse som igen er afhængig af undervisningsaktiviteten eller noget helt fjerde?

For at vurdere om der er tilfredsstillende lydforhold i et klasselokale, så er observationer og det at spørge brugerne et væsentligt element. Simple støjmålinger alene vil ikke kunne danne grundlag for vurdering af de akustiske forhold. Simple støjmålinger med f.eks. IC-meter (www.ic-meter.com) vil kunne danne grundlag for at vurdere om brugerne af et lokale udsættes for lydniveauer, der generelt og set over en periode er uhensigtsmæssige.



Når man analyserer støjmålinger, f.eks. fra IC-meters logninger af støj, så er det væsentligt at kigge på de enkelte logninger frem for at kigge på gennemsnittet af målingerne. Når man laver et gennemsnit over tid af f.eks. støj, så udviskes ekstremerne (peaks). Det er også værd at bemærke at støj under et vist niveau ofte ikke registreres af måleudstyr så som IC-meter, som (kun) logger lyd-niveauer ned til 32 dB(A). Det anbefales derfor at kigge på antal logninger, der ligger over eller under givne valgte værdier for støj. Hvor høje eller lave disse værdier eller intervaller for støj sættes, afhænger foruden af måleudstyret formåen også af lokalets brug og ens krav til det generelle lyd-niveau.

Følgende intervaller for støj og vægtning er valgt (Tabel 7):

Tabel 7: Tabel med overordnede valgte intervaller og vægtninger af støj til brug for evaluering af klasselokalerne i case på Skovlundeskole Nord.

Indeklimaparametre / vægtning for måling med IC-meter	Uaccepta- belt	Skidt	Mindre godt	Godt	Mindre godt	Skidt	Uaccepta- belt
	-80	-2	0	2	0	-2	-80
Støj, dB (A)				<40	40-60	>60	

Baggrunden for inddelingen baserer sig på hvad der anbefales for klasselokaler jf. DS/EN 15251:2007 og på IC-metrenes begrænsninger.

Lysforhold

Evaluerings af lysforholdene i et klasselokale

Forskning har vist, at lys og især dagslys har stor indflydelse på indlæring (Barrett, Davies, Zhang, & Barrett, 2015; Tanner, 2009).

Dagslys i rigelige mængder i skolelokaler fik mange tilhængere, da den endelige undersøgelse af Heschong Mahone Gruppen (1999) viste at dagslys er signifikant for fremme af præstationen hos studerende (Heschong Mahone Group, 1999).

Store vinduespartier og dermed høje dagslysfaktorer (DF) har været og er associeret med en høj indlæringskvotient, men dette alene er ikke nok. Kun når vinduesorientering og risiko for blænding tages med i betragtning, er der en fordel ved at optimere dagslysindfaldet (Barrett et al., 2015). Dagslys – vurderet ud fra DF eller glas/gulv arealberegninger, bør inddrages i vurderingen af et lokales lysforhold, da der er krav hertil i bygningsreglementet, men dette bør vurderes iht. vinduesorientering, placering og mulighed for solaf-skærmning samt dets automatik og funktionalitet.

Elektrisk belysning bør ligeledes vurderes ud fra funktionalitet, og at de overholder gældende krav til belysning for klasselokaler (se tabel 8). Det er dog væsentligt også at vurdere kvaliteten af den elektriske belysning da dårlig kvalitet i form af lysflimmer, dårlig lysfordeling, dårlig farvegengivelse, for lav intensitet eller blænding kan forårsage problemer som hovedpine, manglende koncentration og lav indlæring.

Tabel 8: Krav til belysningsstyrker for den elektriske belysning jf. EN 12464-1. Til informations-formål er anbefalet blændingsindeks (UGR), uniformitet (U_0), og Ra værdier medtaget :



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Type of area, task or activity	Lux-level (E_m)	Glare rating (UGR _L)	Uniformity (U_0)	Colour rendition (R_a)	Remarks	Specific requirements
Classrooms, tutorial rooms	300	19	0,60	80	at 0,8 m	Lighting should be controllable.
Classroom for evening classes and adult education	500	19	0,60	80	at 0,8 m	Lightning should be controllable.

Mange faktorer spiller ind, hvorfor det ikke er så ligetil at måle lys og give det en objektiv score eller karakter, der kan indgå i et evalueringsværktøj. Ligeledes er det heller ikke en måling som for de øvrige indeklimate parametre lader sig måle med f.eks. et IC-meter, som er anvendt i projektet. Evaluering af lysforholdene er vigtige, men fortjener en separat behandling og vil derfor ikke indgå her.

I stedet for at inddrage måling og vurdering af lys her, så er der nedenfor opstillet en liste med anbefalinger (Tabel 9). Der er her udvalgt 5 væsentlige punkter til vurdering af hhv. udsigten, dagslysadgang, solafskærmning og den elektriske belysnings visuelle og driftsmæssig kvalitet. Disse parametre er alle valgt ud fra at de er væsentlige for et godt lys-indeklima i klasselokaler. Desto flere punkter der er opfyldt desto højere score kan man tildele lokalet. Man kan vælge at graduere de enkelte punkter på en skala og man kan evt. vælge at inddrage færre eller andre punkter, som for den aktuelle case er egnede afhængig af hvad der ønskes prioriteret.

Tabel 9: Fem udvalgte og væsentlige punkter, som her foreslås at man tager med i vurdering af hhv. dagslysadgang, solafskærmning, udsigt og den elektriske belysnings visuelle og driftsmæssig kvalitet i klasselokaler (projektets case). Punkterne kan bruges som tjekliste i vurdering af klasselokalers lysforhold, eller som succeskriterier for gode lysforhold i et klasselokale.



Dagslysadgang	Solafskærmning	Udsigt	Elektrisk belysning – visuel kvalitet	Elektrisk belysning – Drift
(1) Lokalet lever op til kravene for godt dagslys jf. gældende bygningreglement. Der er en dagslysfaktor (DF) på mindst 2 pct. i arbejdszonen. Jf. BR18 gælder 10% vinduesareal i forhold til gulvareal med korrektioner for lysreducerende forhold. (2) Der er vinduer med mulighed for direkte dagslysfald i mindst 2 sider af lokalet (3) Lokalet har lys fra ovenlysvinduer, lånt dagslys fra andre lokaler, reflekteret dagslys eller direkte dagslysfald i mere end 2 sider af lokalet (4) Dagslyset trænger klart igennem vinduerne transparente åbninger (glasset har en spektralt jævnt fordelt lystransmittans på mindst 0,75). Dagslyset er ikke synligt forvrænget (mht. den spektrale kvalitet) pga. manglende vinduespudsning, ældning eller filtre. (5) Der er en god balance i fordelingen dagslys i lokalet uanset årstid og tidspunktet af dagen (der må ikke være utilsigtede relative mørke arealer i lokalet på noget tidspunkt, dvs. $U_o \geq 0,10$, hvor $U_o = E_{\min} / E_{\text{avg}}$)	(1) Solafskærmningen er til stede og skærmer effektivt mod blænding fra solen samtidig med, at den tillader et rimeligt udsyn. (2) Brug af solafskærmningen har ingen negativ indvirkning på farverne i lokalet. F.eks. vil farvede, translucente markiser eller gardiner farve dagslyset, hvilket kan være uheldigt, når farvegengivelse er vigtig for aktiviteterne i rummet. (3) Solafskærmningen tillader at dagslyset stadig er hovedlyskilde i lokalet når den bruges til afskærmning for generende stråling uanset årstid. (4) Solafskærmningen forbedrer den termisk komfort. Dette især mht. solvarmereduktion, som der på visse tidspunkter om sommeren kan være stort behov for (typisk i form af udvendig fleksibel solafskærmning) (5) Solafskærmningen har nem hensigtsmæssig betjening og anvendelse der ikke konflikter med øvrige systemer som f.eks. vinduesåbning. Solafskærmningen kræver minimalt vedligeholdelse. Henvisning til kilde: SBI-anvisning 264, Solafskærmninger	(1) Udsigt til liv. Studerende har brug for udsigt til omverdenen, der ikke er en udsigt til en mur eller parkeringsplads eller bygning med potentiel generende indkig-mulighed. (2) Ubegrænset udsigt. Vinduer skal være tilgængelig i klasseværelset, Og når blænding ikke er et problem, uden forhindringer som solafskærmning og plakater. (3) Levende udsigt. Fra klasseværelset, ikke nødvendigvis fra siddestilling, skal eleverne kunne se nogle indendørs og/eller udendørs rum som f.eks haver, dyreliv, springvand, bjerge og himlen. (4) Funktionelle fokuspunkter. Døre og vinduer skal gøre det muligt for den studerende let at fokusere på noget i en afstand på mindst 15 meter udenfor klasseværelset. (5) Grønne områder. Det er vigtigt for den studerende at se udvendige rum, tæt på skolebygningen som træer, græs eller haver. Der bør være minimal udsigt til parkeringspladser og veje. Kilde: (Tanner, 2009)	(1) Den elektriske belysning lever op til gældende lovgivning (standard kravene jf. EN 12464). Lyset må ikke flimre uanset indstillingen af lyset. (2) Det er muligt nemt og hurtigt manuelt at regulere lys-intensiteten og man har mulighed for at styre farvetemperaturen på lyset. (3) Området foran tavle/smart-board har hensigtsmæssig og separat styret præsenteringsbelysning. (4) For god farvegengivelse anvendes en fuldspektret lyskilde, hvor alle bølgelængderne i det synlige spektrum er til stede og med $R_a \geq 90$. Dette skal være muligt også selvom man har en RGB belysningsløsning med mulighed for at vælge farvet eller farvemikset lys. (5) For gode betingelser for visuel kommunikation skal der være mulighed for at opnå en cylindrisk belysningsstyrke på mindst 120 lux ved siddende (1,2 m) og stående (1,6 m) position OG hvor lyset er jævnt fordelt på ønskede flader både lodret og vandret i lokalet OG der forekommer ikke generende blænding ($UGR \leq 19$). Genskin fra lysarmaturerne i skærme (herunder bærbare computere og tablets) er ikke et problem.	(1) Energieffektive lyskilder anvendes (effektive lysrør eller LED) (2) Belysningsanlægget efterses af fagkyndig efter en fastlagt plan (3) Der er automatisk styring på lyset så det dæmpes og gerne slukker helt ved tilstrækkeligt dagslys. Ved manglende tilstedeværelse slukkes lyset automatisk. Sidstnævnte må ikke ske så længe rummet er i brug. (4) Der er udarbejdet retningslinjer (manual) for effektiv og energibesparende brugeradfærd, som aktivt bruges. (5) Lamper, kontakter, styringspaneler og sensorer er robuste nok til at kunne modstå hårdhændet behandling i et skolemiljø. De har en lang levetid svarende til lampeteknologiens forventede levetid.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Del 2: Eksempler på evalueringer af 5 lokaler på Skovlundeskole Nord - før og efter tiltag



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Introduktion til evalueringerne

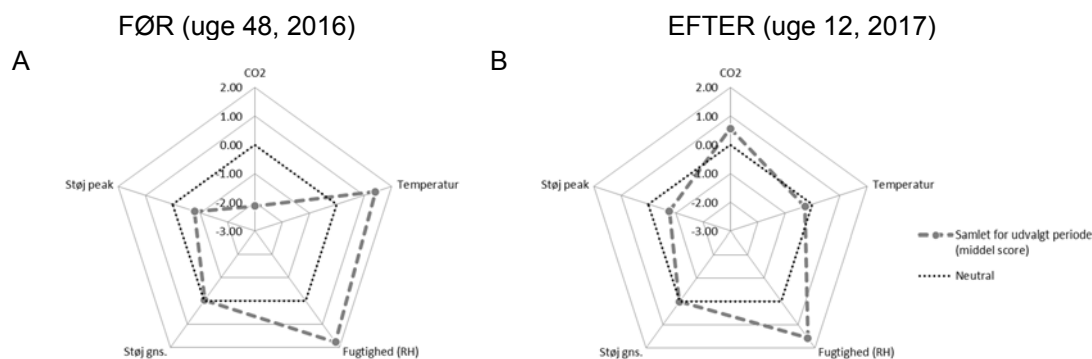
Følgende evalueringer er baseret på måledata fra IC-metre, som har været opsat i udvalgte lokaler på Skovlundeskole Nord i udvalgte uger. Opsamlede data er analyseret ved brug af det udviklede excel-værktøj (tilhørende dette notat) til vurdering af målt indeklima, som det er beskrevet i foregående del (Del 1). Graferne der her er vist i resultaterne genereres direkte i værktøjet, når data indsættes korrekt.

Hovedresultatet i form af en figur med evalueringsscore for hver målt indeklima-parameter præsenteres først, hvorefter følger en præsentation af data som evalueringsscoren er beregnet ud fra. Efter præsentation af resultatet for hvert lokale er der en lille diskussion, med tolkning af eller forklaring til resultatet. Ud over de viste grafer, så genererer excel-værktøjet også grafer til at kontrollere data for fejl. Hvis der er foretaget korrektion af de rå målinger, diskuteres det i diskussionsafsnittet for det enkelte lokale.

Beskrivelse af skolen generelt er at finde i Bilag 1 sammen med en beskrivelse af før- og eftersituationen for de enkelte lokaler. Formålet med denne skrivelse er ikke at beskrive løsningerne men udelukkende at give eksempler på hvorledes værktøjet til evalueringer baseret på måledata fra IC-metre kan bruges. Nogle løsninger er tænkt som overgangsløsninger og ikke som løsninger, der er gangbare på længere sigt.



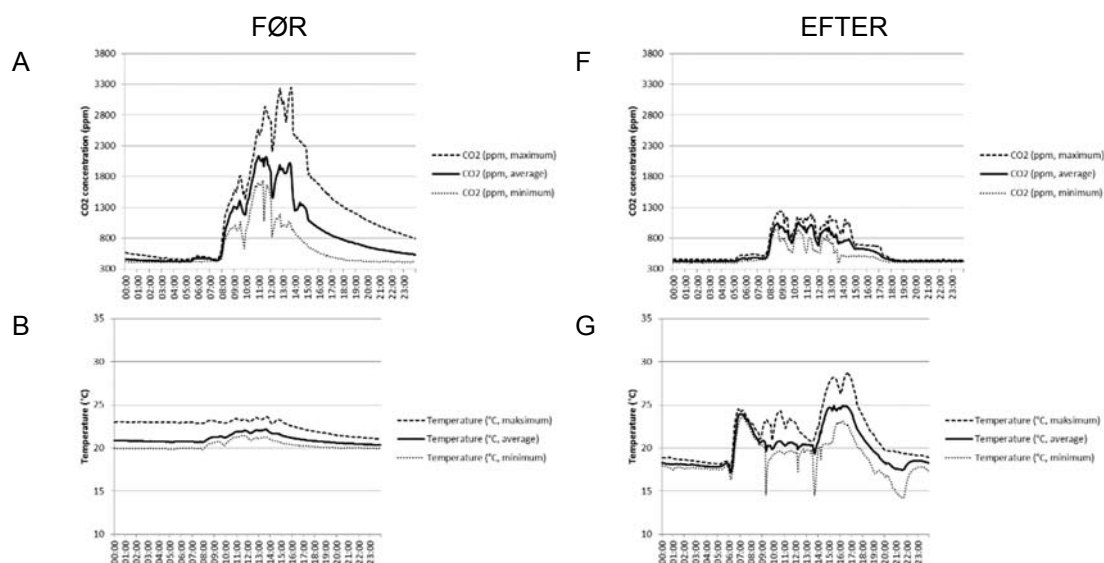
Overordnet evalueringsscore for indeklimaparametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget før og efter renoveringen af lokale 11 ses i figur 1 A og 1 B. Tolkningen er, at hvis et punkt (scoren) er inden for den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster, der har været i den pågældende uge.

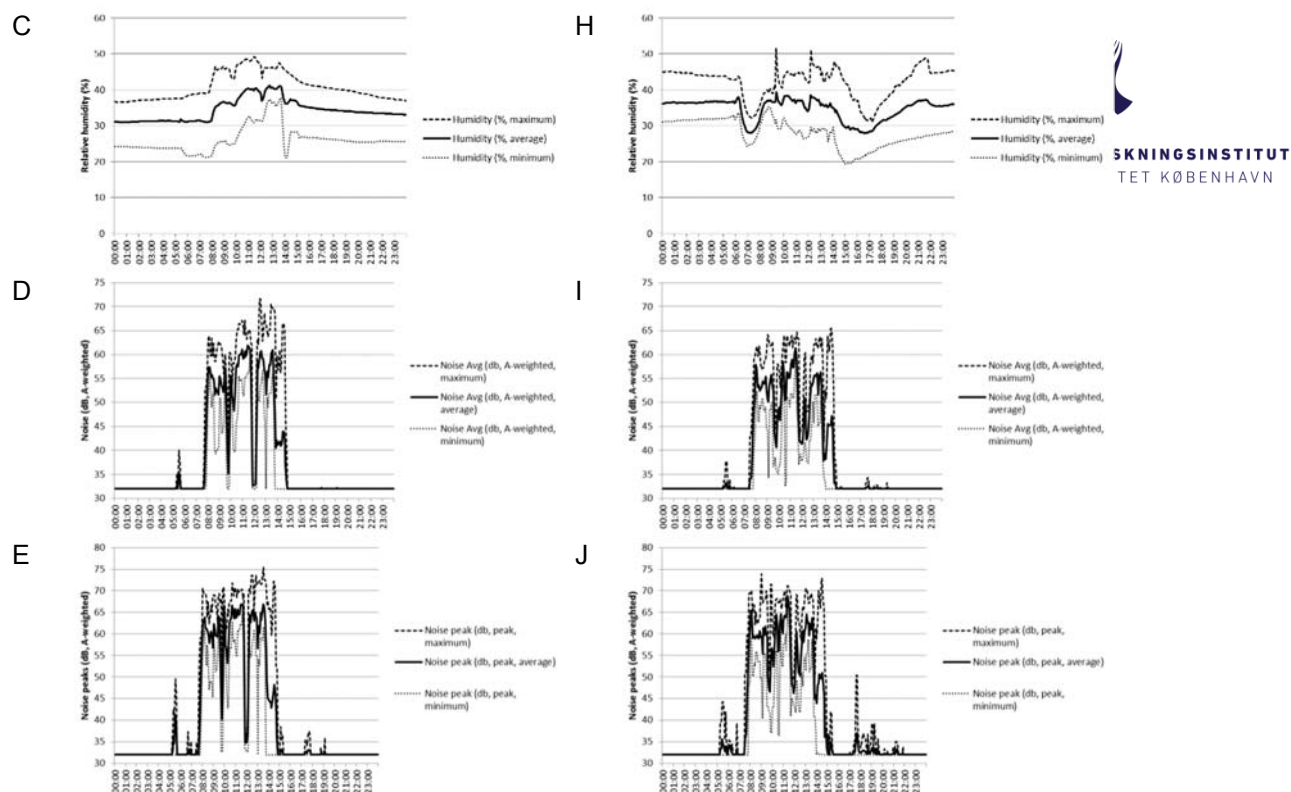


Figur 1: Beregnet samlede score for lokale 11 for CO₂, temperatur, fugtighed og støj målt hhv. før (A) og efter (B) renoveringen af lokalet i udvalgt periode. Data analyseret er fra tidsrummet mellem kl. 8 og 15 fra mandag til fredag i hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (B). Er punktet (scoren) indenfor den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster der har været i den pågældende uge.

Det ses af figur 1, at "støj-peak" og "CO₂" parametrene, vurderes at være utilstrækkeligt til den belastning rummet har været udsat for i vurderingen foretaget før renoveringen idet scoren herfor ligger indenfor den stiplede linje (negative værdier). CO₂ belastningen af lokalet resulterer i en samlet score på under -2 og vurderes derfor tilmed uacceptabelt i "før-situationen". I "efter-situationen" vurderes CO₂ belastningen af lokalet positivt/acceptabelt med en score på lidt under 1, men renoveringstiltaget for at forbedre lokalet mht. CO₂ belastningen ses at have påvirket temperatur reguleringen, så temperaturen i "efter-situationen" nu vurderes som utilstrækkelig.

Maksimum, gennemsnit og minimum værdier for indeklima-parametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget i en udvalgt uge hhv. før og efter renoveringen af lokale 11 ses i figur 2 A til J.





Figur 2: Maksimum, gennemsnit og minimums-værdier som indeklimaparameterne CO₂ (A og F), temperatur (B og G), fugtighed (C og H) og støj (D, E, I og J) i lokale 11 hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A-F) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (G-J). Data medtaget i figurerne er beregnet for dagene mandag til fredag (hverdagene).

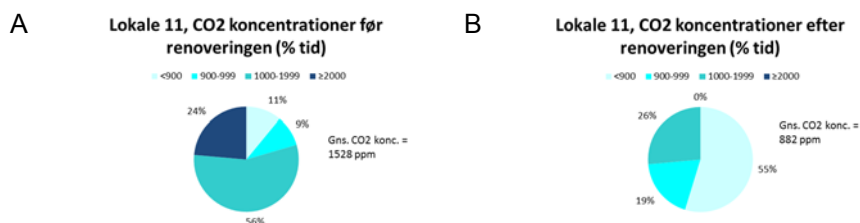
I figur 2 ses at der især er sket en ændring i regulering af CO₂, temperatur og fugtighed. Forskellene i før- og efter-situationen diskuteres nedenfor.

Tabellerne nedenfor viser i procent af tid hvad de gennemsnitslige CO₂ koncentrationer har været i de forskellige niveauer. Her er det værd at bemærke at der er dage før renoveringen, hvor CO₂ koncentrationen i op til 54% af tiden ligger over 2000 ppm hvilke er CO₂ niveauer, der slet ikke forekommer efter renoveringen (Tabel 10).

Tabel 10: Beregning af tid i %-del og den tilhørende %-dels gennemsnitlige CO₂ koncentration når indeklimaet i Lokale 11 før og efter renoveringen har været kategoriseret hhv. godt, mindre godt, skidt og uacceptabelt.

		Godt		Mindre godt		Skidt		Uacceptabelt		
		Gns. CO ₂ konc. <900	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. 900-999	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. 1000-1999	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. ≥2000	%-del af tid	Daglig samlede score (min = -2,5)
Lokale 11, Før renove-	Man-dag	787	11	955	14	1391	30	2618	45	-2.5
	Tirsdag	784	8	961	8	1467	65	2143	18	-2.5
	Onsdag	759	19	963	11	1522	69	2018	1	-2.0
	Tors-dag	781	14	945	11	1371	75	-	0	-1.2
	Fredag	681	2	952	4	1482	40	2460	54	-2.5
Lokale 11, Efter renove-	Man-dag	798	48	941	23	1064	30	-	0	0.36
	Tirsdag	769	54	959	20	1083	26	-	0	0.55
	Onsdag	671	89	943	11	-	0	-	0	1.79
	Tors-dag	802	38	958	26	1102	36	-	0	0.05
	Fredag	765	45	962	14	1075	40	-	0	0.10

Hvis data i tabel 10 vises grafisk i % tid, hvor CO₂ koncentrationen har ligget indenfor de forskellige intervaller, så ses det tydeligt at fordelingen har ændret sig til det bedre (Figur 3 A og B).



Figur 3: Diagrammerne viser tid i % for de udvalgte perioder (kl. 8-15 mandag til fredag), hvor CO₂ koncentrationerne har været i intervallerne som blev brugt i evaluerings-vægtningen for før- (A) og efter-situationen (B) i lokale 11.

Tabel 11 viser hvordan støj målt i lokale 11 før og efter renovering fordeler sig tidsmæssigt for en udvalgt uge indenfor kategorierne 'Godt', 'Mindre godt' og 'Skidt'.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Tabel 11: Fordeling af støj målt i lokale 11 før og efter renovering der tidsmæssigt for en udvalgt uge fordeler sig indenfor kategorierne 'Godt', 'Mindre godt' og 'Skidt'.

		Godt		Mindre godt		Skidt		
		Gns. støj <40 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj 40-60 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj >60 dB(A)	%-del af tid	Daglig samlede score (min = -2,5)
Lokale 11, Før	Mandag	34.1	16.7	54.2	60.7	66.4	22.6	-0.12
	Tirsdag	33.5	13.1	52.9	70.2	63.5	16.7	-0.07
	Onsdag	32.5	25.0	54.0	53.6	63.8	21.4	0.07
	Torsdag	32.4	22.6	56.0	38.1	63.0	39.3	-0.33
	Fredag	33.5	25.0	53.0	64.3	62.5	10.7	0.29
Lokale 11, Efter	Mandag	34.7	6.0	52.3	73.8	61.9	20.2	-0.29
	Tirsdag	36.0	16.7	51.6	66.7	62.8	16.7	0.00
	Onsdag	33.6	17.9	51.8	71.4	62.3	10.7	0.14
	Torsdag	34.9	26.2	50.2	57.1	62.5	16.7	0.19
	Fredag	34.6	13.1	49.3	75.0	61.7	11.9	0.02

Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 11)?

CO₂

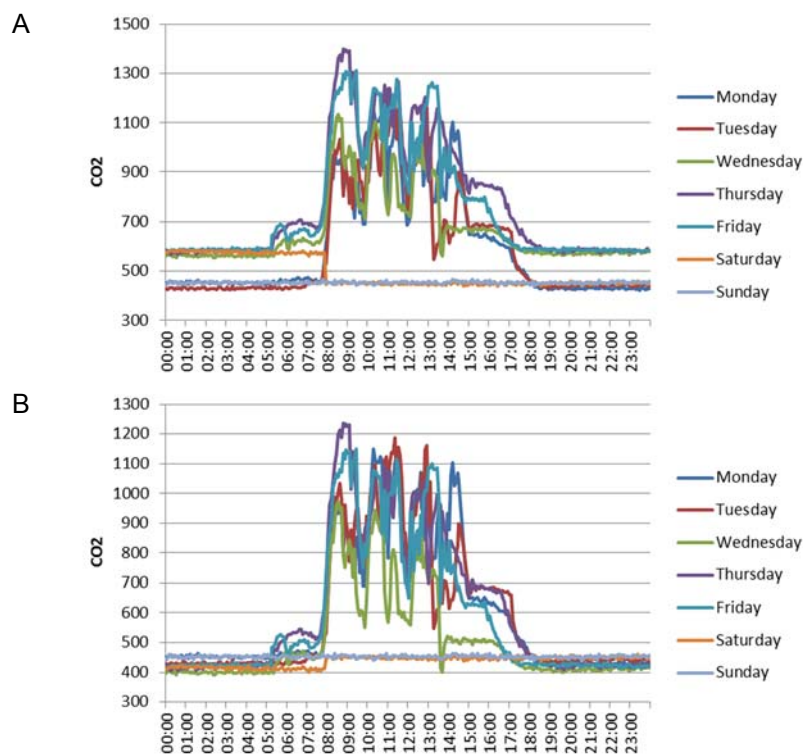
Den samlede score for CO₂ koncentrationen i lokale 11 før renoveringen gav et resultat på -2,13, svarende til at lokalets indeklima ikke har været acceptabelt til det brug lokalet har været udsat for i den pågældende uge (Figur 1). Manglende ventilation var også det væsentligste argument for at lokalet skulle renoveres. Af figurerne for situationen efter renoveringen ses at dette problem lader til at være løst da CO₂-scoren for lokalet er acceptabel (beregnet til 0,57; se figur 1 B). Efter renoveringen er der ikke registrerede CO₂ koncentrationer på over 2000 ppm og den gennemsnitlige CO₂-koncentration af målinger i intervallet 1000-2000 ppm ligger lavt, dvs. ikke forekomme eller <1102 ppm (tabel 10). Ventilationsløsningen i Lokale 11 blev dimensioneret efter lovkrav fra før 1. Juli 2017, dvs. systemet er indreguleret efter, at kortvarige peaks over 1000 ppm er tilladt.

CO₂ sensorkalibrering

I lokale 11 var der ved målinger i uge 12 udfordringer med CO₂ målingerne. Et kendt fænomen med CO₂ målinger er, at kalibreringen af sensorerne, ikke er som den skal være, hvilket har direkte betydning for målingerne. IC-metrene var i perioden indstillet til, at de selvkalibrerer, således at de med mellemrum indstiller sig til, så laveste målte værdi målt over en periode (af ca én uges varighed) bliver sat til at være 400 ppm. Dette er en fordelagtig indstilling når lokalet der måles i med jævne mellemrum ikke er i brug og ventileres. Kigger man på data dag for dag kan man se at der er sket en kalibrering af sensoren om lørdagen præcis kl. 8:00, hvor der således er et spring i data (Figur 4 A). Data ligger forholdsvis konstant om lørdagen omkring 570 ppm og falder til 400 ppm kl. 8:00 hvor den forbliver derefter. Pga. weekend er der ingen personbelastning af lokalet om lørdagen, og dette spring er derfor ikke reelt, men en konsekvens af en automatisk kalibrering. Det er af denne beskrevne årsag vigtigt, at man tjekker alle data, og konstaterer at de ser fornuftige ud.

Da det i dette tilfælde formodes, at CO₂ koncentrationen om natten generelt falder til udendørs CO₂ koncentration på ca. 400 ppm, så vil man kunne kalibrere målte data manuelt ved at fratrække det off-set som måtte være for de dage, hvor sensoren har målt for høje værdier. Manuel justering er foretaget med de data, som er vist i figur 4 B, men inden manuel justering foretages skal man være 100% sikker på hvad baggrunden er herfor.

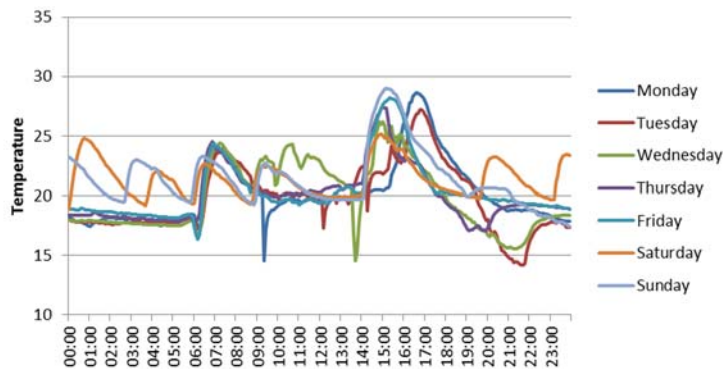
Pga. kalibrerings udfordringer af sensorer er det vigtigt ikke at overfortolke data (scoren) og ikke mindst at kende sit måleudstyr, herunder om spring i data, som eksemplet her beskriver, er reelle ændringer i indeklimaet eller om måleudstyret måler uhensigtsmæssigt og skal justeres for. Det beskrevne eksempel betyder konkret en forskel i en beregning af evalueringsscoren på ugebasis, således at scoren bliver -0,15 og 0,57 hhv. for de "u-justerede data" og de "justerede data". Dvs. lokalet går fra at blive vurderet "utilstrækkeligt" til at være "acceptabelt" til den belastning det har været udsat for, med de intervaller for CO₂ koncentrationer, der er brugt i indeværende case.



Figur 4 A og B: CO₂ koncentrationen per dag i uge 12 for hhv. ikke justerede data (A) og justerede data (B). Ved analyse af de loggede data (A) ses et urealistisk spring kl 8.00 lørdag morgen. Dette er forårsaget af at CO₂ sensoren har foretaget en selv-kalibrering og justeret mindste måle-værdi til 400 ppm.

Temperatur

Af figur 2 B ses at temperaturen i lokale 11 før renoveringen ligger fint og stabilt for et godt indeklima. Efter renoveringen (figur 2 G) er der nogle udsving i temperaturen til de definerede uacceptable niveauer. Dette resulterer i at den samlede score for temperaturen i lokalet i den pågældende uge efter renoveringen bliver beregnet til -0,26. Renoveringen har altså påvirket det termiske indeklima, så det i denne evaluering vurderes til at være under acceptabelt niveau. Kigger man på graferne for temperaturen for de enkelte dage ses det, at temperaturen hhv. mandag og onsdag én enkelt gang har været kortvarigt nede under 17°C i tidsrummet mellem kl. 8.00 og 15.00 (Figur 5). Dette temperaturfald skyldes formentlig at et vindue har været åbent, hvilket påvirker vurderingen af temperaturen negativt. Ud fra at vinduesåbningen må formodes at være selvvalgt, så straffes temperaturfaldet uforholdsmæssigt hårdt i evalueringen. Renoveringen har dog bevirket at temperaturen i lokalet svinger mere end før renoveringen. Når lokalet ikke er i brug ses temperaturen efter renoveringen generelt at ligge lavere end før renoveringen, hvilket kan være positivt for energiforbruget. Svingningerne i temperaturen er afhængig af udetemperaturen for de valgte perioder. Ligeledes er radiatorstyringen i lokalet ikke integreret i løsningen og radiator termostaterne er formentlig blevet påvirket af kold udeluft, således at radiatorerne er blevet varme umiddelbart efter at vinduerne har været åbnet. Et fald i temperaturene efterfølges umiddelbart af en forøget temperatur, når man kigger nærmere på temperatur-graferne (Fig. 5).



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Figur 5. Figuren viser målingerne af temperaturen og dennes udsving i lokale 11 for dagene i uge 12. Henholdsvis mandag og onsdag ses kortvarigt temperatur fald til omkring 14,5°C, hvilket i evalueringen straffes hårdt og afspejles i den samlede evalueringsscore.

Relativ fugtighed

Fugtigheden hænger nøje sammen med temperaturstyringen i lokalet således at når temperaturen stiger, så falder den relative fugtighed.

Dette hænger sammen med, at varm luft kan indeholde mere vand end kold luft. Temperatursvingningerne i lokalet observeret efter renoveringen, modsvares af udsving i den relative fugtighed (figur 2 G og H). Fugtigheden i lokalet vurderes dog at være tilfredsstillende både før og efter renoveringen. Bemærk i øvrigt at hvis der er stor forskel på luftens og materialerne i lokalets temperatur, så kan det give problemer med fugt. Varm luft kan indeholde meget vand, der kan kondensere på kolde overflader og give problemer med skimmel. Dette vurderes ikke at være et problem i denne case, casens måleperiode og med de målte fugtigheder. Fugten i den varme indeluft indeholder en del energi. Ved varmegenvinding som foretages i ventilations-systemet installeret i indeværende case (lokale 11), genanvendes energien knyttet til fugtigheden i indeluften til varmeproduktion. Dvs. at den fugtige indeluft skiftes ud med frisk udeluft som opvarmes af den energi der frigives fra kondenseringen af fugten fra indeluften ved varmegenvindingen. Affugtningen af luften kompenserer formentlig for temperatur-udsvingene, så fugt ikke er et problem.

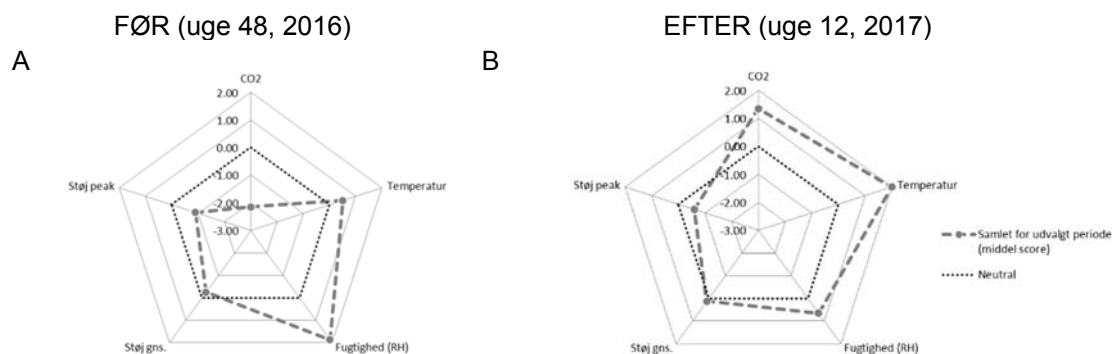
Støj

Der er et generelt højt støjniveau, hvilket gælder for både før og efter renoveringen. I op til 39% (før renoveringen) og 20% (efter renoveringen) af tiden ligger det generelle støjniveau på udvalgte dage over niveauet ift., hvad der i indeværende case vurderes til at være acceptabelt (Tabel 11, Støjmålinger <60 dB vurderes her acceptable).

Målingerne af støj-peak viser ligeledes forekomst af særdeles høj lyd, hvor lyden på udvalgte dage i over 60% af tiden ligger over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes netop acceptabelt og dage hvor lokalet i 20% af tiden belastes lydmæssigt til uacceptable niveauer på baggrund af støj-peak målinger (data ikke vist).

Renoveringen har ikke haft støjreduktion som primære fokus, men der er måske en tendens mod en forbedring af lydforholdene som følge af renoveringen, da den daglige samlede score i 3 ud af 5 dage før renoveringen vurderes negativt hvilket i efter-situationen er reduceret til 1 ud af 5. Det kan dog ikke udelukkes at dette resultat er en tilfældighed på baggrund af valget af dage og aktiviteter for i lokalet. Analyse af data fra flere dage vil være nødvendig for at kunne vurdere om der reelt er en forbedring, og at tendensen ikke er som følge af ændret adfærd eller forskel i belastningen af lokalet.

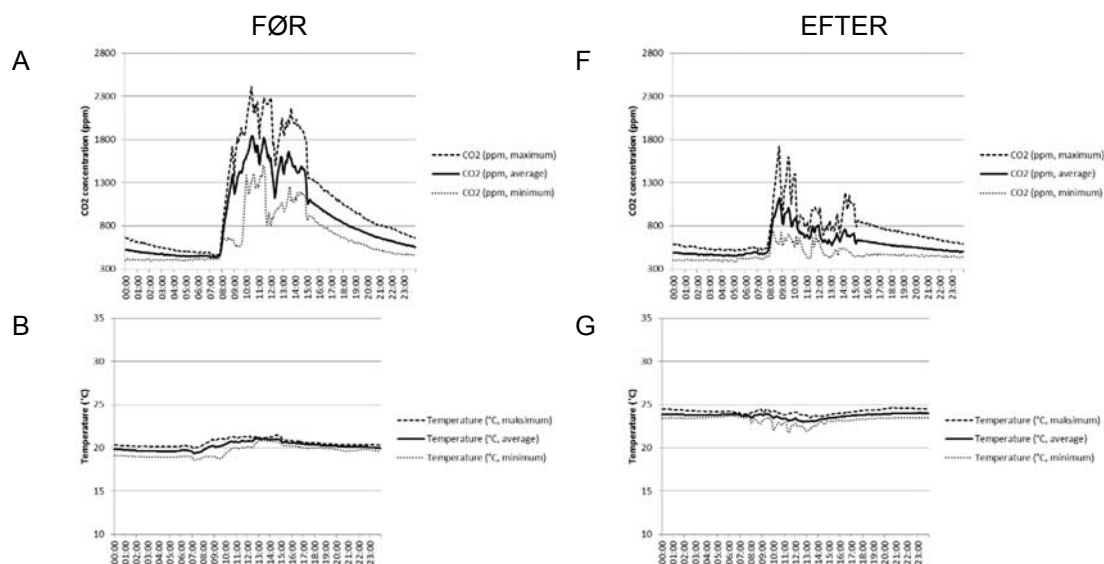
Overordnet evalueringsscore for indeklimaparametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget før og efter renoveringen af lokale 12 ses i figur 6 A og B. Tolkningen er, at hvis et punkt (scoren) er indenfor den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster, der har været i den pågældende uge.

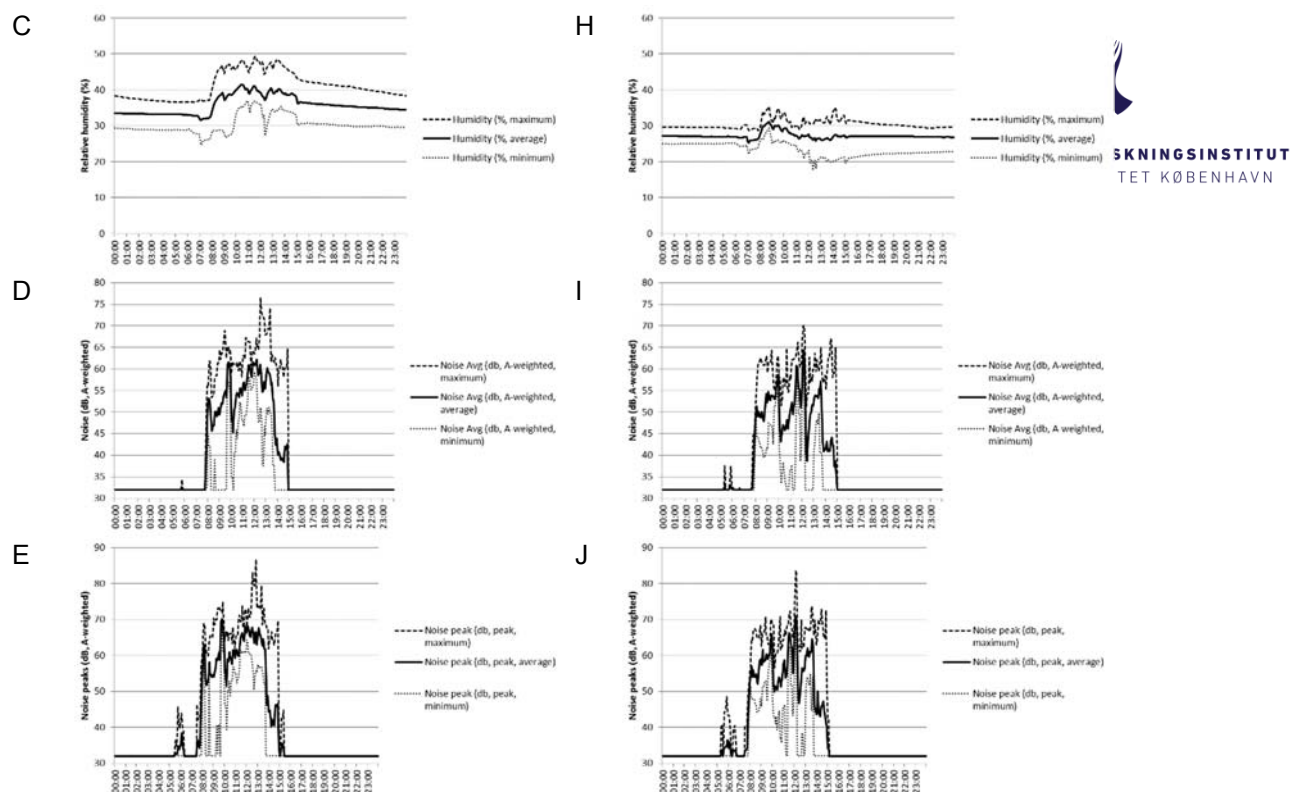


Figur 6: Beregnet samlede score for lokale 12 for CO₂, temperatur, fugtighed og støj målt hhv. før (A) og efter (B) renoveringen af lokalet i udvalgt periode. Data analyseret er fra tidsrummet mellem kl. 8 og 15 fra mandag til fredag i hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (B). Er punktet (scoren) indenfor den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster der har været i den pågældende uge.

Det ses af figur 6, at "støj-peak" og "støj-gns" og "CO₂" parametrene, vurderes at være utilstrækkeligt til den belastning rummet har været udsat for i vurderingen foretaget før renoveringen idet scoren herfor ligger indenfor den stiplede linje (negative værdier). CO₂ belastningen af lokalet resulterer i en samlet score på netop lige under -2 og vurderes derfor tilmed uacceptabelt i "før-situationen". I "efter-situationen" vurderes CO₂ belastningen af lokalet positivt/acceptabelt med en score på lidt over 1. Renoveringstiltaget for at forbedre lokalet mht. CO₂ belastningen ses at have påvirket temperatur og fugtigheds-reguleringen, men begge parametre vurderes stadig acceptable i "efter-situationen" i den periode som er analyseret her.

Maksimum, gennemsnit og minimum værdier for indeklima-parametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget i en udvalgt uge hhv. før og efter renoveringen af lokale 12 ses i figur 7 A til J.





Figur 7: Maksimum, gennemsnit og minimums-værdier som indeklimaparameterne CO₂ (A og F), temperatur (B og G), fugtighed (C og H) og støj (D, E, I og J) i Lokale 12 hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A-F) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (G-J). Data medtaget i figurerne er beregnet for dagene mandag til fredag (hverdagene).

Tabellen nedenfor viser i procent af tid, hvad de gennemsnitslige CO₂-koncentrationer har været i de forskellige niveauer. Her er det værd at bemærke, at der er dage før renoveringen, hvor CO₂ koncentrationen i op til 27% af tiden ligger over 2000 ppm hvilke er CO₂-niveauer, der slet ikke forekommer efter renoveringen (Tabel 12).

Tabel 12: Beregning af tid og gennemsnit CO₂ koncentrationer når indeklimaet i Lokale 12 før og efter renoveringen der har været kategoriseret hhv. godt, mindre godt, skidt og uacceptabelt.

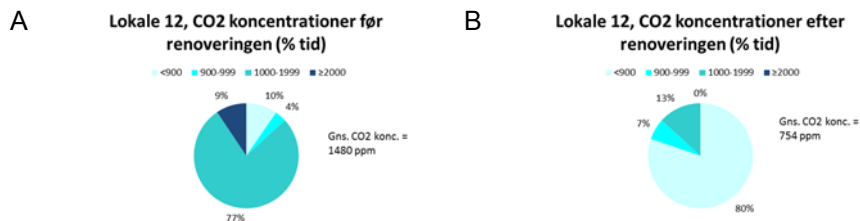
		Godt		Mindre godt		Skidt		Uacceptabelt		
		Gns. CO ₂ konc.	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc.	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc.	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc.	%-del af tid	Daglig samlede score (min = -2,5)
		<900		900-999		1000-1999		≥2000		
Lokale 12, Før renove-	Man-dag	625	26	-	0	1743	46	2142	27	-2.5
	Tirsdag	752	4	944	1	1588	82	2085	13	-2.5
	Onsdag	790	10	946	7	1396	83	-	0	-1.5
	Tors-dag	700	4	941	4	1467	93	-	0	-1.8
	Fredag	746	4	975	6	1383	83	2251	7	-2.5
Lokale 12, Efter re-	Man-dag	634	71	946	4	1336	25	-	0	0.9
	Tirsdag	683	87	952	8	1102	5	-	0	1.6
	Onsdag	674	83	965	5	1070	12	-	0	1.4
	Tors-dag	719	67	961	15	1146	18	-	0	1.0

	Fredag	651	93	937	1	1124	6	-	0	1.7
--	--------	-----	----	-----	---	------	---	---	---	-----

Hvis data i tabel 12 vises grafisk i % tid, hvor CO₂ koncentrationen har ligget indenfor de forskellige intervaller, så ses det tydeligt at fordelingen har ændret sig mod generelt lavere CO₂ koncentrationer (Figur 8 A og B).



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN



Figur 8: Diagrammerne viser tid i % for de udvalgte perioder (kl. 8-15 mandag til fredag), hvor CO₂ koncentrationerne har været i intervallerne som blev brugt i evaluerings-vægtningen for før- (A) og efter-situationen (B).

Tabel 13 viser hvordan støj målt i lokale 12 før og efter renovering fordeler sig tidsmæssigt for en udvalgt uge indenfor kategorierne 'Godt', 'Mindre godt' og 'Skidt'.

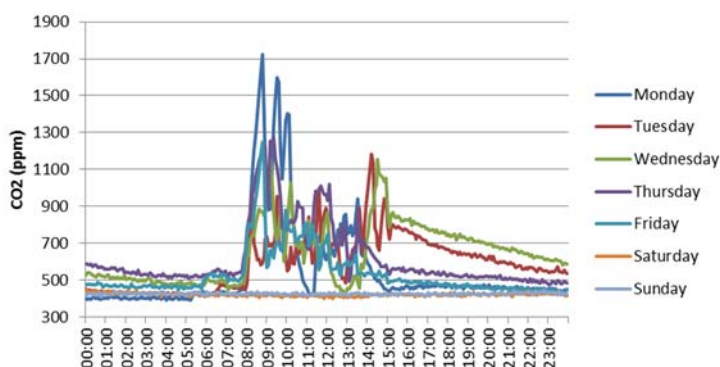
Tabel 13: Fordeling af støj målt i lokale 12 før og efter renovering der tidsmæssigt for en udvalgt uge fordeler sig indenfor kategorierne 'Godt', 'Mindre godt' og 'Skidt'.

		Godt		Mindre godt		Skidt		Daglig samlede score (min = -2,5)
		Gns. støj <40 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj 40-60 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj >60 dB(A)	%-del af tid	
Lokale 12, Før	Mandag	33.0	40.5	52.9	47.6	62.1	11.9	0.57
	Tirsdag	35.4	6.0	51.3	76.2	61.5	17.9	-0.24
	Onsdag	32.0	1.2	53.9	44.0	64.1	54.8	-1.07
	Torsdag	33.0	19.0	53.5	42.9	62.7	38.1	-0.38
	Fredag	32.7	21.4	54.3	48.8	63.6	29.8	-0.17
Lokale 12, Efter	Mandag	33.6	35.7	49.5	57.1	62.1	7.1	0.57
	Tirsdag	-	0.0	55.0	63.1	63.3	36.9	-0.74
	Onsdag	32.0	14.3	52.6	75.0	61.5	10.7	0.07
	Torsdag	32.5	21.4	52.7	72.6	61.9	6.0	0.31
	Fredag	34.3	31.0	49.2	58.3	62.2	10.7	0.40



CO₂

Den samlede score for CO₂-koncentrationen i lokale 12 før renoveringen gav et resultat på -2,15, svarende til at lokalets indeklima ikke har været acceptabelt til det brug lokalet har været udsat for i den pågældende uge (Figur 6). Manglende ventilation var også det væsentligste argument for at lokalet skulle renoveres. Af figurerne for situationen efter renoveringen ses at dette problem ikke er til stede i den udvalgte uge, da CO₂-scoren for lokalet er acceptabel (beregnet til 1,34; Figur 6 B). Nedestående figur viser, hvordan CO₂-koncentrationen har været over tid for ugens 7 dage efter renoveringen (Figur 9). Her ses nogle enkelte peaks med høje CO₂ koncentrationer, der hurtigt falder igen til acceptabelt niveau, formentlig pga. mekanisk kontrolleret passiv udluftning via vinduerne. Det lader derfor til at det er muligt tilfredsstillende at udlufte passivt såfremt, at udetemperaturen og udestøj tillader dette.



Figur 9. Målt CO₂ koncentration i lokale 12 efter renoveringen over tid af døgnet 24 timer vist for de 7 dage i uge 12, 2017.

Temperatur

Temperaturen målt i lokale 12 ligger generelt meget stabilt både før og efter situationen og den generelle score for temperaturen er acceptabel og antager en positiv værdi både før og efter renoveringen (figur 7 B og G). Den generelle score for temperatur skal ses i lyset af at udetemperaturen i perioden målt efter renoveringen ikke ligger langt fra inde-komfort temperaturene. Automatisk vinduesåbning på baggrund af CO₂-målingerne i indeværende case fungerer derfor efter hensigten i den pågældende periode, således at temperaturen ikke ændres til det uacceptable.

Relativ fugtighed

Evalueringscoren for fugtigheden er både i før- og efter-situationen positiv og fugtighed lader ikke til at være et problem i perioden der er analyseret. Der er generelt en lav fugtighed, der kan have bevirket, at luften har følt sig tør. Tør luft kan skyldes støj.

Støj

Der er et generelt højt støjniveau, hvilket gælder for både før og efter renoveringen. I op til 55% (før renoveringen) og 37% (efter renoveringen) af tiden ligger det generelle støjniveau på udvalgte dage over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes til at være acceptabelt (Støjmålinger <60 dB vurderes her acceptable).

Målingerne af støj-peak viser ligeledes forekomst af særdeles høj lyd, hvor lyden på udvalgte dage i over 80% af tiden ligger over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes acceptabelt (data ikke vist her).

Renoveringen har ikke haft støjreduktion som primære fokus, men der er måske en tendens mod en forbedring af lydforholdene som følge af renove-

ringen, da den daglige samlede score i 4 ud af 5 dage før renoveringen vurderes negativt hvilket i efter-situationen er reduceret til 1 ud af 5 (Tabel 13). Det kan dog ikke udelukkes at dette resultat er en tilfældighed på baggrund af valget af dage og aktiviteter for i lokalet. Analyse af data fra flere dage vil være nødvendig for at kunne vurdere om der reelt er en forbedring, og at tendensen ikke er som følge af ændret adfærd eller forskel i belastningen af lokalet.



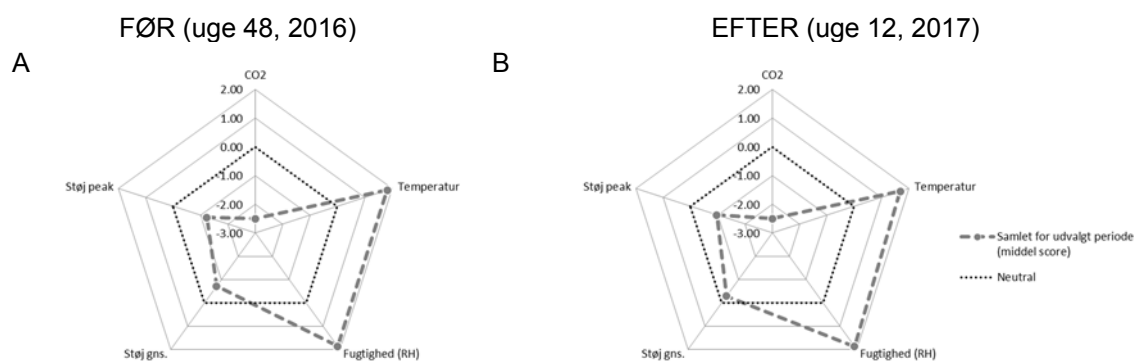
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Lokale 13 - Adfærdspåvirkning, Resultat

Overordnet evalueringsscore for indeklimaparametrene på baggrund af IC-meter-målinger foretaget før og efter renoveringen af lokale 13 ses i figur 10 A og B. Tolkningen er, at hvis et punkt (scoren) er inden for den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster, der har været i den pågældende uge.

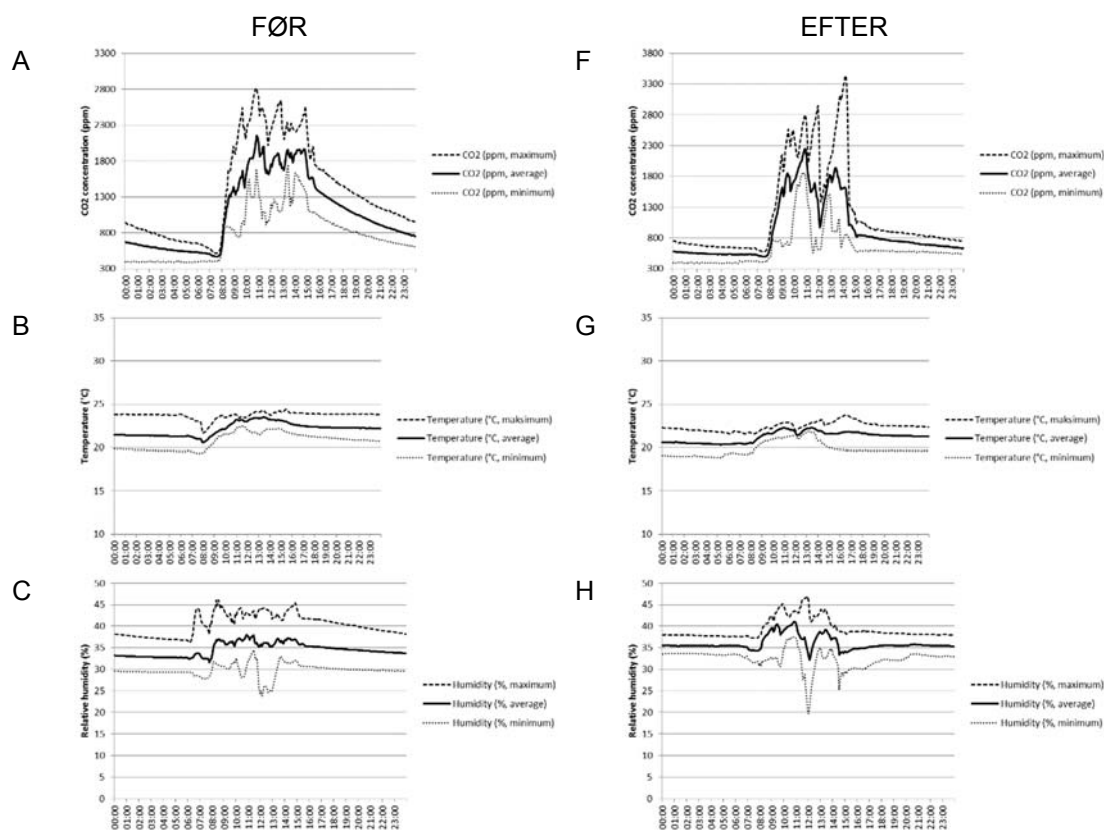


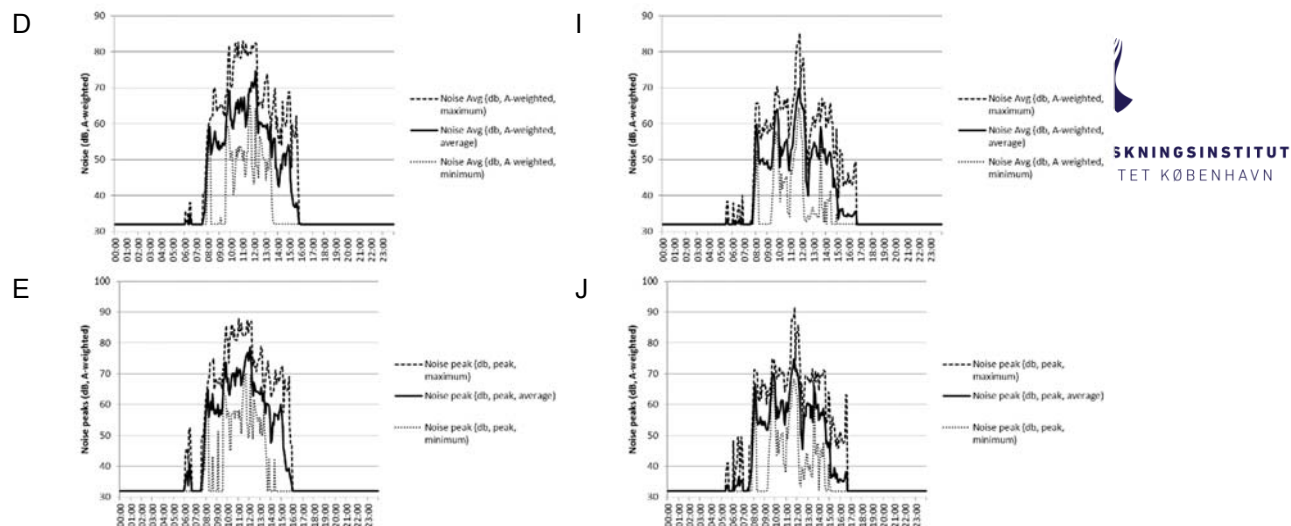
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN



Figur 10: Beregnet samlede score for lokale 13 for CO₂, temperatur, fugtighed og støj målt hhv. før (A) og efter (B) renoveringen af lokalet i udvalgt periode. Data analyseret er fra tidsrummet mellem kl. 8 og 15 fra mandag til fredag i hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (B). Er punktet (scoren) indenfor den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster der har været i den pågældende uge.

Maksimum, gennemsnit og minimum værdier for indeklima-parametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget i en udvalgt uge hhv. før og efter renoveringen af lokale 13 ses i figur 11 A til J.





Figur 11: Maksimum, gennemsnit og minimums-værdier som indeklimaparametrene CO₂ (A og F), temperatur (B og G), fugtighed (C og H) og støj (D, E, I og J) i lokale 13 hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A-F) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (G-J). Data medtaget i figurerne er beregnet for dagene mandag til fredag (hverdagene).

Tabellerne nedenfor viser i procent af tid hvad de gennemsnitslige CO₂-koncentrationer har været i de forskellige niveauer (Tabel 14). Efter introduktion til at forbedre adfærden er det værd at bemærke at der omkring ved midt-dagstid er et fald i CO₂-koncentrationen, som formentlig skyldes udluftning via manuel vindues åbning. På trods af forsøg på adfærdsændring er der alle dagene CO₂-niveauer, der viser utilstrækkelig udluftning.

Tabel 14: Beregning af tid og gennemsnit CO₂ koncentrationer når indeklimaet i Lokale 13 før og efter renoveringen (forsøg på adfærdsændring) der har været kategoriseret hhv. godt, mindre godt, skidt og uacceptabelt.

		Godt		Mindre godt		Skidt		Uacceptabelt		
		Gns. CO ₂ konc. <900	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. 900-999	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. 1000-1999	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. ≥2000	%-del af tid	Daglig samlede score (min = -2,5)
Lokale 13, Før renove-	Man-dag	739	2	956	1	1440	62	2183	35	-2.5
	Tirsdag	820	20	938	7	1567	44	2266	29	-2.5
	Onsdag	715	4	957	6	1581	81	2244	10	-2.5
	Tors-dag	687	2	931	4	1508	48	2290	46	-2.5
	Fredag	708	2	951	2	1566	57	2354	38	-2.5
Lokale 13, Efter renove-	Man-dag	727	12	947	4	1653	58	2302	26	-2.5
	Tirsdag	772	17	926	12	1577	46	2189	25	-2.5
	Onsdag	690	10	925	11	1481	60	2437	20	-2.5
	Tors-dag	790	17	951	4	1544	74	2067	6	-2.5
	Fredag	722	35	954	1	1528	32	2628	32	-2.5

Tabel 15 viser hvordan støj målt i lokale 13 hhv. før og efter renovering for-deler sig tidsmæssigt for en udvalgt uge indenfor kategorierne 'Godt', 'Min-dre godt' og 'Skidt'.

Tabel 15: Fordeling af støj målt i lokale 13 før og efter renovering der tidsmæssigt for en udvalgt uge fordeler sig indenfor kategorierne 'Godt', 'Mindre godt' og 'Skidt'.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

		Godt		Mindre godt		Skidt		
		Gns. støj <40 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj 40-60 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj >60 dB(A)	%-del af tid	Daglig samlede score (min = -2,5)
Lokale 13, Før	Mandag	32.0	4.8	54.3	53.6	67.2	41.7	-0.74
	Tirsdag	32.1	19.0	51.0	46.4	63.8	34.5	-0.31
	Onsdag	32.1	15.5	53.8	32.1	72.8	52.4	-0.74
	Torsdag	33.4	4.8	54.1	26.2	69.4	69.0	-1.29
	Fredag	-	0.0	54.9	73.8	66.5	26.2	-0.52
Lokale 13, Efter	Mandag	36.6	10.7	53.3	41.7	64.9	47.6	-0.74
	Tirsdag	35.9	1.2	50.7	77.4	64.0	21.4	-0.40
	Onsdag	33.8	9.5	54.2	66.7	63.7	23.8	-0.29
	Torsdag	34.9	28.6	51.3	58.3	72.7	13.1	0.31
	Fredag	32.5	16.7	50.9	51.2	65.1	32.1	-0.31

Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 13)?

CO₂

Den samlede score for CO₂-koncentrationen i lokale 13 før og efter forsøg med adfærdsændring gav et resultat på -2,5, svarende til at lokalets indeklima ikke har været acceptabelt til det brug lokalet har været udsat for i de pågældende to uger (Figur 10 A og B, Tabel 14). Initiativet, med forsøg på adfærdsændring, så der udluftes når der ikke er undervisning, har formentlig og ud fra en vurdering baseret på CO₂ målingerne, bevirket, at luften i starten af undervisningen efter frokostpausen ikke har føltes tung. Adfærdsændringen har dog ikke bevirket, at lokalets indeklima har været acceptabelt til den pågældende belastning i de pågældende uger hverken før eller efter adfærdsændrings-initiativet.

Temperatur

Temperaturen målt i lokale 13 ligger generelt meget stabilt i både før- og eftersituationen og den generelle score for temperaturen er acceptabel og antager en positiv værdi både før og efter forsøg med adfærdsændring (figur 11 B og G). Den generelle score for temperatur skal ses i lyset af at udetemperaturen i perioden målt efter initiativet ikke ligge langt fra inde-komfort temperaturene. Vindues-åbning har generelt været fortaget ved middagstid vurderet ud fra CO₂ målingerne i indeværende case, men har ikke bevirket at indetemperaturen ændres til det uacceptable.

Relativ fugtighed

Evaluerings-scoren for fugtigheden er både i før- og efter-situationen positiv og fugtighed lader ikke til at være et problem i perioden der er analyseret. Der er generelt en lav fugtighed, der kan have føltes tør. Tør luft kan skyldes støv.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Støj

Der er et generelt højt støjniveau, hvilket gælder for både før og efter renoveringen. I op til 69% (før adfærdsinitiativet) og 47% (efter adfærdsinitiativet) af tiden ligger det generelle støjniveau på udvalgte dage over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes til at være acceptabelt (Støjmålinger <60 dB vurderes her acceptable).

Målingerne af støj-peak viser ligeledes forekomst af særdeles høj lyd, hvor lyden på udvalgte dage i over 87% af tiden ligger over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes acceptabelt (data ikke vist her).

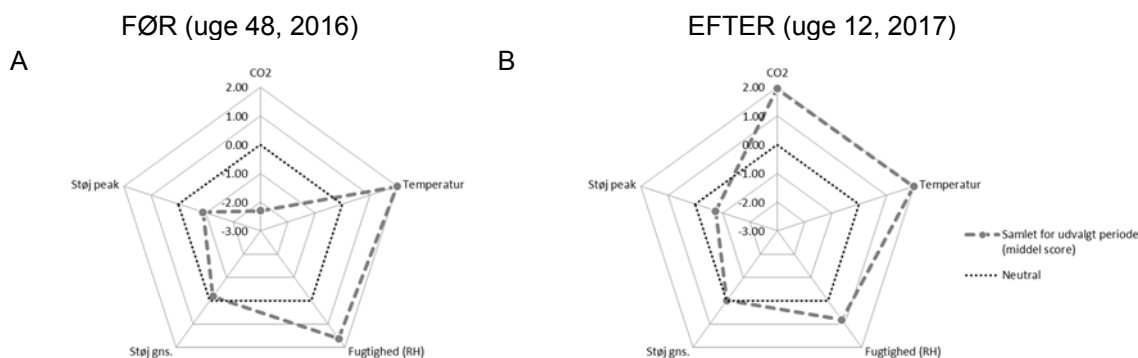
Adfærdsinitiativet har ikke haft støjreduktion som primære fokus, men der er måske en tendens mod en forbedring af lydforholdene som følge, da den daglige samlede score i 5 ud af 5 dage før adfærdsinitiativet vurderes negativt hvilket i efter-situationen er reduceret til 4 ud af 5, og scoren generelt er højere (Tabel 15). Det kan dog ikke udelukkes at dette resultat er en tilfældighed på baggrund af valget af dage og aktiviteter for i lokalet. Analyse af data fra flere dage vil være nødvendig for at kunne vurdere om der reelt er en forbedring, og at tendensen ikke er som følge af ændret adfærd eller forskel i belastningen af lokalet.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

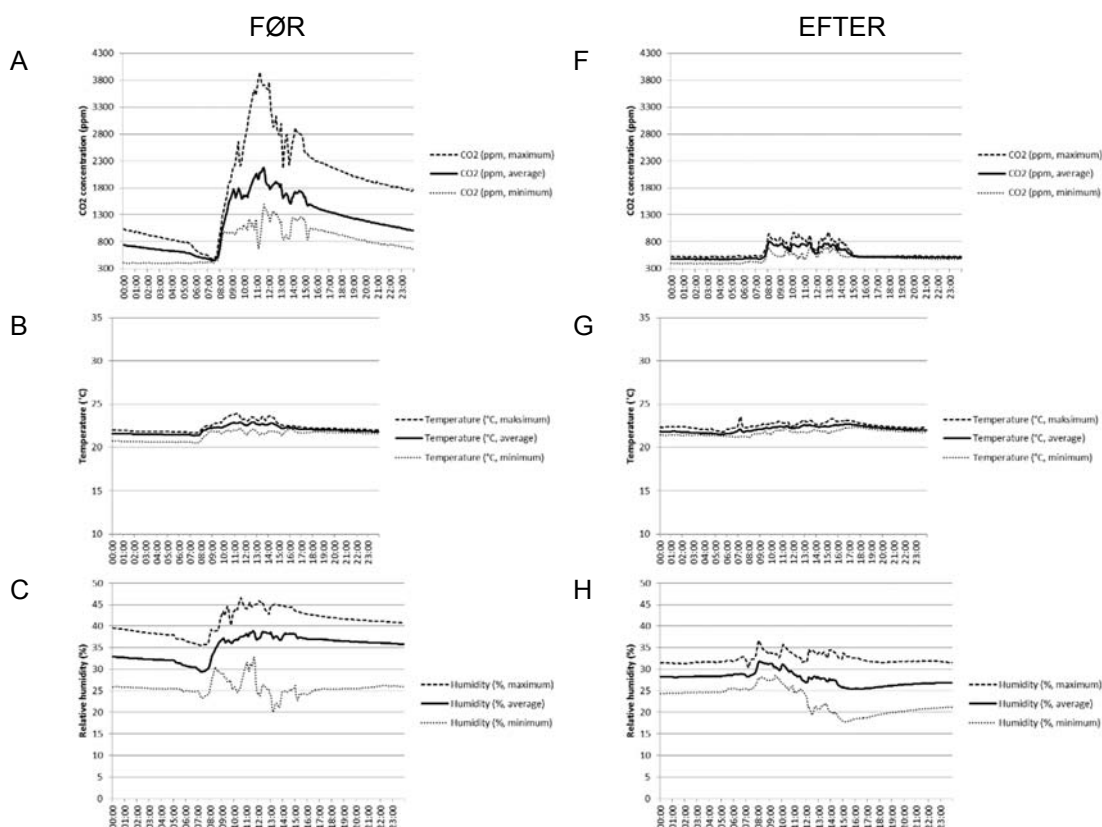
Lokale 15 - Decentral ventilation med sive loft og LED-belysning, Resultat

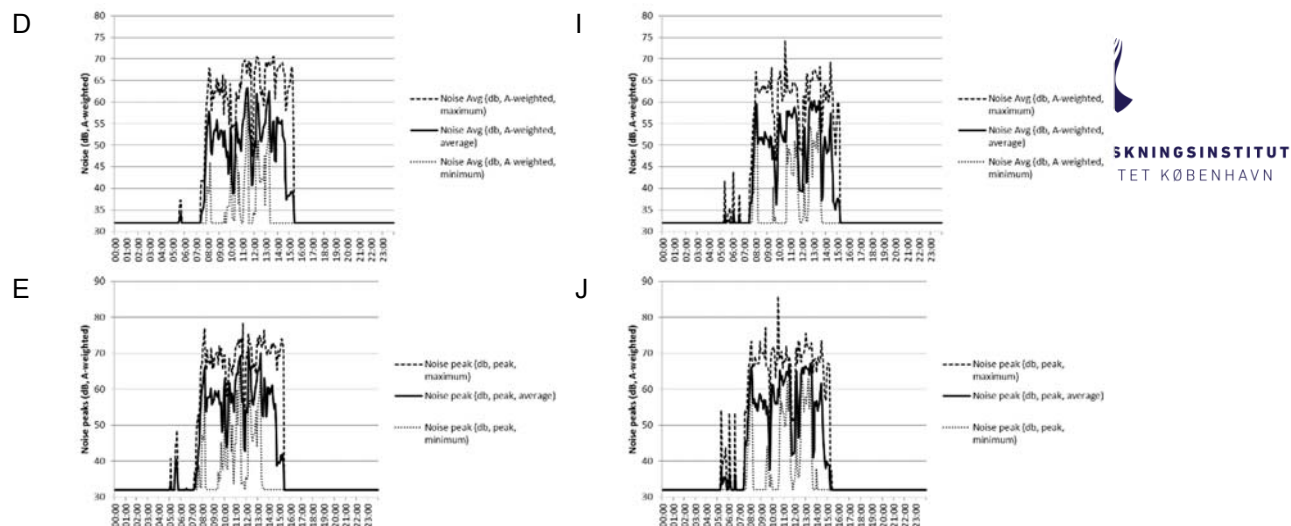
Overordnet evaluerings-score for indeklima-parametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget før og efter renoveringen af lokale 15 ses i figur 12 A og B. Tolkningen er, at hvis et punkt (scoren) er indenfor den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster, der har været i den pågældende uge.



Figur 12: Beregnet samlede score for lokale 15 for CO₂, temperatur, fugtighed og støj målt hhv. før (A) og efter (B) renoveringen af lokalet i udvalgt periode. Data analyseret er fra tidsrummet mellem kl. 8 og 15 fra mandag til fredag i hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (B). Er punktet (scoren) indenfor den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster der har været i den pågældende uge.

Maksimum, gennemsnit og minimum værdier for indeklima-parametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget i en udvalgt uge hhv. før og efter renoveringen af lokale 15 ses i figur 13 A til J.





Figur 13: Maksimum, gennemsnit og minimumsværdier som indeklimaparametrene CO₂ (A og F), temperatur (B og G), fugtighed (C og H) og støj (D, E, I og J) i lokale 15 hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A-F) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (G-J). Data medtaget i figurerne er beregnet for dagene mandag til fredag (hverdagene).

Tabellerne nedenfor viser i procent af tid hvad de gennemsnitslige CO₂-koncentrationer har været i de forskellige niveauer. Her er det værd at bemærke at der er dage før renoveringen, hvor CO₂-koncentrationen i op til 79% af tiden ligger over 2000 ppm, og i op til 97% af tiden over 1000 ppm, hvilke er CO₂-niveauer, der slet ikke forekommer efter renoveringen og som vurderes til at være uacceptabelt høje koncentrationer. Ventilationsanlægget formår til fulde og måske til overmål at holde CO₂ koncentrationen på et acceptabelt niveau. Driften af anlægget og en vurdering af om hvorvidt en justering af anlægget kan resultere i et lavere energiforbrug, uden at det mærkbart påvirker luftkvaliteten, bør overvejes.

Tabel 16: Beregning af tid og gennemsnit CO₂ koncentrationer når indeklimaet i Lokale 15 før og efter renoveringen der har været kategoriseret hhv. godt, mindre godt, skidt og uacceptabelt.

		Godt		Mindre godt		Skidt		Uacceptabelt		
		Gns. CO ₂ konc. <900	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. 900-999	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. 1000 - 1999	%-del af tid	Gns. CO ₂ konc. ≥2000	%-del af tid	Daglig samlede score (min = -2,5)
Lokale 15, Før renove-	Man-dag	849	8	915	5	1296	75	2224	12	-2.5
	Tirsdag	764	7	-	0	1541	73	2445	20	-2.5
	Onsdag	704	1	949	1	1461	87	2290	11	-2.5
	Torsdag	782	2	966	20	1465	78	-	0	-1.5
	Fredag	745	4	994	1	1683	17	2906	79	-2.5
Lokale 15, Efter renove-	Man-dag	723	100	-	0	-	0	-	0	2.0
	Tirsdag	772	89	946	11	-	0	-	0	1.8
	Onsdag	710	99	900	1	-	0	-	0	2.0
	Torsdag	619	100	-	0	-	0	-	0	2.0
	Fredag	679	100	-	0	-	0	-	0	2.0

Tabel 17 viser hvordan støj målt i lokale 15 hhv. før og efter renovering for-
 deler sig tidsmæssigt for en udvalgt uge indenfor kategorierne 'Godt', 'Min-
 dre godt' og 'Skidt'.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
 AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Tabel 17: Fordeling af støj målt i lokale 15 før og efter renovering der tidsmæssigt for en udvalgt uge
 fordeler sig indenfor kategorierne 'Godt', 'Mindre godt' og 'Skidt'.

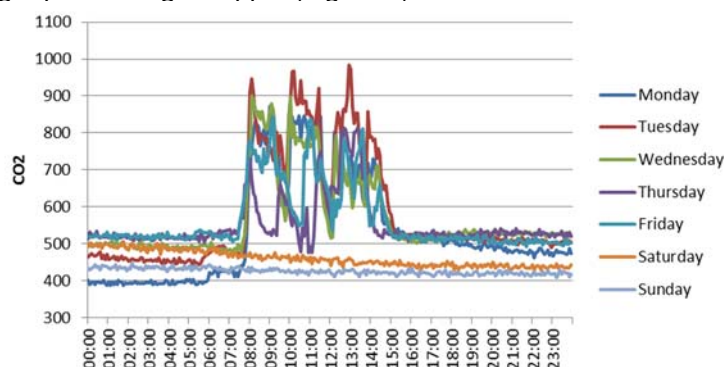
		Godt		Mindre godt		Skidt		
		Gns. støj <40 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj 40-60 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj >60 dB(A)	%-del af tid	Daglig samlede score (min = - 2,5)
Lokale 15, Før	Mandag	37.1	4.8	53.6	61.9	63.5	33.3	-0.57
	Tirsdag	34.5	20.2	51.5	46.4	65.9	33.3	-0.26
	Onsdag	32.6	11.9	52.9	57.1	63.5	31.0	-0.38
	Torsdag	32.5	46.3	51.9	22.0	66.0	31.7	0.29
	Fredag	33.4	19.0	52.8	60.7	62.4	20.2	-0.02
Lokale 15, Efter	Mandag	33.8	7.1	54.1	57.1	62.3	35.7	-0.57
	Tirsdag	34.9	21.4	54.4	60.7	64.6	17.9	0.07
	Onsdag	34.5	19.0	52.3	51.2	63.2	29.8	-0.21
	Torsdag	32.7	51.2	52.0	38.1	64.2	10.7	0.81
	Fredag	33.3	25.0	54.6	42.9	63.4	32.1	-0.14

Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 15)?

CO₂

Den samlede score for CO₂-koncentrationen i lokale 15 før renoveringen gav
 et negativt score resultat, svarende til at lokalets indeklima IKKE har været
 acceptabelt til det brug lokalet har været udsat for i den pågældende uge før
 renoveringen (Figur 12). Dette er efter renovering ændret til at være klart ac-
 ceptabelt i situationen efter renoveringen hvor de målte CO₂ koncentrationer
 alle er under 1000 ppm (Table 16).

Af graferne på CO₂ koncentrationen set over tid per dag kan man se, at CO₂
 koncentrationen stort set ikke når ned på udendørs CO₂ koncentrationen der
 ligger på omkring 400 ppm (Figur 14).



Figur 14: CO₂ koncentrations-kurver for mandag til søndag i uge 12, 2017, målt i lokale 15 efter renoveringen. Koncentrationen ligger generelt over udendørs CO₂ koncentration før start af lokalebrug omkring og før kl. 8:00.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Ventileres der minimalt, for f.eks. at reducere energiforbruget, således at CO₂ koncentrationen ikke når ned på ude-CO₂-koncentrationen når lokalet ikke er i brug, så kan det have betydning for den gennemsnitslige CO₂ koncentration i et lokale. En sådan situation er aktuel for lokale 15, dvs. observeret efter renoveringen. Figur 14 viser at CO₂-koncentrationen i lokale 15 kun mandag morgen (efter en weekend) når helt ned på, hvad der svarer til ude-CO₂-koncentrationen omkring de 400 ppm. En evt. manuel og kortvarig udluftning inden brug af lokalet vil kunne sikre et lavere CO₂ koncentrationsniveau som udgangspunkt for dagen og dermed et generelt lavere gennemsnitslig CO₂ koncentration i lokalet under brug. Udskiftning af luften medfører dog en risiko for tab af energi knyttet til indeluften, som oftest indeholder mere energi end udeluften. At CO₂-koncentrationen ikke sænkes til ude-niveau vurderes dog ikke at have nogen praktisk betydning, da der generelt ventileres yderst tilfredsstillende. Øvrig luftforurening og ophobning af gasser som ikke stammer fra personbelastningen, forventes at være minimal pga. den høje udluftningsrate når lokalet er i brug.

Temperatur

Temperaturen målt i lokale 15 ligger generelt meget stabilt i både før- og eftersituationen (figur 13 B og G) og den generelle score for temperaturen er acceptabel og antager en positiv værdi både før og efter renoveringen (Figur 12). Temperaturen er generelt mere stabil i situationen efter renoveringen (Figur 13 G).

Relativ fugtighed

Evaluerings-scoren for fugtigheden er både i før- og efter-situationen positiv og fugtighed lader ikke til at være et problem i perioden der er analyseret (Figur 12). Der er generelt en lav fugtighed, der kan have følt tør. Tør luft kan skyldes støv.

Støj

Der er et generelt højt støjniveau, hvilket gælder for både før og efter renoveringen. I op til 33% (før renoveringen) og 35% (efter renoveringen) af tiden ligger det generelle støjniveau på udvalgte dage over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes til at være acceptabelt (Tabel 17, Støjmålinger <60 dB vurderes her acceptable).

Målingerne af støj-peak viser ligeledes forekomst af særdeles høj lyd, hvor lyden på udvalgte dage i over 76% af tiden ligger over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes acceptabelt (data ikke vist her).

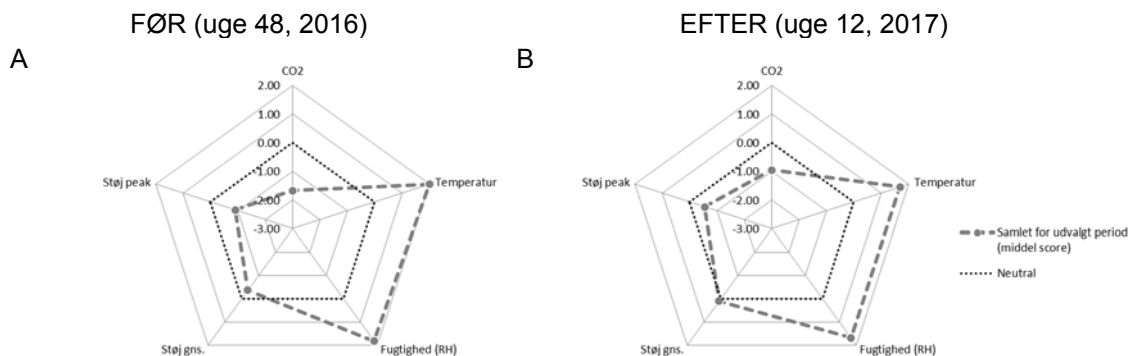
Renoveringen har ikke haft støjreduktion som primære fokus. Det oprindelige Troldekt-loft blev skiftet ud med et nedsænket "siveloft" af gipsplader med små huller hvorigennem udluftningen foretages. Der er måske en tendens mod en forbedring af lydforholdene som følge, da den daglige samlede score i 4 ud af 5 dage før renoveringen vurderes negativt hvilket i efter-situationen er reduceret til 3 ud af 5 (tabel 17). Scoren for støj gns. er dog overordnet set på samme niveau før som efter renoveringen. Det kan ikke udelukkes at resultatet er en tilfældighed på baggrund af valget af dage og aktiviteter for i lokalet. Analyse af data fra flere dage vil være nødvendig for at kunne vurdere om der reelt er en forskel, og at evt. forskel ikke er som følge af ændret adfærd eller forskel i belastningen af lokalet.

Lokale 16 – Referencelokale, Resultat

Overordnet evaluerings-score for indeklima-parametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget før og efter renoveringen af de øvrige lokaler vises her for lokale 16, som en referencemåling (figur 15 A og B). Tolkningen er, at hvis et punkt (scoren) er indenfor den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster, der har været i den pågældende uge.

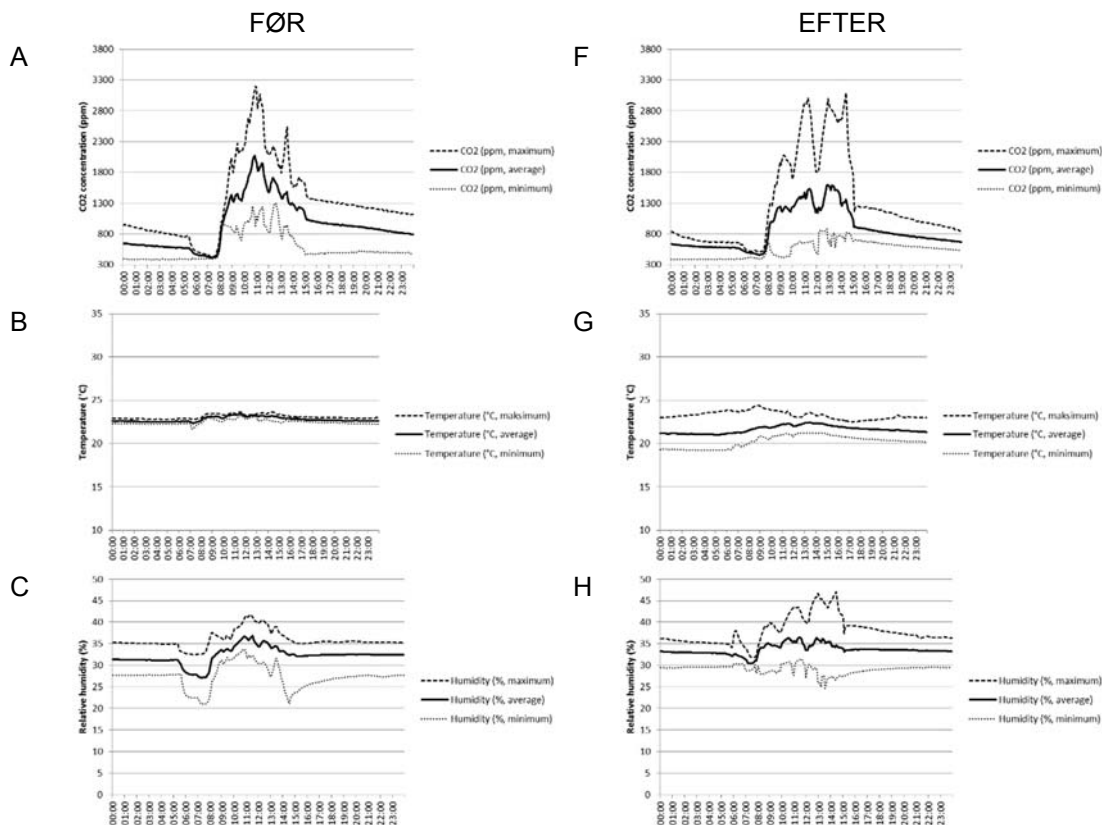


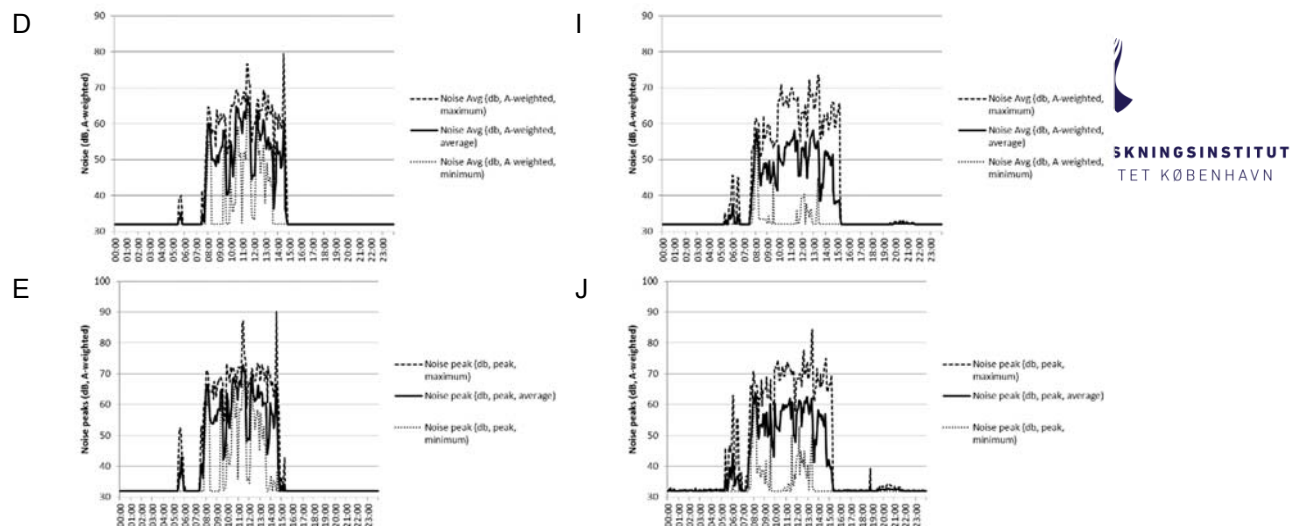
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN



Figur 15: Beregnet samlede score for referencelokale 16 for CO₂, temperatur, fugtighed og støj målt hhv. før (A) og efter (B) renoveringen af de øvrige lokaler i udvalgt periode. Data analyseret er fra tidsrummet mellem kl. 8 og 15 fra mandag til fredag i hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (B). Er punktet (scoren) indenfor den stiplede linje, der angiver neutral vurdering, så vurderes lokalet at være utilstrækkeligt til det brugsmønster der har været i den pågældende uge.

Maksimum, gennemsnit og minimum værdier for indeklima-parametrene, på baggrund af IC-meter målinger foretaget i en udvalgt uge hhv. før og efter renoveringen af øvrige lokaler. Reference lokale 16 ses i figur 16 A til J.





Figur 16: Maksimum, gennemsnit og minimumsværdier som indeklimaparametrene CO₂ (A og F), temperatur (B og G), fugtighed (C og H) og støj (D, E, I og J) i lokale 16 hhv. uge 48, d. 28. november til 4. december 2017 (A-F) og uge 12, d. 20. til 26. marts 2017 (G-J). Data medtaget i figurerne er beregnet for dagene mandag til fredag (hverdagene).

Tabellerne nedenfor viser i procent af tid hvad de gennemsnitslige CO₂-koncentrationer har været i de forskellige niveauer (Tabel 18). Det er værd at bemærke at der er dage før renoveringen (af øvrige lokaler), hvor CO₂-koncentrationen i op til 57% af tiden ligger over 2000 ppm, og i op til 94% af tiden over 1000 ppm. Lignende CO₂-niveauer, forekommer i "efter renoveringen"-situationen. Der forekommer altså CO₂-niveauer der er uacceptabelt høje i både før- og eftersituationen i referencelokalet.

Tabel 18: Beregning af tid og gennemsnit CO₂ koncentrationer når indeklimaet i Lokale 16 (referencelokalet) før og efter renoveringen af øvrige lokaler, der har været kategoriseret hhv. godt, mindre godt, skidt og uacceptabelt.

		Godt		Mindre godt		Skidt		Uacceptabelt		
		Gns. CO2 konc. <900	%-del af tid	Gns. CO2 konc. 900-999	%-del af tid	Gns. CO2 konc. 1000-1999	%-del af tid	Gns. CO2 konc. ≥2000	%-del af tid	Daglig samlede score (min = -2,5)
Lokale 16, Før renovering	Mandag	772	4	939	2	1492	37	2362	57	-2.5
	Tirsdag	821	2	980	1	1567	96	-	0	-1.9
	Onsdag	822	7	957	8	1182	85	-	0	-1.5
	Torsdag	744	39	944	25	1329	36	-	0	0.1
	Fredag	736	4	945	5	1525	69	2658	23	-2.5
Lokale 16, Efter renovering	Mandag	774	2	-	0	1713	56	2572	42	-2.5
	Tirsdag	695	15	968	6	1246	79	-	0	-1.3
	Onsdag	795	14	982	2	1427	52	2479	31	-2.5
	Torsdag	642	79	919	20	1044	1	-	0	1.6
	Fredag	774	42	953	14	1105	44	-	0	0.0

Tabel 19 viser hvordan støj målt i reference-lokale 16 hhv. før og efter (renoverings-tiltag af øvrige lokaler) fordeler sig tidsmæssigt for en udvalgt uge indenfor kategorierne 'Godt', 'Mindre godt' og 'Skidt'.

Tabel 19: Fordeling af støj målt i lokale 16 før og efter renovering der tidsmæssigt for en udvalgt uge fordeler sig indenfor kategorierne 'Godt', 'Mindre godt' og 'Skidt'.

		Godt		Mindre godt		Skidt		
		Gns. støj <40 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj 40-60 dB(A)	%-del af tid	Gns. støj >60 dB(A)	%-del af tid	
Lokale 16, Før	Mandag	32.1	8.3	53.9	48.8	65.5	42.9	-0.69
	Tirsdag	33.8	11.9	51.7	72.6	63.7	15.5	-0.07
	Onsdag	33.0	14.3	51.6	50.0	63.7	35.7	-0.43
	Torsdag	32.2	36.9	51.5	23.8	64.2	39.3	-0.05
	Fredag	32.8	10.7	52.2	50.0	63.2	39.3	-0.57
Lokale 16, Efter	Mandag	36.9	16.7	54.2	45.2	61.8	38.1	-0.43
	Tirsdag	33.4	3.6	54.0	81.0	65.7	15.5	-0.24
	Onsdag	33.3	17.9	50.8	40.5	66.4	41.7	-0.48
	Torsdag	32.8	81.5	50.9	17.3	62.8	1.2	1.60
	Fredag	33.0	23.8	52.4	56.0	62.6	20.2	0.07

Diskussion: Hvad viser figurerne og hvad ligger bag (lokale 16)?

CO₂

Den samlede score for CO₂-koncentrationen i referencelokale 16 både før og efter-situationen gav et negativt score resultat, svarende til at lokalets indeklime ikke har været acceptabelt til det brug lokalet har været udsat for i de pågældende uger (Figur 15).

Høje CO₂-koncentrationer er tegn på mangelfuld ventilation hvilket kan have stor betydning for luftkvaliteten og indeklimeet. Luftforurening og ophobning af gasser som ikke stammer fra personbelastningen, forventes ligeledes at være høj.

Temperatur

Temperaturen målt i lokale 16 ligger generelt meget stabilt i både før- og efter-situationen (figur 16 B og G) og den generelle score for temperaturen er acceptabel og antager en positiv værdi både før og efter renoveringen (figur 15 A og B). Temperaturen har generelt større udsving i efter-situationen, hvilket formentlig skyldes udefra kommende sol-indstråling grundet tidspunktet og årstiden for målingen (Figur 16 B og G).

Relativ fugtighed

Evaluerings-scoren for fugtigheden er både i før- og efter-situationen positiv og fugtighed lader ikke til at være et problem i perioden der er analyseret (Figur 15 A og B). Der er generelt en relativ lav fugtighed, der kan have føltes tør (Figur 16 C og H). Tør luft kan skyldes støv.

Støj

Der er et generelt højt støjniveau, hvilket gælder for både før- og eftersituationen for referencelokale med nr. 16. I op til 43% (før-situationen) og 42% (efter-situationen) af tiden ligger det generelle støjniveau på udvalgte dage over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes til at være acceptabelt (Tabel 19, Støjmålinger <60 dB vurderes her acceptable).

Målingerne af støj-peak viser ligeledes forekomst af særdeles høj lyd, hvor lyden på udvalgte dage i over 75% af tiden ligger over niveauet til hvad der i indeværende case vurderes acceptabelt (data ikke vist her).

Det opsatte Troldekt-loft burde for støj-reduktionsformål måske suppleres med yderligere støjreducerende foranstaltninger. Den daglige samlede score er i 8 ud af 10 dage negativ, hvilket vidner om generel høj aktivitet i lokalet. Der er ingen grund til at antage at der er et generelt ændret akustik i rummet i efter-situationen i forhold til før-situationen i referencelokalet, men i målingerne ses en tendens til at støjniveauet i før-situationen generelt er lidt højere end i efter-situationen (Figur 16, D *versus* I og E *versus* J). Torsdag medtaget i ugen i efter-situationen har generelt et noget lavere støj-niveau, som kan være forårsaget af manglende aktivitet, som igen kan have påvirket den samlede gennemsnitslige vurdering.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

NOTE ang. data fra CTS-anlæg versus uafhængige målinger.

Eksemplet med IC-meter data og kalibrering af CO₂ målinger viser (se afsnittet "Udfordringer med CO₂ målinger" under lokale 11): at målingerne ikke bliver bedre end udstyret tillader! Det samme gælder for de sensorer og det måleudstyr, som måler for at give information til styringen af f.eks. ventilations eller varmeanlægget. Det er yderst vigtigt at sensorer til styring er pålidelige og at de tjekkes med jævne mellemrum, og der bør derfor være en plan for eftersyn og indregulering af sensorer og systemerne.

Det er muligt at tjekke og analysere på data fra CTS-anlæg, som f.eks. data fra KNX-anlægget i vores case på Skovlundeskole Nord, for at se om systemerne fungerer. Sensorer der giver information til styringen vil dog aldrig reelt kunne fungere til at tjekke om indeklimaet også er, som anlæggenes sensorer har målt det. Dette kræver uafhængige sensorer og målinger (hvilke reelt set også kan være koblet på CTS-anlægget). Måler en sensor til styringen af f.eks. ventilationen generelt for lave CO₂ koncentrationer, så kan der sagtens opstå den situation, at det hele ser fint ud på CTS-anlæggets grafer uden der reelt ventileres nok, eller i modsat fald, at der ventileres for meget fordi målingerne af CO₂ koncentration generelt er for høje.

Placeringen af sensorerne er i denne sammenhæng også vigtig. Dvs. foretages målingerne, der hvor personer er eller f.eks. i en ventilationskanal?



- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118–133. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>
- DCUM. (2017). Den rette temperatur. DCUM. Retrieved from [http://www.emu.dk/sites/default/files/Den rette temperatur.pdf](http://www.emu.dk/sites/default/files/Den%20rette%20temperatur.pdf)
- DS/EN-15251. (2015). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Danish Standards (DS), Charlottenlund.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Heschong Mahone Group. (1999). Daylighting in Schools - An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance. The Pacific Gas and Electric Company. Retrieved from <https://www.pge.com/includes/docs/pdfs/shared/edusafety/training/pec/daylight/SchoolsCondensed820.pdf>
- IEC-61672. (2003). Electroacoustics - Sound Level Meters - Part 1: Specifications. Nederlands Normalisatie Instituut (NNI).
- ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization (ISO), CR 1752, Geneva,.
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO₂ an indoor pollutant? direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677. <http://doi.org/10.1289/ehp.1104789>
- Tanner, C. K. (2009). Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381–399. <http://doi.org/10.1108/09574090910954864>

Bilag 1: Skovlunde skole, afdeling Nord, beskrivelse, lokaleoversigt og udførte tests



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Beskrivelse af case-bygning

Skovlunde skole, afdeling Nord, er bygget op med en central undervisningsfløj (fløj 5) ligger placeret i retning nord-syd, med undervisningslokaler med vinduer, der vender hhv. mod øst og mod vest. Den er bygget i etager opdelt med en kælder, der hovedsageligt huser faglokaler (Natur/teknik, håndarbejde, formning) hvorover der er to etager, der begge har en central gennemgående fordelingsgang med undervisningslokaler på begge sider af gangen. Gang og undervisningslokaler over kælderen huser klassetrin fra 0. til 4. klasse samt Børne Fritidsordning (BFO), mens "overgangen" huser bibliotek og lokaler til 5. til 9. klassetrin. Klassetrin hørende til "mellemtrinnet" er således fordelt på to etager. Der er to spor/klasser for hver elev-årgang. Det er denne fløj af Skovlunde Skole, Afdeling Nord som projektet har fokuseret indsatsen omkring.

Der blev i valget af lokaler til projektet lagt vægt på at lokalerne var forholdsvis sammenlignelige på flere planer. Undervisningsfløjen har forholdsvis ens lokaler, og at aldersgruppen var således at spørgeskema analyser gav mening at foretage. Både lokaler orienteret i østlig og vestlig retning blev valgt. Ved undervisningsfløjens nordlige ende ligger en aktiv jernbane (s-togs drift). Lokaler med vinduer mod vest har udsigt til skolegården (ofte aktivitet med boldspil på asfalt) Tilgang til og udgang fra "overgangen" foregår via trappeopgang i midten af bygningen ud til skolegården eller i enden mod nord:



De øst-vendte undervisningslokaler har udsigt til en natur-legeplads med forskellige bevoksningstyper og legeredskaber. Til legepladsen er der adgang via en svalegang for etagen med 0. til 4. klassetrin, samt adgang fra faglokalerne placeret i kælderen:



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Projektet omfatter 4 undervisningslokaler på "overgangen", og der udføres forskellige løsninger i de fire lokaler. I 2 lokaler udførtes nye akustiklofter og belysning, i 3 lokaler udføres forskellige kombinationer af mekanisk og naturlig ventilation, i 2 lokaler blev der skiftet vinduer.

Skolens drift, vision mm.

Skolen består af to afdelinger, der drives som selvstændige enheder på hver deres lokalitet, hhv. Afdeling Syd og Afdeling Nord. På Afdeling Nord, er der en fast lærerstab og hver klasse har én tilknyttet klasselære og forskellige tilknyttede faglærere.

Typisk er der ikke krav til eleverne på "overgangen" om at de skal forlade undervisnings-lokalet i frikvarterene (modsat tilfældet på etagen under).

Rengøring foretages typisk inden undervisningsstart om morgenen.

Skrivelse vedr. Ballerup kommune skolers vision:

https://ballerup.dk/sites/default/files/fremtidens_skole_ballerup.pdf

Varmesystemet

Varmesystemet er opbygget som et centralt system sammenhængende med den øvrige del af skolen (inkl. en blindeskole og en svømmehal) og opvarmningen foregår ved termostaterede radiatorer monteret under vinduerne ud mod facaderne. Af energispare hensyn var anlægget både før og efter renoveringen indstillet således, at der forekom en mindre natsænkning af temperaturen.

Oprindelig ventilation

Ventilationen foregik inden renoveringen via indvendige trækkanaler i murene omkring gangarealerne og via åbninger ind til undervisningslokalerne. Udsugnings-anlægget var drevet af en central ventilator placeret på loftet af undervisningsfløjen. Aktivt udsug blev foretaget i tidsrummet mellem kl. 7:00 og 16:00.

Vinduerne

Vinduerne er af forskellig alder, dog alle som to lags termoruder og ældre end 10 år. Generelt gælder at der før renoveringen er konstateret problemer med PCB-holdige fuger i forbindelse med vinduerne. Vinduer og døre åbner udad.

Solafskærmning

Solafskærmning monteret mod øst (se figur herunder) fungerer som et udvendigt rullegardin, med en screen, der er delvist transparent. Dette gælder på begge etager med undervisningslokaler.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN



Hvor solafskærmningen med screen er monteret åbner vinduerne udad hvilket tidligere har givet udfordringer da systemet går i stykker når vinduerne er åbne og solafskærmningen kører ned. Hasper der forhindrer en for høj åbning er derfor blevet monteret. Ligeledes er de udad åbnende vinduer og dører blevet uhensigtsmæssige efter etablering af udvendig svalegang i forbindelse med etablering af udelegeplads.

Herud over er der monteret lyse gardiner i flertallet af undervisningslokalerne, som er i meget forskellig stand. Der er ikke udvendig solafskærmning monteret på vest-siden.

Elektrisk belysning

Elektrisk belysning er ikke konsekvent ens mellem lokalerne, men typisk er der monteret afskærmede lysstofrør i armaturer som er monteret direkte på lofterne. Derud over er der typisk en tavle-belysning, der kan tændes og slukkes separat. Der er en tilstedeværelses-sensor i hvert lokale, der sørger for at lyset slukker automatisk, såfremt at der ikke er nogen tilstede i lokalet.

AV-udstyr

Der forefindes et smart-board i hvert af undervisningslokalerne og typisk også en tavle til brug for kridt. Der er generelt få stikkontakter til brug for opladning af computere og telefoner mv. ud over hvad der er behov for ved tavlerne til underviseren.

Støj-regulering

Støjregulerende lofter i form af en grove papir-/træbeton plader (Troldekt) er monteret i de fleste undervisningslokaler. Der er ikke monteret støj-absorbanter på væggene. Gulve er belagt med hård grå linoleum for nem rengøring. Enkelte klasser på indskolingsniveauet har – formentlig på initiativ fra klasselæreren – monteret tennisbolde på stolebenene for at reducere støj fra stolens kontakt med gulvet, -når stolene flyttes rundt.

Udfordringer på loftet

Asbest er fundet på bygningens loft. Asbesten udgør ikke et problem som så, men gør at det umiddelbart svært at installere et centralt ventilations-system på loftet. Ophold på loftrum vil skulle foregå med forskellige værnemidler, hvilket vil give udfordringer med eftersyn og ved installering af et centralt ventilations-anlæg ved placering i loftrummet, hvor der ellers ville være

fint plads til dette. Taget på skolen vurderes ikke nødvendigt at udskifte før efter en gang om ca. 10 år.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Oversigt over skole og lokaleplacering for test af løsningsforslag

Lokale	Generel beskrivelse (Efterår 2016)	Før-måling situation (Uge 48, 2016)	Efter-måling situation (Uge 12, 2017)
11	Dimensioner: Areal: 7,7 m x 8,2 m = 63 m² Loftshøjde: 3,1 meter Orientering: mod vest (skolegården) Loft: lyddæmpende gips-lofter Lys-system: ændres Vinduer: ændres Solafskærmning: Indvendige lyse gardiner Ventilation: ændres Møblement og indretning: Elev-borde opstillet mod kateter og tavle placeret ved sydlig væg. Klassetrin: 6B (forår 2016)/ 5A (efterår 2016 og forår 2017) Antal elever: 16 (forår 2016)/ 21 (efterår 2016 og forår 2017)	Problem/fokus-områder: • PCB i vinduesfuger, • dårlig ventilation (kun centralt udsug), • lysstofrørs belysningsanlæg Kontekst: 	Løsningforslag og test: • Udskiftning af vinduer og • opsætning af Windowmaster system med vinduesåbner og friskluft anlæg med mekanisk varmegenvinding. • Opsætning af LED belysningsanlæg (nedhængt og forholdvis direkte rettet lys med tavle lys) og wall-washer ved østlige væg. I øvrigt: Gardinerne i lokale 11 passede ikke i vinduesåbningen efter montering af Windowmaster løsningen. Der blev derfor i første omgang ikke opsat gardiner. "Radiator"-regulering fortsat uafhængig af ventilations-løsning. 
12	Dimensioner: Areal: 10,8 m x 7,7 m = 83 m² Loftshøjde: 3,2 m Orientering: mod vest (skolegården) Materialer: Loft: Grov Troldekt loftsplader. Lys-system: Nedhængte runde opad-lysende armaturer og flere nedad-lysende. Tænd og sluk system. Separat styret tavle-lys. Vinduer:	Problem/fokus-områder: • PCB i vinduesfuger og • dårlig ventilation (kun centralt udsug) Kontekst: Forsøg vedr. hvorvidt det var muligt med naturlig ventilation at forbedre indeklimaet som midlertidig nødløsning.	Løsningforslag og test: vinduerne udskiftes og der monteres system der ved manuelt tryk eller ved forhøjet CO₂ koncentrationer kan indstilles til automatisk at åbne vinduerne. Udluftning i frikvarterene når temperaturen tillader det. 



	Solafskærmning: Indvendige lyse gardiner Ventilation: ændres Møblement og indretning: Elev-borde opstillet i grupper af 4, kateter og tavle placeret ved vinduerne mod vest. Klassetrin: 6A / 7B Antal elever: 20 / 19		
13	Dimensioner: Areal: 10,8 m x 7,7 m = 83 m² Loftshøjde: 3,2 m Orientering: mod vest (skolegården) Materialer: Loft: grov Troldekt Lys-system: Nedadrettede lysstof armaturer monteret på loftet i to rækker Vinduer: i hele den vestvendte side, tolags termoruder af ældre dato. Solafskærmning: Indvendige lyse gardiner Ventilation: mekanisk centralt udsug med ringe effekt. Møblement og indretning: spredte borde generelt orienteret mod kateteret og tavle placeret ved sydlige væg. Klassetrin: 9A / 8X Antal elever: 22 / 30?	Problem/fokus-områder: • PCB i vinduesfuger og • dårlig ventilation (kun centralt udsug) Kontekst: Forskellige tiltag mht. adfærd og brug af øvrige lokaler som aflastning for lokalet.	Løsningforslag og test: Vinduerne udskiftes og der blev foretaget forskellige workshops omkring indeklima og lavet forskellige tiltag mht. adfærd og brug af øvrige lokaler som aflastning for lokalet. 
15	Dimensioner: Areal: 6,2 m x 8,05 m = 49,9 m² Loftshøjde: 3,1 meter (før) 2,9 meter (efter) Orientering: Mod øst (svalegang/legepladsen) Materialer: Loft: ændres Lys-system: ændres Vinduer: For nyligt udskiftet Solafskærmning: Udvendige automatisk styret rullegardin, indvendige lyse gardiner Ventilation: ændres Møblement og indretning: Elev-borde opstillet mod	Problem/fokus-områder: • PCB i vinduesfuger, • dårlig ventilation (kun centralt udsug), • lysstofrørs belysningsanlæg Kontekst:	Løsningforslag og test: • Udskiftning af vinduer og • opsætning en kombineret belysning, ventilations- og akustikløsning. Et decentral Air-master 1000 (AM 1000) ventilationsanlæg med lavt energiforbrug, høj varmegenvinding og lavt lydniveau opsat således at det blæser frisk luft ind over det nedhængte akustikloft og suger luften ud under loftet

	kateter og tavle placeret ved nordlige væg. Klasse: 5A / 6A Antal elever: 18		• Opsætning af LED belysningsanlæg (nede hængt og forholdsvis direkte rettet lys med tavle lys) og wall-washer ved østlige væg 
16 (reference)	Areal: 6,2 m x 8,05 m = 49,9 m² Loftshøjde: 3,2 meter Orientering: Mod øst (svalegang/legepladsen) Materialer: Loft: grov Troldekt Lys-system: Nedadrettede lysstof armaturer monteret på loftet i to rækker Vinduer: i hele den østvendte side, tolags termoruder af ældre dato. Solafskærmning: Udvendige automatisk styret rullegardin, indvendige lysegardiner Ventilation: mekanisk centralt udsug med ringe effekt. Møblement og indretning: spredte borde generelt orienteret mod kateteret og tavle placeret ved sydlige væg. Klasse: 5B / 6B Antal elever: 18	Problem/fokus-områder: • PCB i vinduesfuger og • dårlig ventilation (kun centralt udsug) Kontekst: Ingen tiltag i dette lokale, men lokalet blev brugt som reference til sammenligning med indeklimaet for renoverede lokaler	
18 (reference)	Areal: 6,2 m x 8,05 m = 49,9 m² Loftshøjde: 3,2 meter Materialer: Loft: grov Troldekt Lys-system: Nedadrettede lysstof armaturer monteret på loftet i to rækker Vinduer: i hele den østvendte side, tolags termoruder af ældre dato. Solafskærmning: Udvendige automatisk styret rullegardin, indvendige lysegardiner Ventilation: mekanisk centralt udsug med ringe effekt.	Problem/fokus-områder: • PCB i vinduesfuger og • dårlig ventilation (kun centralt udsug) Ingen tiltag i dette lokale, men lokalet blev brugt som reference til sammenligning med indeklimaet for renoverede lokaler	

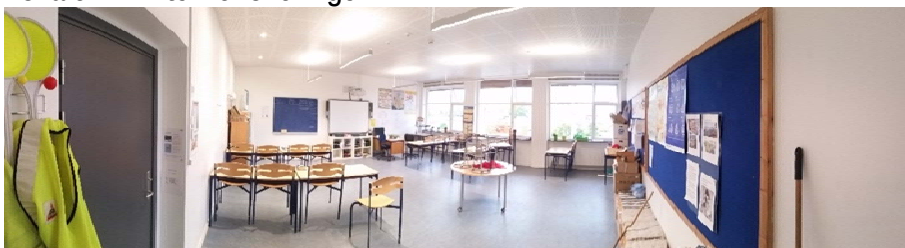


	Møblement og indretning: spredte borde generelt orienteret mod kateteret og tavle placeret ved syd- lige væg. Klasse: 7A / 7A Antal elever: 15 / 20		 STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN
--	---	--	---

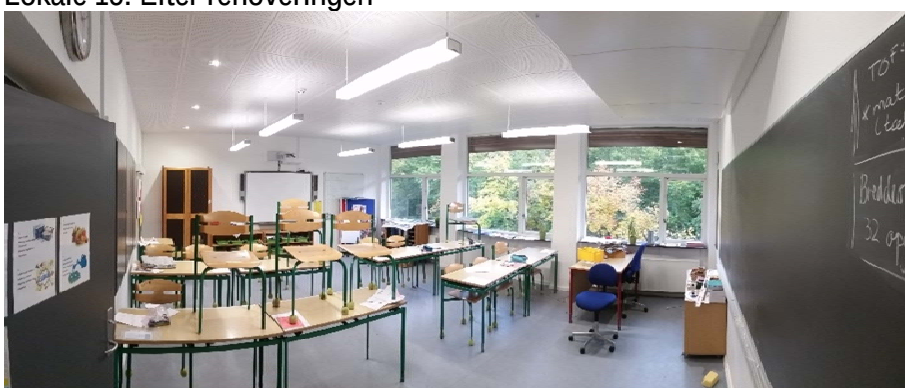


STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

Lokale 11: Efter renoveringen



Lokale 15: Efter renoveringen



Lokale 16: Reference-lokale

