



## Indeklima i skoler – Status og konsekvenser

**Toftum, Jørn; Wargocki, Pawel; Clausen, Geo**

*Publication date:*  
2011

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Toftum, J., Wargocki, P., & Clausen, G. (2011). Indeklima i skoler – Status og konsekvenser. FOA - Fag og arbejde.

---

### General rights

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

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

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

# Indeklima i skoler

## Status og konsekvenser

Udarbejdet af:  
Jørn Toftum, Pawel Wargocki og Geo Clausen  
Center for Indeklima og Energi  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Danmarks Tekniske Universitet

**FOA**  
FAGOGARBEIDE



# Indhold

1. Introduktion .....	1
2. Sammenfatning.....	2
3. Kort om indeklima.....	3
3.1 Luftkvalitet .....	3
3.2 Forureningskilder i bygninger .....	4
3.3 Termiske forhold .....	5
3.4 Symptomer forårsaget af indeklimaet.....	6
3.5 Sygdomme forårsaget af indeklimaet .....	6
4. Hvad siger reglerne?.....	7
5. Hvordan er indeklimaet i danske skoler? .....	9
5.1 Sammenligning med Sverige og Norge.....	14
5.2 Opsamling.....	16
6. Konsekvenser af dårligt indeklima i klasseværelser.....	17
6.1 Luftkvalitet i klasseværelser, indlæring og fravær .....	17
6.2 Temperaturen i klasseværelser og indlæring .....	19
6.3 Hvordan er de viste sammenhænge mellem indeklima og indlæring bestemt?.....	21
6.4 Betydningen af resultaterne .....	21
7. Hvad kan man gøre?.....	23
7.1 Når problemerne dukker op - de første indledende undersøgelser .....	23
7.2 Indeklimagener og indeklimasymptomer .....	23
7.3 Luftkvalitet .....	23
7.4 Næste skridt.....	23
7.5 Termiske forhold .....	24
7.6 Termisk klima - Konsekvenser og praktiske råd .....	25
7.7 Kortlægning af indeklimagener .....	25
8. Referencer / anbefalet læsning .....	27
8.1 Standarder og retningslinjer.....	27
8.2 Nyttige webadresser .....	27
8.3 Referencer.....	27

## 1. Introduktion

I den vestlige verden tilbringer mennesker op mod 90% af deres tid inden døre i hjemmet, i skolen, på arbejdspladsen samt i transportmidler. Det er efterhånden veldokumenteret, at indeklimaet har betydelig indflydelse på menneskers trivsel, sundhed og effektivitet. Det er også påvist, at børn er særligt følsomme overfor indeklimaets påvirkninger. Men hvor det er anerkendt, at dårligt indeklima i kontorbygninger ofte fører til indeklimasymptomer, som resulterer i nedsat produktivitet, har det længe stiltiende været accepteret, at skolebørn alt for ofte tilbringer de tidlige og vigtige år af deres uddannelse i utilstrækkeligt ventilerede klasseværelser med et indeklima, der formentlig aldrig ville blive accepteret af voksne.

Denne publikation opridser kort den eksisterende viden om indeklima i skoler og hvordan det påvirker elevernes velvære, sundhed og præstationer. Vores videngrundlag er langt fra komplet, men der er i dag ingen tvivl om, at der er en sammenhæng mellem de eksponeringer, der tilskrives indeklimaet og menneskers trivsel i skolen, på arbejdspladsen og i hjemmet.

Publikationen er skrevet til alle, der interesserer sig for indeklima i skoler. Vi har bestræbt os på at skrive i et klart sprog, der er forståeligt, selvom man ikke har f.eks. en videregående teknisk uddannelse. Dette har haft betydning for formen. Vi har således ikke kildehenvisninger i teksten, men henviser istedet til litteraturlisten sidst i publikationen.

En betydelig del af den forskning der udgør det videnskabelige grundlag for publikationen, er gennemført på DTU. Vi vil gerne her takke Dansk Naturvidenskabsfestival for samarbejdet omkring dataindsamling og Henriette Ryssing Menå og Eva Maria Larsen for data analyse som led i deres afsluttende projektarbejde på DTU.

## 2. Sammenfatning

Det er efterhånden veldokumenteret, at børn er særligt følsomme overfor indeklimaets utallige påvirkninger og at det kan gå ud over elevernes velvære og indlæring, hvis indeklimaet i klasseværelset ikke er godt nok. Alligevel viser omfattende og aktuelle undersøgelser i danske skoler, at 56% af de skoler, hvor der blev gennemført målinger, havde utilstrækkelig ventilation. I Sverige og Norge var de tilsvarende tal 16% og 21% og således betydeligt bedre end i Danmark. Ved at sammenligne skoler med forskellige ventilationsformer sås samme tendens i alle tre lande, at naturligt ventilerede skoler oftest var utilstrækkeligt ventilerede, mens skoler med mekanisk ventilation klarede sig noget bedre. Andelen af skoler med for høje eller for lave temperaturer i klasseværelset var betydeligt lavere.

Konsekvenserne af det utilstrækkelige indeklima i klasseværelser er vidtrækkende og omfatter både elever og lærere. Hvis man som udgangspunkt tager de krav, der gælder for ventilation i danske skoler og øger ventilationen, så den svarer til de svenske krav, forventes det, at elevernes præstation vil stige med op til 6%. Samtidig forventes elevernes fravær p.g.a. sygdom at falde med mellem 2.5% og 5%. Betydningen for lærerne er mere uklar, men skønnes at være mindre end for eleverne, bl.a. fordi voksne er bedre til at tilpasse sig indeklimaets påvirkninger. For høj temperatur er en anden faktor, som påvirker elever og lærere, og eksperimentelle resultater indikerer, at for hver 1°C temperaturen i klasseværelser sænkes under 25°C, øges præstationen med 2% til 4%.

Der er således tungtvejende grunde til at tilstræbe et godt indeklima i skolernes klasseværelser til gavn for elever og læreres trivsel, sundhed og ikke mindst elevernes indlæring.

### 3. Kort om indeklima

En lang række faktorer har indflydelse på indeklimaet. En fyldestgørende gennemgang af alle disse faktorer er ikke målet med dette afsnit. I stedet beskrives nogle af de vigtigste faktorer, som påvirker det indeklima, elever og lærere i en betydelig del af deres skole- og arbejdstid opholder sig i. Der er lagt mest vægt på at beskrive parametre med tilknytning til luftkvalitet og termiske forhold, hvilke først og fremmest afhænger af bygningens udformning, installationer og vedligeholdelsesstand. Samtidig er det også luftkvalitet og termiske forhold, der især udfordres af de stadigt strammere energikrav til bygninger.

Tilsammen udgøres indeklimaet af:

- luftkvalitet, beskrevet bl.a. ved luftens indhold af partikler, støv, gasser og dampe
- termiske forhold, bestemt bl.a. ved lufttemperatur, strålingstemperatur, lufthastighed og luftfugtighed
- lysforhold, beskrevet bl.a. ved lysstyrke, lysfarve, kontraster og reflekser
- lydforhold, beskrevet bl.a. ved lydstyrke og frekvensfordeling

Der er store forskelle på menneskers oplevelse af indeklima. Nogle er meget følsomme, mens andre stort set ikke bemærker om luften er indelukket eller temperaturen lav. De fleste kriterier for indeklima bygger på gennemsnitspersoner og det er vigtigt at bemærke, at nogle, heriblandt børn eller overfølsomme og allergikere, kan være langt mere følsomme og reagere kraftigere på indeklimaets påvirkninger end det forventes for en gennemsnitsperson. Det kan være svært at imødekomme disse særlige behov i klasseværelser hvor mange personer deles om indeklimaet i klasseværelset og hvor der kun yderst sjældent vil være mulighed for at tilpasse indeklimaet til individuelle ønsker og behov.

*Er indeklimaet utilstrækkeligt øges risikoen for gener og symptomer som hovedpine og irriterede øjne, og elevernes koncentration og dermed indlæringssevne kan blive nedsat. Udover selv at være udsat for det dårlige indeklima vil læreren samtidig skulle yde en ekstra indsats for at undervise en uopmærksom og måske støjende klasse. Det er oplagt, at lærerens oplevelse af arbejdsforholdene så vil blive påvirket negativt og at følgerne kan strække sig til udenfor skoletiden.*

#### 3.1 Luftkvalitet

Indeluft tilføres forurening fra mange forskellige kilder. I lokaler med høj persontæthed som i klasselokaler er det oftest personer selv, der er den mest betydende forureningskilde. Derudover tilføres luften forurening fra inventar og overflader, menneskers aktiviteter i bygninger, herunder rengøring – ja, i nogle områder kan selv udeluften bidrage til f.eks. partikkelkoncentrationen inden døre.

Byggematerialer må generelt ikke afgive gasser, dampe, partikler eller ioniserende stråling, der kan give anledning til utilfredsstillende sundhedsmæssige indeklimaforhold. Byggematerialer kan påvirke indeklimaet som følge af deres mekaniske egenskaber, kemiske sammensætning eller hvis de reagerer på for megen fugt eller høj temperatur. Eksempler på problematiske forhold er:

- Løse, nedsænkede loftsplader eller mineraluld (afgivelse af fibre og deponering af støv)

- Ubehandlede betonflader (cementstøv)
- Gulvtæpper (deponering af støv, mikrobiologisk vækst)
- Afgasning fra maling og lak

Ventilation er en vigtig faktor til begrænsning af forureningsniveauet. Ventilationsbehovet i et lokale bliver typisk bestemt ud fra viden og antagelser om forureningskilderne i et lokale. Tungt belastede lokaler som f.eks. et klasserum kræver mere ventilationsluft end et lokale med en lavere belastning for at kunne opretholde en tilfredsstillende luftkvalitet. For at undgå dårlig luft er det derfor vigtigt, at der er et passende forhold mellem ventilationen, størrelsen på rummet og antallet af personer, som opholder sig i det.

Mennesker påvirker indeluften med lugte, som gør, at luften ved utilstrækkelig ventilation opleves ubehagelig og indelukket. Tilvænnning til menneskeskabt lugt foregår dog relativt hurtigt, og det er derfor mest ved lokaleskift, at lugtproblemerne vil optræde.

Luftens indhold af CO<sub>2</sub> er et mål for, hvor godt et lokale er ventileret i forhold til, hvor mange personer, der er tilstede. CO<sub>2</sub> er en gasart, der findes mere af i menneskers udåndingsluft end i den omgivende luft. En stillesiddende, voksen person producerer omkring 17 l CO<sub>2</sub> per time, mens børn i de mindste klasser vil producere noget mindre. CO<sub>2</sub> er ikke i sig selv skadelig i de koncentrationer, vi normalt oplever inden døre, men nye undersøgelser har vist, at en forhøjet CO<sub>2</sub> koncentration kan påvirke vores evne til at træffe rationelle beslutninger.

CO<sub>2</sub> koncentrationen måles almindeligvis i enheden ppm (parts per million) som angiver antallet af CO<sub>2</sub> molekyler per million luftmolekyler. I udeluften er CO<sub>2</sub> koncentrationen omkring 380 ppm mens koncentrationen inde typisk ligger i intervallet 500 ppm til 2500 ppm.

De utallige materialer, der anvendes i bygninger bidrager i større eller mindre grad til den samlede luftforurening ved at afgive gasser og partikler. Afgasningen kan virke generende i form af lugt eller endda medføre symptomer som øjenirritation, hovedpine eller koncentrationsbesvær, som kan forekomme, selvom stofferne kun findes i små koncentrationer, formentlig fordi de til gengæld findes i meget stort antal (tusindevis). Endnu er der kun fastsat grænseværdier for nogle få stoffer, der har relation til indeklimaet. Et begrænset antal stoffer, som f.eks. formaldehyd, asbest eller radon, har kendte og alvorlige sundhedseffekter.

*I et klasselokale bør CO<sub>2</sub> koncentrationen ikke overstige 1000 ppm hvis luftkvaliteten skal opleves som tilfredsstillende.*

Afgasningen fra materialer og inventar er som regel værst når materialerne er nye. For at få en god luftkvalitet skal afgasning så vidt muligt reduceres og derfor bør man vælge materialer, der afgasser mindst muligt. Forskellige lande har forskellige mærkningsordninger som kan hjælpe med til at vurdere, om et materiale er indeklimavenligt. I Danmark er det Dansk Indeklima Mærkning, der klassificerer materialer ([www.teknologisk.dk/dim](http://www.teknologisk.dk/dim)).

### 3.2 Forureningskilder i bygninger

I Danmark har udeluften som regel en bedre kvalitet end indeluften. Men der kan være områder, f.eks. i omegnen af trafikerede veje, i stærkt trafikerede bycentre, i industrikvarterer eller omkring lufthavne, hvor en forøget koncentration af gasser, dampe og partikler reducerer udeluftens kvalitet.



Normalt er koncentrationen af organiske gasser og dampe inden døre 2-10 gange så høj som udendørs.

For at fjerne partikler fra udeluften og derved reducere tilsmudsningen af komponenterne i mekaniske ventilationsanlæg er disse udstyret med filtre. Efterhånden som filteret fyldes op (som en støvsugerpose) reduceres luftkvaliteten efter filteret. Da det i sidste ende er denne luft, der tilføres bygningen, er det vigtigt, at ventilationsfiltre udskiftes hyppigt og at anlægget i det hele taget vedligeholdes. Persontætheden i klasselokaler er typisk høj, hvilket stiller særlige krav til rengøringen. Ophobet støv og snavs kan blive ophvirvlet og afsat i slimhinderne i næse, øjne og mund og således forårsage indeklimasympptomer. For allergikere eller astmatikere kan der opstå alvorligere symptomer eller endda sygdomsanfald, hvis støvets indhold af mikrobiologisk materiale er højt. Rengøringsmidler indeholder meget forskellige duft- og aktive stoffer, hvoraf nogle kan være sundhedsskadelige og allergifremkaldende. Stofferne overføres typisk til luften ved fordampning i forbindelse med rengøringen.

Vækst af skimmelsvamp afhænger af fugtigheden i luften og i konstruktionerne. Lækager i røranlæg, utætte tage eller vinduer kan tilføre vand og give næring til uønsket skimmelvækst. Er luftfugtigheden inden døre høj om vinteren øges risikoen for kondensdannelse ved eventuelle kuldebroer i konstruktionen og dermed for svampevækst i eller på bygningens konstruktioner. Sporer fra skimmelsvamp er gode til at klæbe til støv, og jo længere støvet får lov at ligge, jo flere sporer indeholder det. Sporerne frigives til luften igen når der er bevægelse i lokalet og højere aktivitet hvirvler mere støv og dermed sporer op i luften. Relativt få mennesker er allergiske overfor sporer fra skimmelsvamp sammenlignet med dem, der er allergiske overfor pollen, visse fødevarer eller kæledyr. Svampesporer er ikke skadelige ved de koncentrationer, der normalt findes inden døre og hvis man er sund og ikke lider af allergi. Men hvis koncentrationen er høj og lokalet er fugtigt, kan der godt forekomme en karakteristisk muggen eller jordlignende lugt, der kan hjælpe med til afgøre, om der er skimmelvækst i bygningen.

### 3.3 Termiske forhold

Både luftens og overfladernes temperatur har betydning for komfortoplevelsen, forekomsten af symptomer og ikke mindst for, hvor oplagt man føler sig. Der findes klare vejledninger for temperaturen set i forhold til aktivitet og beklædning (se kapitel 3 om regler).

Udover temperaturen har også luftbevægelserne betydning for komfortoplevelsen. Træk, som er ubehagelig afkøling af huden forårsaget af luftbevægelser, forekommer på et eller andet tidspunkt i de fleste bygninger, ofte forårsaget af samtidig åbning af døre og vinduer i modstående eller vinkelrette facader eller til

gennemgangsrum (gennemtræk). Trækgener kan også opstå ved u hensigtsmæssig placering af skriveborde i forhold til ventilationssystemets indblæsningsåbninger eller ved dårligt design af ventilationssystemet, så det f.eks. tilfører et rum for kold luft ved for høj hastighed.

*Selv små forskelle i temperatur indenfor det termiske komfortområde kan imidlertid have betydning for hyppigheden af symptomer som tunghedsfornemmelse i hovedet, hovedpine og utilpashed og en stigning på få grader kan øge risikoen for, at symptomerne opstår. I klasselokaler er dette af særlig betydning fordi temperaturen ofte kan stige markant i løbet af en lektion.*

Undersøgelser har vist, at træk kan forekomme ved selv lave lufthastigheder når lufttemperaturen samtidig er under ca. 23°C. Dette skyldes primært, at selv små luftbevægelser føles ubehagelige, når de ændrer sig i størrelse og/eller retning. Ved temperaturer højere end 23°C er der mindre risiko for at luftbevægelser opleves ubehagelige.

Endvidere kan det være ubehageligt, at opholde sig i længere tid tæt ved en kold flade, f.eks. et stort, dårligt isolerende vindue. Faktisk kan det være svært for mennesker at skelne mellem ubehag forårsaget af kuldestråling og træk, da både stråling og konvektion kan forårsage lokal afkøling af huden. Strålingsasymmetri kan også stamme fra en varm flade, f.eks. en radiator.

### **3.4 Symptomer forårsaget af indeklimaet**

Indeklimasyntomer er en fælles betegnelse for en lang række af symptomer, der er blevet forbundet med indeklimaets påvirkninger. Symptomerne omfatter f.eks. slimhindeirritation i øjne, næse og svælg, hudirritation, samt almensymptomer som tunghedsfornemmelse i hovedet, træthed, koncentrationsbesvær og utilpashed. Symptomerne skyldes sjældent én bestemt påvirkning og kan også forårsages af andre faktorer end indeklimaet. Men når en gruppe af personer i samme bygning udviser samme symptomer betegnes fænomenet til tider SBS eller "Sick Building Syndrome" symptomer.

Hyppigheden af symptomer kan variere fra én bygning til en anden. Samtidig er det karakteristisk, at symptomerne kan blive reduceret i intensitet eller helt forsvinde efter at personen har forladt bygningen. Det er endnu uafklaret hvorfor symptomerne opstår, hvad der sker i kroppen og hvilke påvirkninger, der giver anledning til hvilke symptomer. Det antages, at symptomerne skyldes samvirkningen af en række forskellige indeklimapåvirkninger.

### **3.5 Sygdomme forårsaget af indeklimaet**

Indeklimaet kan også have relation til egentlige sygdomme som allergiske luftvejslidelser og luftvejsinfektioner. Koncentrationen af allergener i støv i klaseværelser er ofte høj, fordi allergenerne overføres fra tøjet på de børn, som har hyppig kontakt med kæledyr. Et ud af tre børn lider af allergi eller astma og disse lidelser er blandt de hyppigste fraværsårsager i skolen. Allergi og astma kan forværres af f.eks. skimmelsvampesporer i fugtskadede bygninger eller husstøvmider og allergikere og astmatikere kan opleve, at hyppigheden af anfaldene og intensiteten øges ved ophold i nogle bygninger.

I utilstrækkeligt ventilerede lokaler med høj persontæthed er der endvidere øget risiko for overførsel af luftbåren smitte mellem mennesker. Resultatet er en øget hyppighed af almindelige luftvejsinfektioner som forkølelse, ondt i halsen og mellemørebetændelse.

Indeklimaet er resultatet af utallige samvirkende faktorer – mange flere end beskrevet ovenfor. Påvirkningerne fra indeklimaet er mange, og konsekvenserne af det utilstrækkelige indeklima spænder lige fra let ubehag til alvorlige og kroniske sygdomme. Heldigvis går det kun sjældent så galt, men der er alligevel mange tungtvejende grunde til at tilstræbe et godt indeklima i skolers klasselokaler til gavn for trivsel, sygefravær og ikke mindst elevernes indlæring.

#### 4. Hvad siger reglerne?

Lov om elevers og studerendes undervisningsmiljø fremhæver, at "Elever, studerende og andre deltagere i offentlig og privat undervisning har ret til et godt undervisningsmiljø, således at undervisningen kan foregå sikkerheds- og sundhedsmæssigt fuldt forsvarligt". Hensigten er klar, men lovens formulering er ikke særlig funktionel ved design og drift af skolebygninger og det er derfor nødvendigt at anvende supplerende regler og retningslinjer for at kunne anvise, hvad der udgør det gode undervisningsmiljø.

I Danmark har der længe været diskussion af hvilke regler, der egentlig gælder for indeklimaet i klasselokaler. Læreren er omfattet af arbejdsmiljøloven og eleverne af undervisningsmiljøloven. Dansk Center for Undervisningsmiljø anbefaler, at den praksis, som gælder for ansatte, også bør følges i forhold til eleverne. Skolebygningerne skal leve op til det bygningsreglement, som var gældende på opførelsestidspunktet eller på tidspunktet hvor omfattende reoveringer blev gennemført. Med det seneste bygningsreglement (BR 2010 [www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk](http://www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk)) er det blevet tydeligere, hvilke kriterier indeklimaet og ventilationen i skolebygninger skal overholde og der er bedre overensstemmelse mellem de forskellige regelsæt end der tidligere har været.

I det følgende opridses nogle af de krav, der gælder for ventilation, luftkvalitet og termiske forhold i klasselokaler. Der findes en lang række yderligere krav, som der henvises til i afsnittet "Anbefalet læsning".

Ventilationsraten (ventilationsluftmængden) i skoler bestemmes ud fra forureningsbelastningen fra henholdsvis personer og bygning. Ventilationsraten for bygningen forudsætter, at der anvendes lavforurenende byggematerialer, som er omfattet af Dansk Indeklima Mærkning ([www.teknologisk.dk/dim](http://www.teknologisk.dk/dim)). Ventilationen i klasselokaler skal samtidig sikre, at CO<sub>2</sub> indholdet i indeluften ikke i længere perioder overstiger 0.1 % (1000 ppm). Både naturlig og mekanisk ventilation tillades, men er tilførslen af frisk luft gennem vinduer ikke tilstrækkelig, skal tilførslen ske ved mekanisk ventilation (ventilationssystem).

Udover lovgivningen i bygningsreglementet og arbejdsmiljøloven findes nu retningslinjer for frivillig klassificering af indeklimaets kvalitet i boliger, skoler, daginstitutioner og kontorer (DS 3033). Klassifikationen opdeles i fem klasser spændende fra det fremragende indeklima (klasse A++) med høj komfort til det ringe indeklima (klasse C) med risiko for negative helbredseffekter.

Klassificeringen omfatter i alt ni indeklimaparametre, der inkluderer ventilationsrate, CO<sub>2</sub> koncentration, termiske forhold, radon, formaldehyd, partikler, fugt/skimmelsvamp, lysforhold og akustiske forhold. Nedenstående tabel 1 viser klassegrænserne for skoler for udvalgte parametre:

Parameter	Klasser				
	A++	A+	A	B	C
Ventilationsrate (l/s m <sup>2</sup> )	2.5	2.5	2.5	1.9	<1.9
CO <sub>2</sub> (ppm)	800	1000	1200	1500	>1500
Termiske forhold					
- Tætte vinduer	Ja	Ja	Ja	Intet krav	Intet krav
- Vinduer med dobbelt glas	Ja	Ja	Ja	Ja	Intet krav
- Luftvarme uden andre varmegivere	Nej	Nej	Intet krav	Intet krav	Intet krav
- Store solbeskinnede vinduer uden solafskærmning	Nej	Nej	Nej	Intet krav	Intet krav
- Rumbaseret, justerbar, termostatbaseret temperaturstyring	Ja	Ja	Ja	Intet krav	Intet krav
- Varmekilder under alle vinduer	Ja	Ja	Intet krav	Intet krav	Intet krav

**Table 1.** Klassegrænser for skoler for udvalgte indeklimaparametre. Uddrag af DS 3033.

Bygningsreglementet og DS 3033 fastsætter ikke direkte grænser for acceptable temperaturer i klasselokaler, men det gør arbejdsmiljøloven, som gælder for lærerne. Da elever og læreren opholder sig i det samme lokale, kommer arbejdsmiljøloven indirekte eleverne til gode. Af Arbejdstilsynets vejledning om temperaturer i arbejdsrum fremgår det, at temperaturen som udgangspunkt ikke bør være lavere end 18°C eller højere end 25°C. Dette er nogenlunde i overensstemmelse med de lidt mere detaljerede anbefalinger i indeklimastandarder, hvor der typisk skelnes mellem vinter og sommer p.g.a. variationen i beklædning. De fleste indeklimastandarder anbefaler ved stillesiddende arbejde at holde temperaturen mellem 20 og 24°C når der er behov for opvarmning og ellers mellem 23 og 26°C. Er temperaturen lav, mellem 20 og 22°C, er det vigtigt også at holde lufthastigheden lav, mindre end 0.15 m/s, for at nedsætte risikoen for trækgener.

I vore skandinaviske nabolande er organiseringen af reglerne for skolers ventilation og indeklima lidt anderledes end i Danmark. I Sverige har skoleelever således siden 1990 været omfattet af arbejdsmiljøloven, som foreskriver en højere ventilationsrate end de daværende danske regler. Der har derfor i Sverige været tid til, at effekten af de strengere regler er slået igennem, hvilket kan være en af årsagerne til, at ventilationsforholdene i svenske skoler er betydeligt bedre end i danske (se kapitel 4.1). Eksempelvis har de fleste svenske skoler mekaniske ventilationsanlæg til at sikre luftudskiftningen.

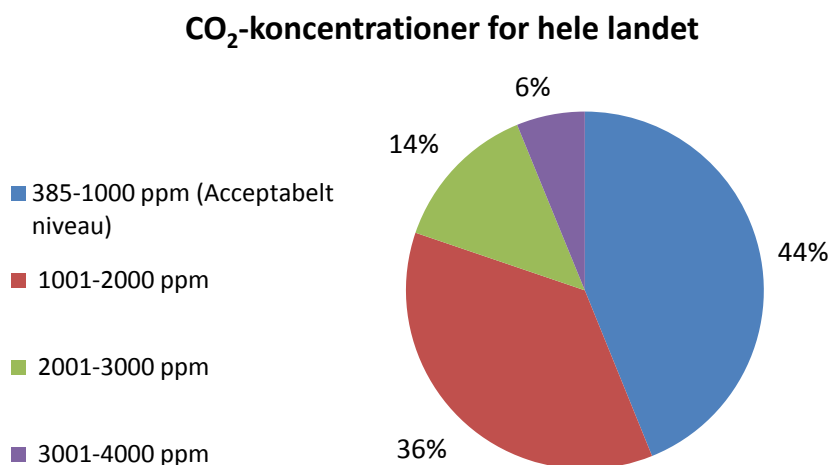
I Norge udstikkes reglerne af af Folkehelseinstituttet, som siden 1998 har anbefalet en øvre grænse for luftens CO<sub>2</sub> indhold på 1000 ppm.

## 5. Hvordan er indeklimaet i danske skoler?

I dette afsnit præsenteres resultaterne af to aktuelle større undersøgelser. I den første undersøgelse medvirkede 743 klasser fordelt på 320 ud af Danmarks i alt ca 2500 skoler, hvilket svarer til 13 % af landets skoler. I undersøgelsen målte eleverne CO<sub>2</sub>-koncentrationen i deres klasselokale i slutningen af en lektion. Målingen foregik ved at trække luft vha. en sprøjte gennem et CO<sub>2</sub> målerør, som dermed viste CO<sub>2</sub>-koncentrationen på netop dette tidspunkt. Målingerne blev udført i september/ oktober 2009. I denne periode var udetemperaturen høj i forhold til årstiden, da der mange dage blev målt en udetemperatur, som var over 20°C. En højere udetemperatur medfører sædvanligvis, at der oftere bliver åbnet for vinduerne. I mange af klasselokalerne i denne undersøgelse var der således bedre ventilation end om vinteren, hvor det ofte er for koldt til at åbne for vinduerne i timerne. Resultater er således ikke ”worst case”, idet tilsvarende undersøgelser udført om vinteren sandsynligvis ville give højere koncentrationer af CO<sub>2</sub>.

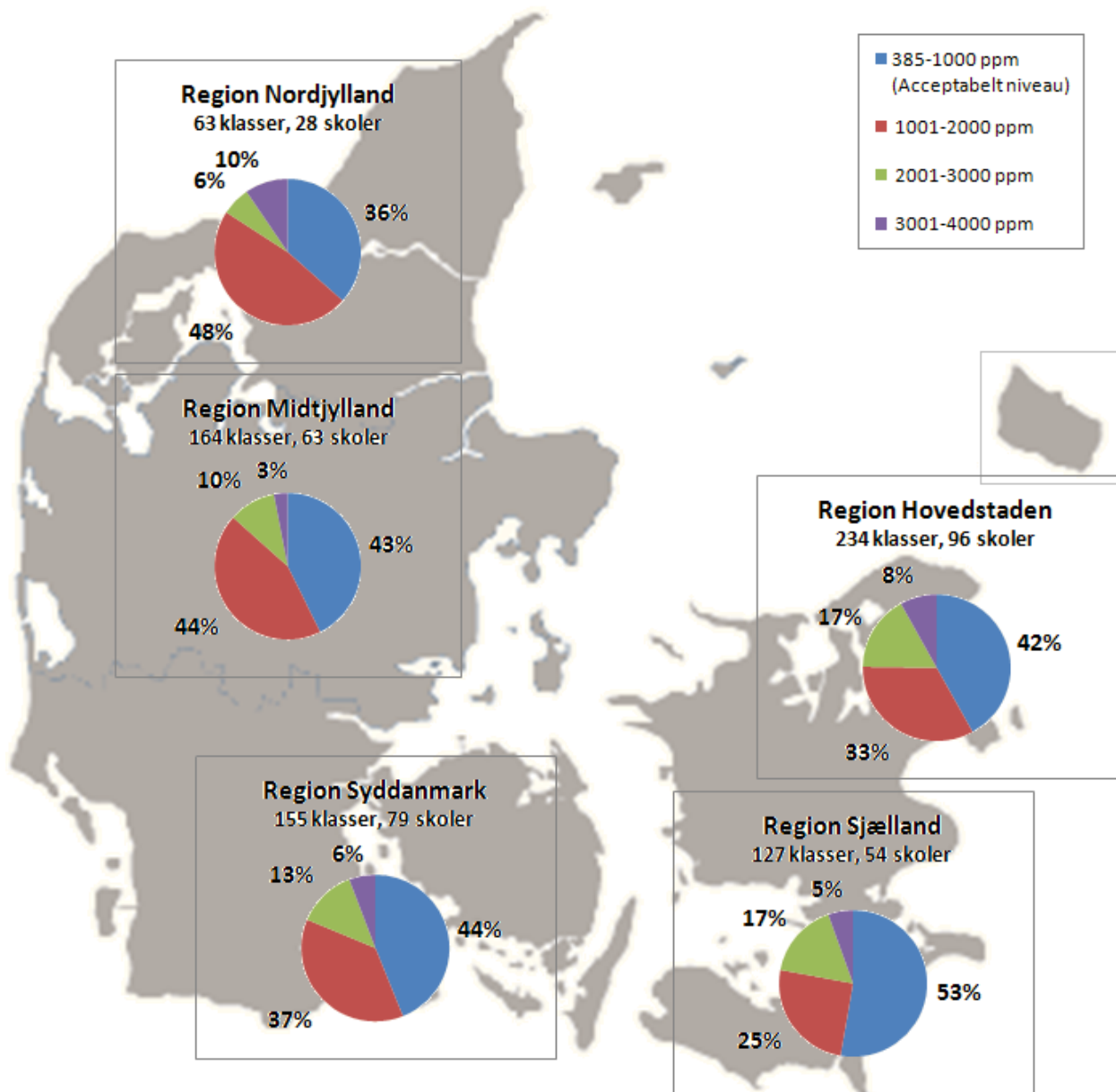
I den anden undersøgelse blev indeklimaet i 88 skoler målt over en periode på 14 dage i november 2009. Den længere måleperiode gav mulighed for at følge ændringer i indeklimaet over en dag eller en uge, for f.eks. at se hvornår på dagen indeklimaet er dårligst.

Målingerne foretaget i de to undersøgelser viste, at det ikke ser for godt ud med ventilationen i de danske skoler. Dette ses tydeligt af fig.1, der viser CO<sub>2</sub> koncentrationen på måletidspunktet i de medvirkende skoler.



**Figur 1.** CO<sub>2</sub>-koncentration for hele landet for 743 deltagende klasser.

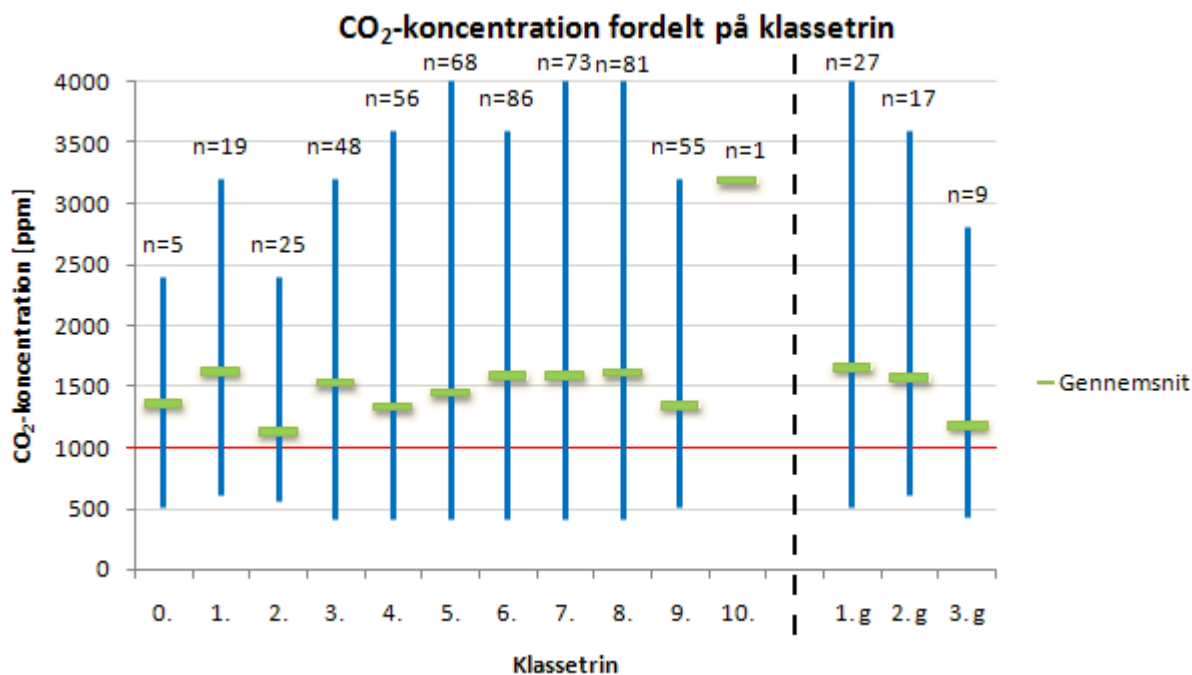
Som det ses i figur 1, har kun 44 % målt en CO<sub>2</sub>-koncentration lavere end det maksimale acceptable niveau. Resten ligger over denne grænse og nogle klasser har målt helt op til 4000 ppm, som var den maksimale koncentration, målerøret kunne registrere.



**Figur 2.** CO<sub>2</sub>-koncentrationer i regionerne.

Figur 2 viser fordelingen af CO<sub>2</sub>-koncentration i de fem regioner. Værst ser det ud i Region Nordjylland, hvor kun 36 % af de deltagende klasser havde en acceptabel CO<sub>2</sub>-koncentration. I Region Sjælland ser situationen lidt bedre ud, idet over halvdelen af klasserne har målt en CO<sub>2</sub>-koncentration lavere end 1000 ppm. Der er flest deltagende skoler og klasser i Region Hovedstaden og færrest i Region Nordjylland.

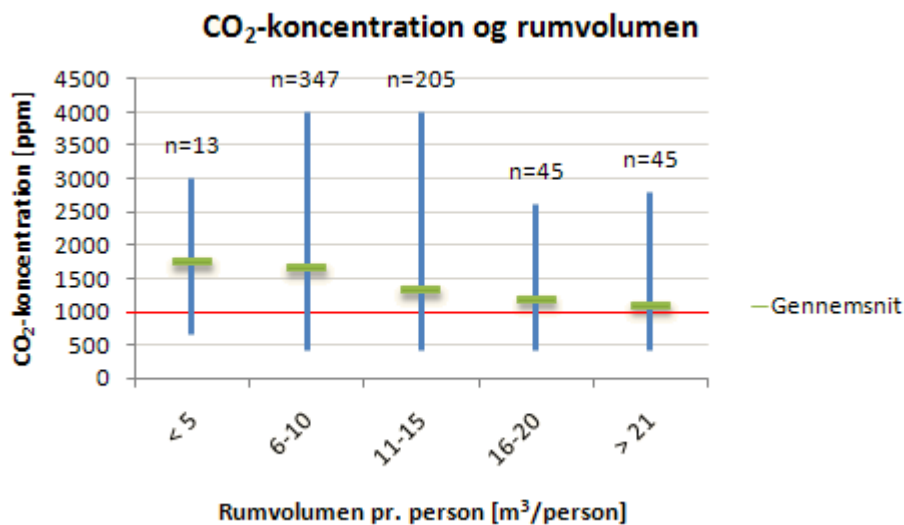
Figur 3 viser de laveste og højeste CO<sub>2</sub>-koncentrationer, der er målt på hvert klassetrin. Ydermere ses gennemsnittene af de målte CO<sub>2</sub>-koncentrationer for hvert klassetrin. n angiver det samlede antal af deltagende klasser på hvert klassetrin.



**Figur 3.** CO<sub>2</sub>-koncentration fordelt på klassetrin for 570 deltagende klasser (minimum, maksimum og gennemsnit). n angiver antallet af de deltagende klasser på hvert klassetrin.

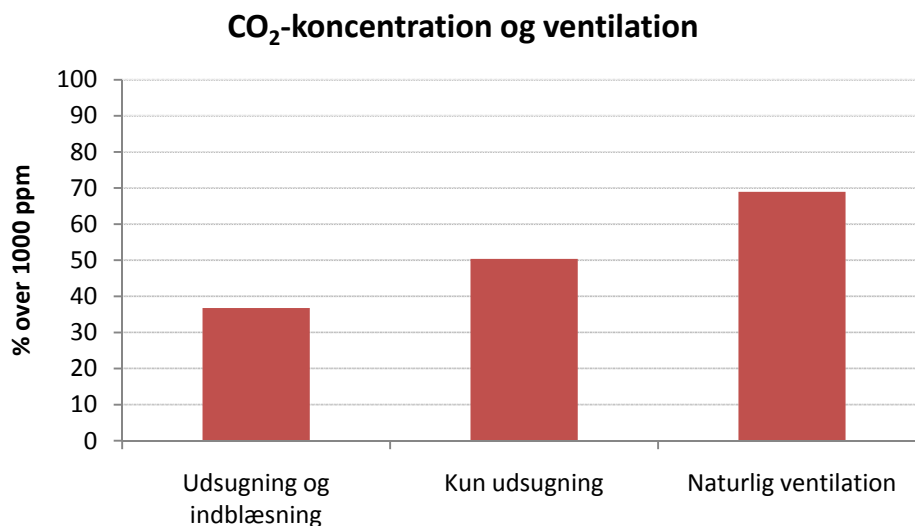
Ud fra figuren ses det, at gennemsnittene af de målte CO<sub>2</sub>-koncentrationer ligger over 1000 ppm for alle klassetrin. Gennemsnittene ligger generelt set mellem 1100 og 1700 ppm, når der ses bort fra 10. klasse, hvor der kun er én deltagende klasse. Jo ældre og dermed større eleverne er, jo mere CO<sub>2</sub> afgiver de. Dette vil umiddelbart medføre, at gennemsnittet af CO<sub>2</sub> målingerne vil være højest i de store klasser. Aktivitetsniveauet spiller imidlertid også en rolle for hvor meget CO<sub>2</sub> eleverne afgiver, og dette vil ofte være højere i de små klasser, hvor eleverne leger og bevæger sig mere end i de store klasser. Dette kan være årsag til at der ikke er nogen umiddelbar forskel på gennemsnittene for klasserne i grundskolen og de gymnasiale klasser.

Figur 4 viser CO<sub>2</sub>-koncentrationen som funktion af rumvolumen pr. person.



**Figur 4.** CO<sub>2</sub>-koncentration fordelt på rumvolumen pr. person for 655 deltagende klasser (minimum, maksimum og gennemsnit). n angiver antallet af de deltagende klasser.

Gennemsnittene af de målte CO<sub>2</sub>-koncentrationer er i alle tilfældene over det maksimale acceptable niveau på 1000 ppm. Jo større lokalet er i forhold til antallet af personer, desto lavere er gennemsnittet af CO<sub>2</sub> målingerne. Dette er helt som forventet. Da CO<sub>2</sub> afgivet fra eleverne blandes med den omkringliggende luft i lokalet, betyder et større rumvolumen pr. person, at koncentrationen stiger langsommere.

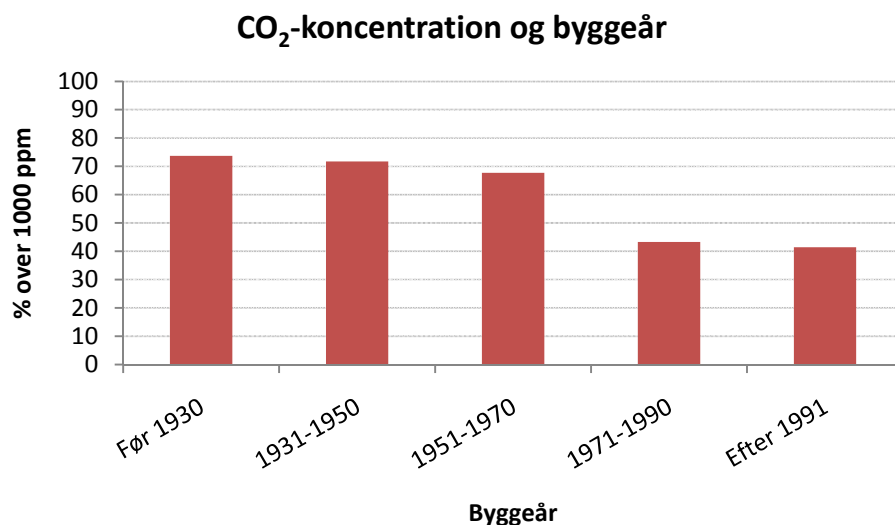


**Figur 5.** Procentfordelingen af klasser med CO<sub>2</sub>-koncentration over 1000 ppm fordelt på ventilationstype.

Figur 5 viser hvor stor procentdel af klasserne, der har en CO<sub>2</sub>-koncentration på over 1000 ppm, afhængig af hvilken slags ventilation der er. Det ses, at CO<sub>2</sub>-koncentrationen i klasselokalerne med mekanisk ventilation (enten udsugning eller både udsugning og indblæsning) er lavere end når der er naturlig ventilation. Gennemsnittet af CO<sub>2</sub> målingerne for de forskellige typer af ventilation er 1080 ppm for udsugning og indblæsning, 1360 ppm for kun udsugning og 1740 ppm for naturlig



ventilation. CO<sub>2</sub>-koncentrationerne er altså højest i de naturligt ventilerede lokaler, som 52 % af de deltagende klasser har.

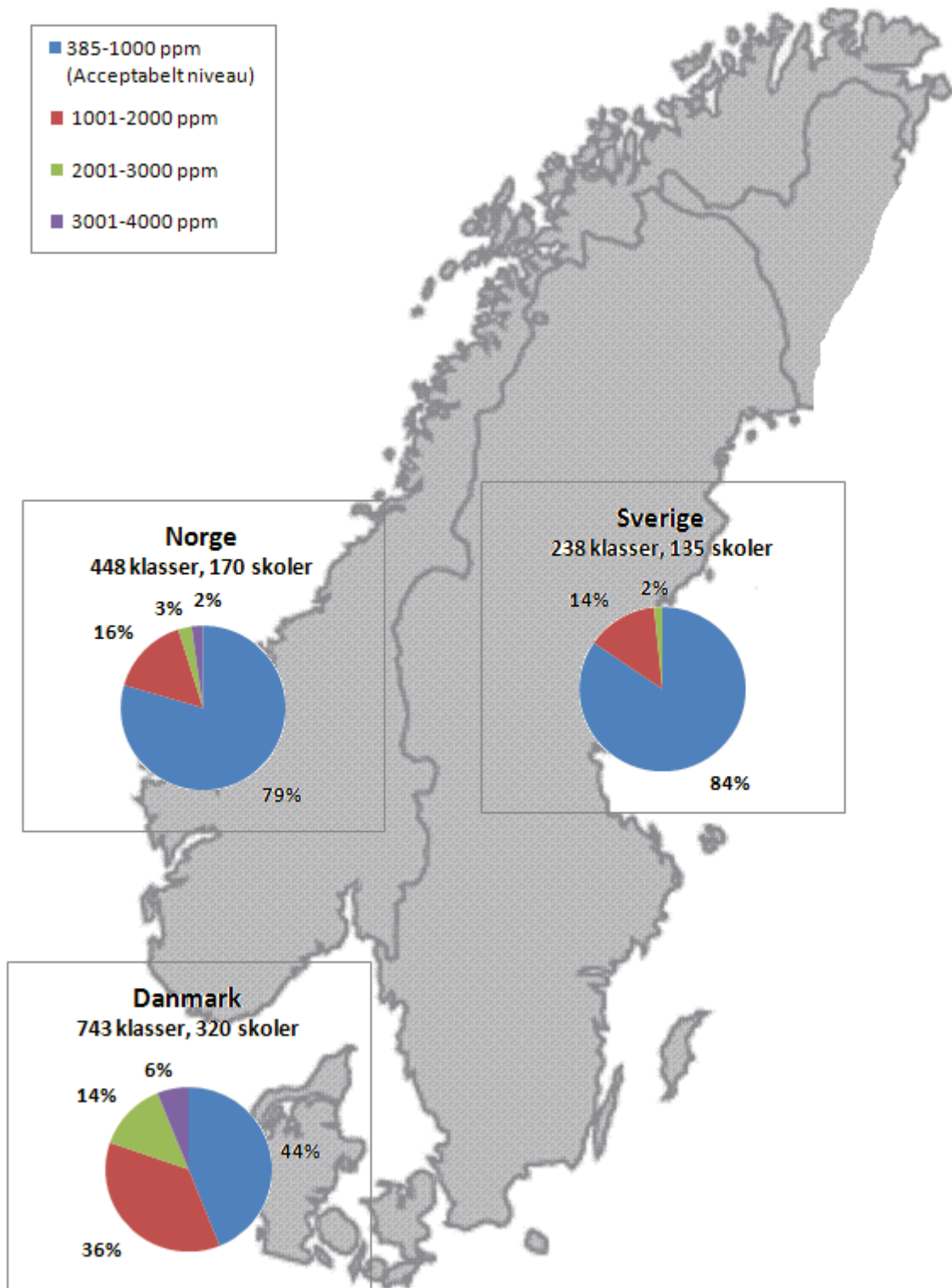


**Figur 6.** Procentfordelingen af klasser med CO<sub>2</sub>-koncentration over 1000 ppm.

Figur 6 viser procentdelen af de klasser, der har målt en CO<sub>2</sub>-koncentration over 1000 ppm i forhold til, hvornår skolen er bygget. Det ses, at der i de nyere skoler er en mindre procentdel, der har målt en CO<sub>2</sub>-koncentration over 1000 ppm. Umiddelbart skulle man tro, at de ældste bygninger ville have lavere CO<sub>2</sub>-koncentrationer, da gamle bygninger ofte er ret utætte, dvs. at mere luft udskiftes naturligt gennem bygningens facade. Årsagen til at det dog viser sig at være bedre i de nyere skoler kan være, at de nyere bygninger oftere er udstyret med et mekanisk ventilationsanlæg (enten udsugning eller både indblæsning og udsugning) end ældre bygninger. Dette viser sig ved, at kun omkring 20 % af klasserne med et byggeår før 1950 har mekanisk ventilation, hvorimod 75 % af klasserne bygget senere end 1990 har mekanisk ventilation.

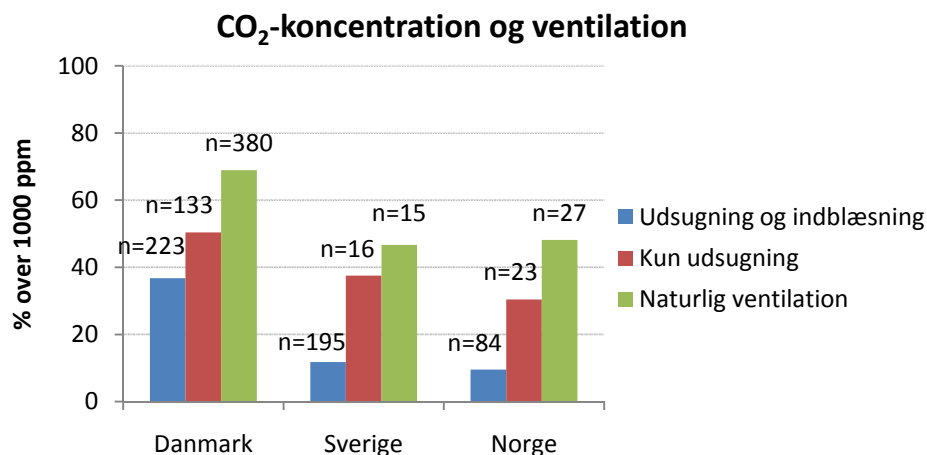
### 5.1 Sammenligning med Sverige og Norge

På samme måde som i Danmark, er der i Sverige og Norge målt CO<sub>2</sub>-koncentrationer i lignende masseeksperimenter. Sammenligning af de nordiske landes resultater ses i de følgende figurer.



Figur 7. CO<sub>2</sub>-koncentrationer i skoler i Skandinavien.

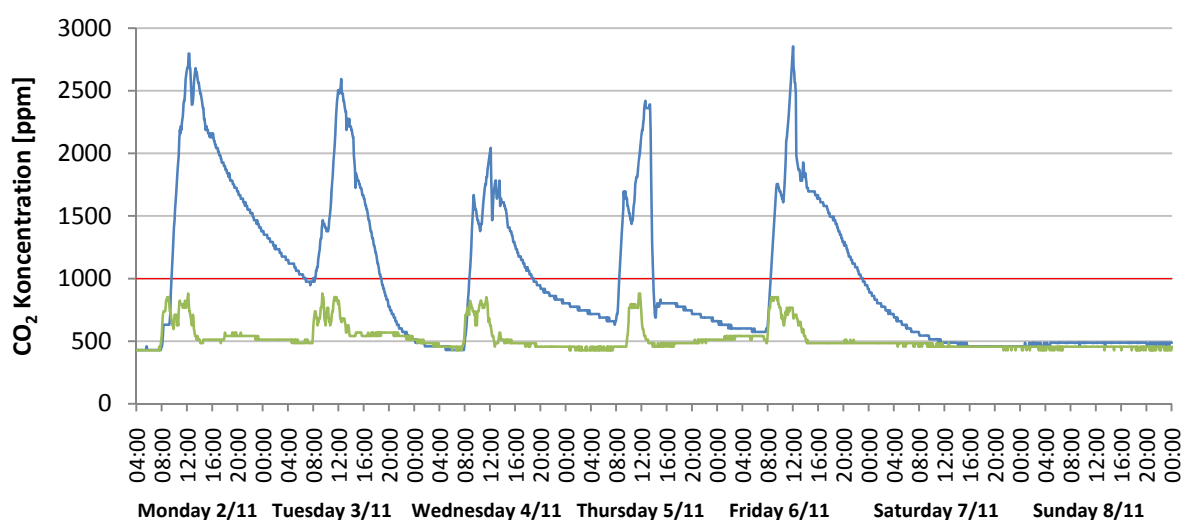
Figur 7 viser, at det generelt ser sløjt ud med ventilationen i de danske skoler i forhold til skolerne i Norge og Sverige. Procentdelen af de deltagende klasser med en acceptabel CO<sub>2</sub>-koncentration er omkring 80 % i både Sverige og Norge, mens den er 44 % i Danmark.



**Figur 8.** Procentfordelingen af klasser med CO<sub>2</sub>-koncentration over 1000 ppm i Skandinavien (foreløbige tal fra Sverige og Norge).

Figur 8 viser, hvor stor en andel af de deltagende klasser i de forskellige lande, der har målt en CO<sub>2</sub>-koncentration på over 1000 ppm, alt efter hvilken type ventilation de har. Tendensen er den samme i de tre lande: De naturligt ventilerede skoler er ofte utilstrækkeligt ventilerede, mens det ser lidt bedre ud for de mekanisk ventilerede skoler. Gennemsnittet af CO<sub>2</sub>-målingerne for landene er 1480 ppm for Danmark, 890 ppm for Sverige og 940 ppm for Norge.

Figur 9 viser hvordan CO<sub>2</sub> koncentrationen er i løbet af en uge. Målinger er fra en skole med god ventilation (grøn kurve) og en skole med dårlig ventilation (blå kurve). Bemærk, at ventilationen i den ene skole er så ringe, at når børnene møder om tirsdagen, er CO<sub>2</sub> koncentrationen allerede på det maksimale tilladelige niveau fra aktiviteterne dagen før!



**Figur 9.** To eksempler på CO<sub>2</sub> koncentrationer i løbet af en uge.

## 5.2 Opsamling

Et slående resultat af undersøgelsen er, at CO<sub>2</sub>-koncentrationerne i de danske skoler og gymnasier i mere end halvdelen af tilfældene er over det maksimale acceptable niveau på 1000 ppm. Årsagen er for lidt ventilation i forhold til antallet af personer i klasselokalerne. I forhold til vores nabolande Sverige og Norge, der har meget lavere niveauer af CO<sub>2</sub>, ser det ud til at Danmark halter betydeligt bagefter med hensyn til ventilation af vores skoler. En væsentlig årsag til forskellen er, at der i langt højere grad benyttes mekanisk ventilation i Sverige og Norge.

Udover målinger af CO<sub>2</sub> koncentrationen blev temperaturforholdene i de 743 klasser også målt. Udetemperaturen i måleperioden varierede mellem 0 og 20 °C. I forhold til et anbefalet interval på 20 - 26°C, var der kun 6 % af klasserne der var udenfor dette interval. Vi ved dog, at på varme dage, vil der være problemer med for høje temperaturer i klasserne.

I det foregående fremstår naturlig ventilation som den store ”synder”, idet de målte CO<sub>2</sub>-koncentrationer er højest i klasser med denne type ventilation. Her er det dog vigtigt at fastslå, at begrebet ”naturlig ventilation” dækker over mange forskellige ting. Minimumsløsningen, hvor der ikke er gjort noget som helst for at sikre et acceptabelt luftskifte, men hvor luften blot siver gennem tilfældige utætheder, duer ikke i skoler. Men hvis der i stedet er tale om automatisk styrede vinduer eller ventilationsåbninger med forvarmning af luften, kan det i nogle tilfælde være en attraktiv løsning. Den optimale løsning for den enkelte skole identificeres bedst efter en konkret vurdering af fagfolk.

Nu er der imidlertid ingen grund til at læne sig tilbage og afvente, at nye tekniske installationer sørger for et godt indeklima. Man kan naturligvis selv gøre noget. CO<sub>2</sub>-koncentrationen stiger i løbet af en lektion, og det er derfor vigtigt at åbne vinduerne i klasselokalet regelmæssigt. Sker det ikke i de danske skoler? Jo, men ikke nok. I undersøgelsen af de 88 skoler blev lærerne spurgt om, hvor ofte de lufter ud. 33 lærere rapporterede, at der blev luftet ud flere gange om dagen, 41 rapporterede at der blev luftet ud mindst én gang om dagen, og 9 lærere rapporterede, at der ikke blev luftet ud hver dag. 76% af de skoler, der luftede ud flere gange om dagen havde en gennemsnitlig CO<sub>2</sub> koncentration højere end 1000 ppm. Andelen var pudsigt nok lavere for de skoler der luftede mindre ud. Forklaringen på denne pudsighed skal findes i det faktum, at de skoler der luftede mest ud var de naturligt ventilerede skoler. Der var bare ikke nok! Udover at lufte ud bør eleverne forlade klasselokalet i frikvartererne, så CO<sub>2</sub>-koncentrationen kan nedbringes før starten af næste lektion.

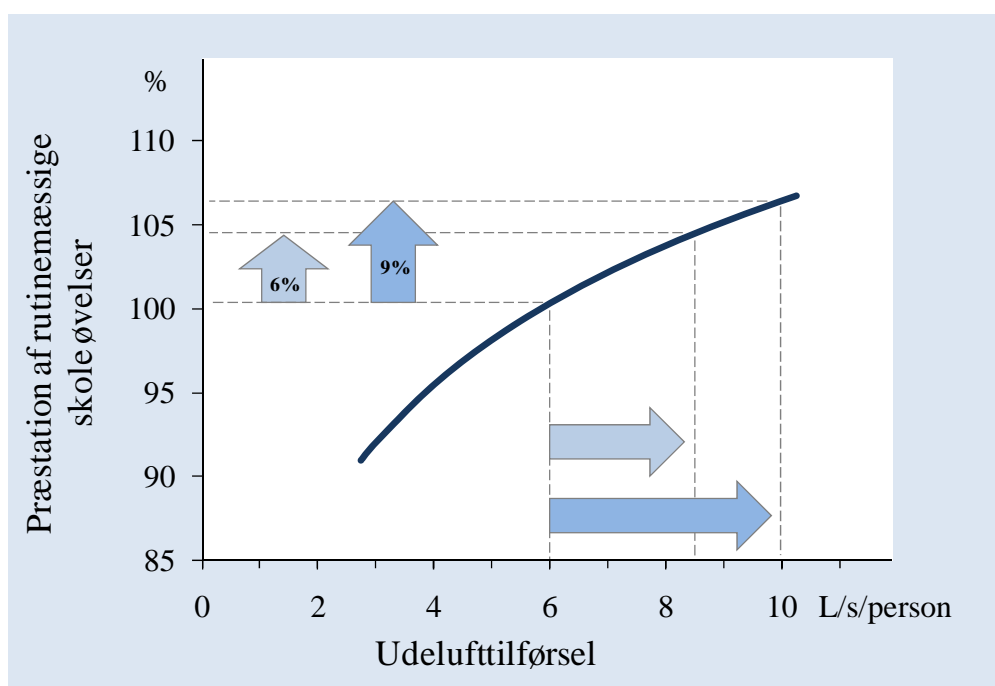
Mange vil sikkert frygte for de energimæssige konsekvenser af øget ventilation. Her skal man dog være opmærksom på, at energiforbruget til øget ventilation med passende brug af varmegenvinding, moderne energibesparende ventilatorer og samtidig energirenovering af uhensigtsmæssige facadeelementer ofte vil være beskedent – i mange tilfælde vil der endda kunne opnås en energibesparelse.

## 6. Konsekvenser af dårligt indeklima i klasseværelser

Det utilstrækkelige indeklima i klasseværelserne kan påvirke elevernes udbytte af skolearbejdet og give en ringe begyndelse på hele deres uddannelsesforløb. I det følgende præsenteres en række undersøgelser af, hvorledes luftkvalitet og temperatur påvirker skolearbejdet og elevernes fravær. Selvom der fokuseres på eleverne, er det klart, at det dårlige indeklima også går udover lærerne og den undervisning, de skal yde. Vi ved endnu ikke præcist, hvilke mekanismer der gør, at luftkvalitet og temperaturer påvirker elevernes præstation af typiske skoleopgaver, herunder koncentrationskrævende logiske og matematiske opgaver samt forståelskrævende sproglige opgaver. En nærliggende forklaring er, at motivationen nedsættes når man føler sig uoplagt eller tung i hovedet p.g.a af dårlig luftkvalitet eller for høj temperatur. Men der er tale om ret markante effekter, som det vil fremgå af det følgende. Eksempelvis viste en undersøgelse, at en fordobling af ventilationsraten fra et lavt niveau medførte en fremgang i præstationen af skolearbejdet på op til 14%. Dette svarer populært sagt til, at elever med et godt indeklima i klasseværelset kan spare op til et helt års skolegang!

### 6.1 Luftkvalitet i klasseværelser, indlæring og fravær

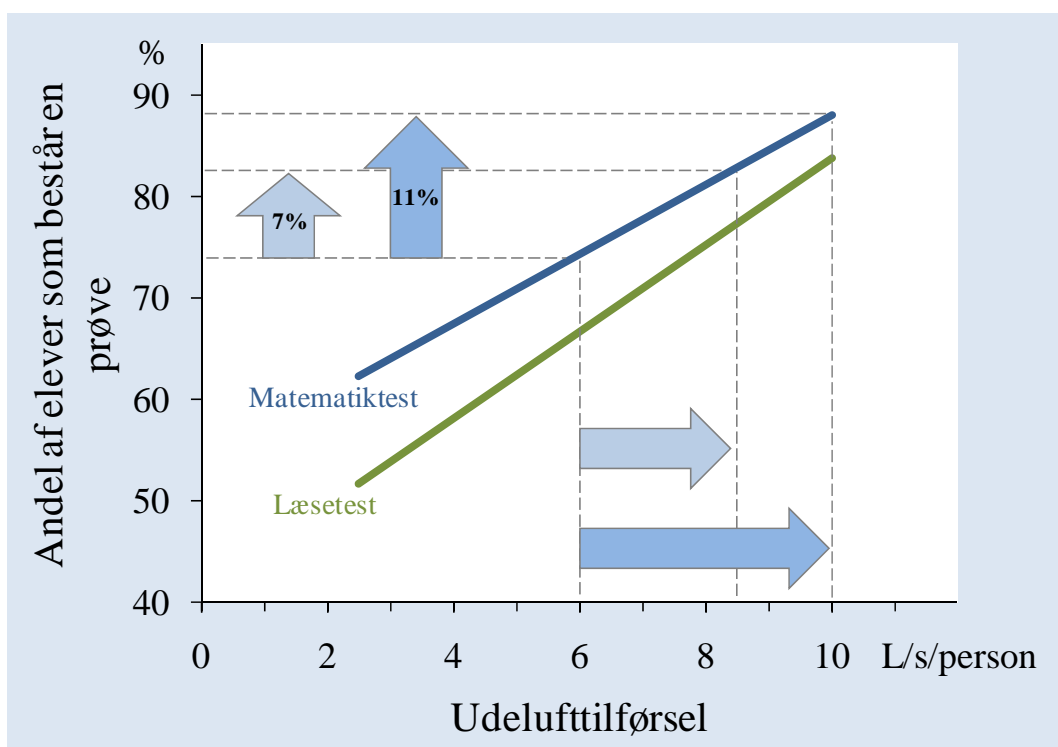
Figur 10 viser sammenhængen mellem ventilationsrate (udelufttilførsel) og præstationen af typiske skoleopgaver. Hvis man som udgangspunkt tager de krav, som aktuelt gælder i Danmark (en udelufttilførsel på ca. 6 l/s per elev) og forøger ventilationsraten så den svarer til de svenske krav på ca. 8.5 l/s per elev, forventes det, at præstationen vil stige med ca. 6%. Hvis man går videre og øger ventilationen til 10 l/s per person, hvilket er det niveau, der anvendes i mange kontorer, øges også skoleelevernes præstation med ca. 9%.



**Figur 10.** Sammenhæng mellem udelufttilførsel og præstation af rutinemæssige øvelser som tekstforståelse eller addition. Figuren viser konsekvensen af at forøge udelufttilførslen fra de krav, som gælder i klasseværelser i Danmark til de krav, som gælder i skoler i Sverige og til de krav som gælder for voksne i de fleste kontorer.

Dette betyder, at elever med god ventilation klarer sig bedre. Omvendt kan resultatet også tolkes således, at læreren skal bruge unødigt tid og energi på at undervise elever med et utilstrækkeligt indeklima i klasseværelset.

Figur 11 viser en sammenhæng mellem udelufttilførsel og andelen af elever, som bestod en matematikprøve og en læsetest. For matematiktesten blev andelen af beståede elever forøget med ca. 2.9% for hver 1 l/s per elev, udelufttilførslen blev forøget. I læsetesten var den tilsvarende forøgelse 2.7%. Imidlertid er det vanskeligt ud fra figur 11 at vurdere hele konsekvensen af en forøget udelufttilførsel, fordi sammenhængen kun er undersøgt for op til 7 l/s per elev. Hvis man antager, at sammenhængen også gælder op til 10 l/s per elev, vil andelen af elever som består prøver i matematik og sprog blive forøget med 7% hvis kravene til ventilation i danske skoler øges til det svenske niveau eller med op til 11%, hvis der gælder samme krav i danske skoler som i kontorer.

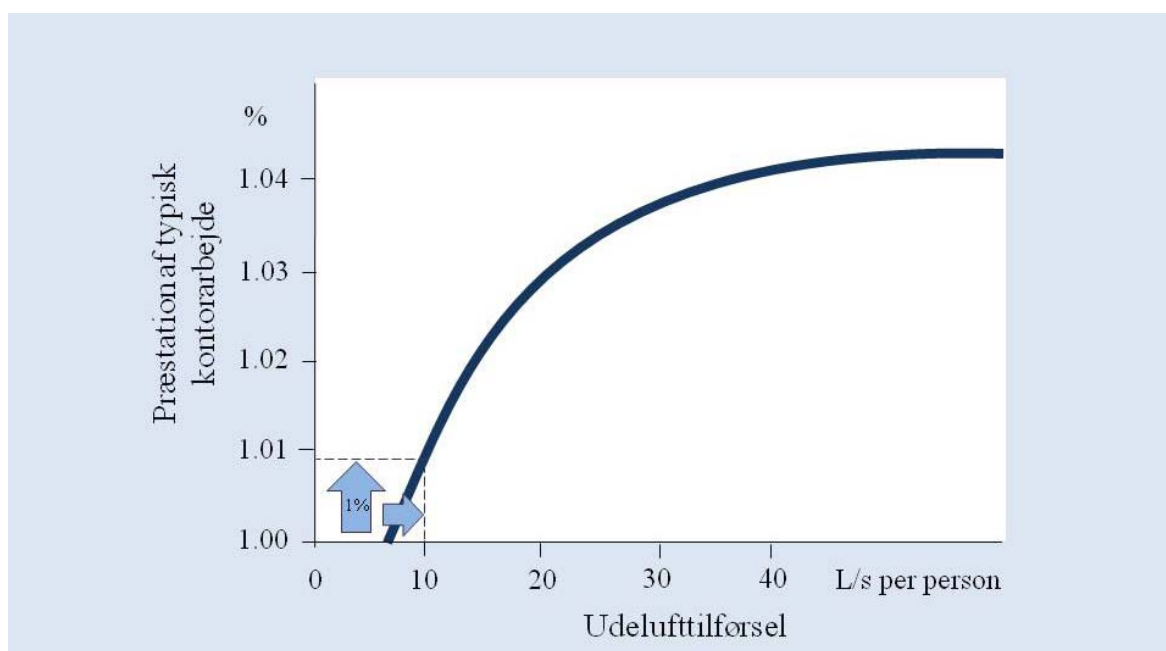


**Figur 11.** Sammenhæng mellem udelufttilførsel og andelen af studerende, som består matematik- og sproglige prøver. Prøverne anvendes regelmæssigt til at vurdere uddannelsesniveau og fremgang i undervisningen. Figuren viser konsekvensen af at øge udelufttilførslen fra de krav, som gælder i danske klasseværelser til de krav, som gælder i skoler i Sverige og til de krav som gælder for voksne i de fleste kontorer.

Udover de umiddelbare effekter på skolearbejdet har utilstrækkelig ventilation og dårlig luftkvalitet også betydning for elevernes fravær. Det viser sig, at en stigning af CO<sub>2</sub> koncentrationen i klasseværelser med 1,000 ppm over CO<sub>2</sub> niveauet udendørs (som ligger på ca. 380 ppm) medførte højere fravær; fra 10% til 20%. En forøgelse af ventilationen i skoler fra det danske til det svenske niveau kan således betyde et fald i fraværet på mellem 2.5% til 5% og i forhold til kontorer et fald på 4% til 8%.

Det er oplagt, at utilstrækkelig ventilation i klasseværelser også kan påvirke lærerens præstation,

men der findes endnu ingen klar dokumentation for dette. Dog findes der resultater, som viser, at præstationen af typisk kontorarbejde er påvirket af dårlig luftkvalitet og utilstrækkelig ventilation (figur 12). Effekten er dog mindre end for skoleelever, og typisk svarer en fordobling af ventilationsraten til en produktivitetsstigning på ca. 1.5% ved typiske kontoropgaver som tekstbehandling og korrekturlæsning. En årsag til at effekten på kontoransatte er mindre end for eleverne er, at voksne er bedre til at tilpasse sig indeklimaet end børn. Derudover ved vi som voksen, at det forventes, at vi udfører vores arbejde, uanset indeklimaet. Vi anstrenger os derfor måske ekstra for at udføre arbejdet alligevel, selvom vi mærker de negative påvirkninger fra indeklimaet. Denne mekanisme er nok mindre udtalt hos børn. Endelig er elevernes opgave i skolen at modtage ny læring, hvilket kræver koncentration, mens ansatte i f.eks. kontorer ihvertfald en del af tiden udfører rutinearbejde.



**Figur 12.** Sammenhæng mellem udelufttilførsel og præstation af typisk kontorarbejde som f.eks. tekstbehandling og korrekturlæsning. Figuren viser en langt mindre effekt af ventilation på kontorarbejde end på skolearbejde. For eksempel vil en forøgelse af ventilationsraten fra 6 til 10 l/s per lærer svare til ca. 1% forøget præstation.

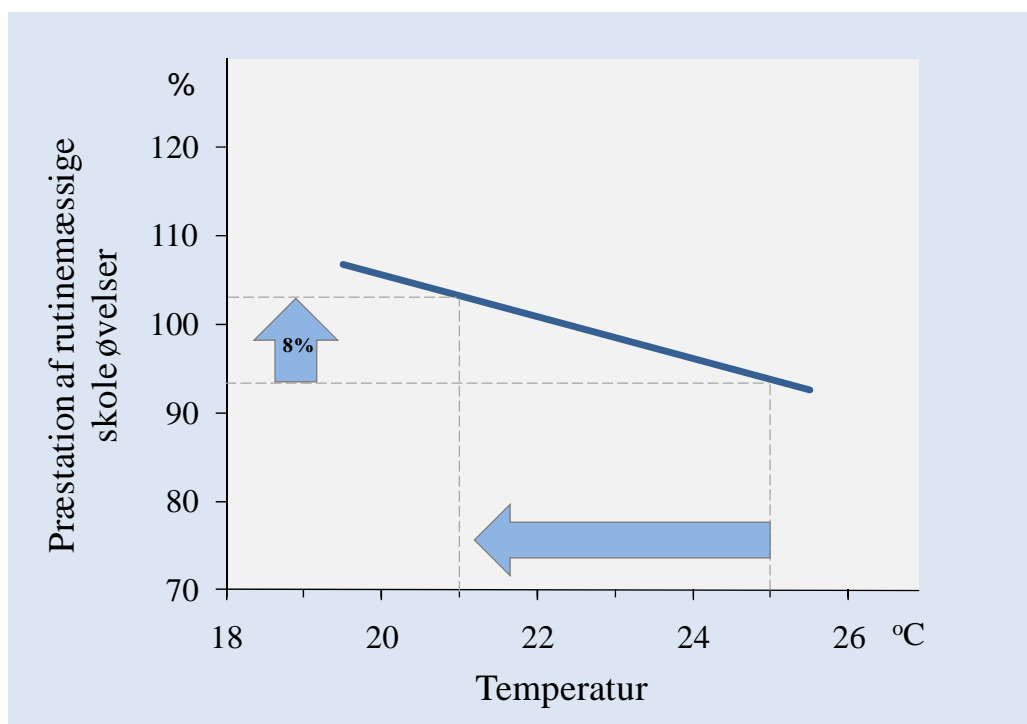
Undersøgelser har også påvist, at sygefraværet er større blandt ansatte i bygninger med lav ventilationsrate. En fordobling af ventilationsraten førte til 35% reduktion i korttidsfraværet blandt kontoransatte. Hvis tilsvarende reduktion kan opnås i skoler, vil det have stor betydning for udbyttet af skolearbejdet og for økonomien i større perspektiv. Således vil en forøgelse af ventilationen fra det danske til det svenske niveau betyde et fald i lærernes fravær på 15% og i forhold til det niveau som kræves i kontorer et fald på 23%.

## 6.2 Temperaturen i klasseværelser og indlæring

Temperaturen i klasseværelset har også indflydelse på eleveres og læreres præstationer. For hver 1°C temperaturen i klasseværelset sænkes under 25°C, øges præstationen af koncentrationskrævende opgaver med 2% til 4%. Figur 13 viser en eksperimentelt bestemt sammenhæng mellem netop temperatur og præstationsevne.

Ikke sjældent overstiger temperaturen i klasseværelset 25°C, og dette sker ikke udelukkende i de varmeste sommerperioder, men også om vinteren og tidligt på foråret, når solen står lavt på himmelen og der ikke er tilstrækkelige muligheder for solafskærmning. Kan temperaturen holdes på 20-21°C kan der opnås op til 20% højere udbytte af opgaver, som inkluderer logisk tænkning, koncentration og forståelse. Dette betyder, at eleverne vil have mere tid til andre aktiviteter og at læreren vil få langt nemmere ved at undervise. Høje temperaturer kan undgås om vinteren ved at lufte ud i frikvartererne, men i sommerperioden kan det være nødvendigt med særlige installationer.

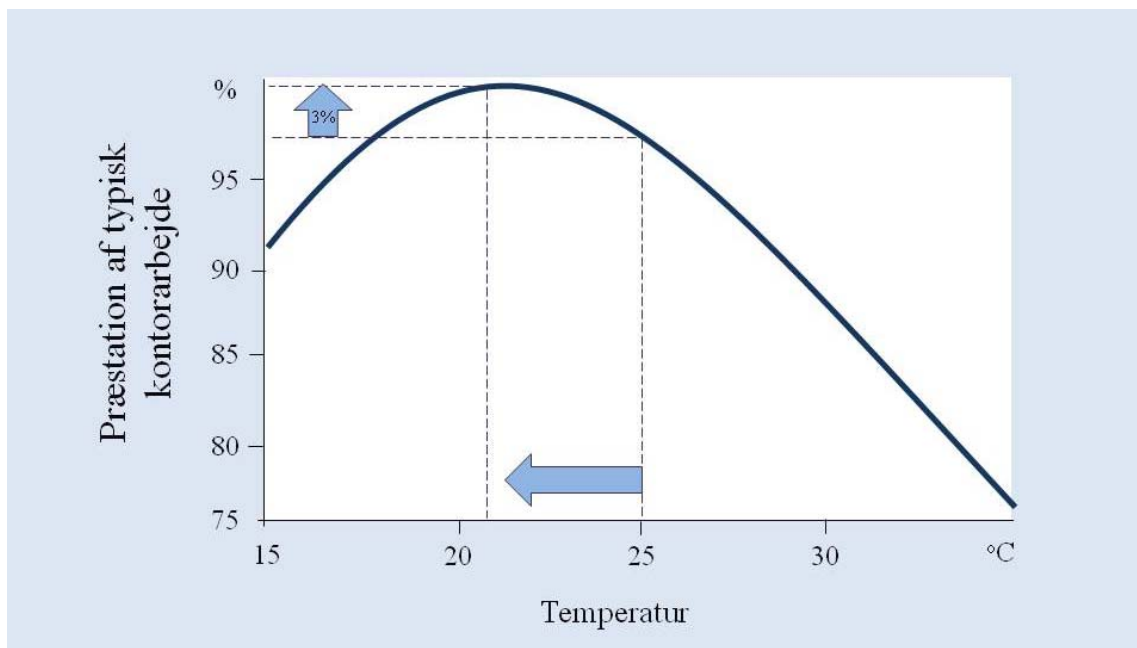
Elevernes opførsel kan også ændre sig, når temperaturen er høj. Det tager ofte lang tid før de tilpasser deres beklædning til omgivelsernes temperatur, og ved høje temperaturer er det observeret, at piger bliver urolige, men fortsætter med at arbejde, mens drenge bliver både ukoncentrerede og udisciplinerede.



**Figur 13.** Sammenhæng mellem temperaturen i klasseværelset og præstation af rutinemæssige opgaver som tekstforståelse eller addition. Figuren viser, hvad det betyder for præstationen at sænke temperaturen fra 25°C til 21°C, som anbefales for klasseværelser om vinteren

Hvorledes temperaturen i klasseværelset påvirker lærerens præstation er sværere at sætte tal på. Men hvis man antager, at effekten er af samme størrelsesorden som for kontoransatte, vil 1°C reduktion af temperaturen svare til ca. 1% øget præstation (figur 14). Igen ses det, at temperaturen ikke påvirker kontorarbejde nær så meget som skolearbejde.





**Figur 14.** Sammenhæng mellem temperatur og kontorarbejde som f.eks. tekstbehandling, korrekturlæsning o.s.v.. Bemærk, at præstationen af kontorarbejde nedsættes ved både for høje og for lave temperaturer. Figuren viser, hvad det betyder for præstationen at sænke temperaturen fra 25°C til 21°C, som anbefales for klasseværelser om vinteren.

### 6.3 Hvordan er de viste sammenhænge mellem indeklima og indlæring bestemt?

En metode er at udføre forsøg under velkontrollerede forhold i laboratoriet, hvor børn udsættes for forskellige indeklimaparametre i klimakamre. Forsøgene kan også udføres i skoler, d.v.s. i det miljø, børnene naturligt færdes i til daglig. Næsten alle de beskrevne resultater stammer fra studier i eksisterende skoler. Den bedste vurdering af indeklima og indlæring fås ved, at børnene opholder sig i deres sædvanlige klasseværelse og ved at det er deres egen lærer, som stiller de opgaver, der måles på. Et eksempel på hvordan effekten af ventilation på skolearbejdet er blevet målt i en tidligere undersøgelse er vist i faktaboksen til højre.

Tilførslen af udeluft til et klasseværelse kan i sådanne studier øges via det eksisterende ventilationssystem eller f.eks. ved at indføre en fast procedure for vinduesåbning i frikvarterer.

### 6.4 Betydningen af resultaterne

Resultaterne som blev beskrevet i de foregående afsnit viser, at en forbedring

*Undersøgelserne blev gennemført i en dansk folkeskole, hvor ventilationsraten blev forøget med de eksisterende ventilationssystemer. Hvert forsøg blev udført samtidig i to éns klasseværelser. Indeklimaet forblev uændret i en uge ad gangen. I den ene uge var der eksempelvis en høj ventilationsrate i det ene klasseværelse, mens der i det andet var den normale, uændrede ventilationsrate. I den efterfølgende uge blev forholdene byttet om. Hver uge udførte eleverne forskellige opgaver som en del af det sædvanlige skolearbejde. Opgaverne repræsenterede forskellige aspekter af skolearbejde – fra læsning til aritmetik, og de blev udført af elever på fjerde til sjette klassetrin, d.v.s. børn i alderen 10-12 år. Forud for den egentlige undersøgelse var opgaverne blevet testet med elever fra en anden skole, ligesom opgavernes udseende og sværhedsgrad var blevet diskuteret med andre lærere. Børnenes sædvanlige klasselærer stillede opgaverne, som hver kunne løses på under 10 min.*

af indeklimaet i klasseværelser ved at øge udelufttilførslen eller ved at reducere temperaturen i klasseværelser i varmt vejr, kan forbedre elevernes evne til at udføre et bredt spektrum af opgaver, som er karakteristiske for skolearbejdet, fra de logiske og matematiske opgaver, der kræver koncentration og logisk tænkning, til sprogbaserede opgaver, der kræver koncentration og forståelse.

Et reduceret udbytte af undervisningen i de tidlige skoleår kan få alvorlige konsekvenser for den enkelte og for samfundet som helhed. De økonomiske konsekvenser af de observerede resultater er vanskelige at kvantificere. Udover de eventuelle konsekvenser for Danmarks konkurrenceevne fremover (som følge af manglende læring) kan der være mere direkte økonomiske konsekvenser. Hvis man antager, at dårligt indeklima kræver mere tid til elevernes arbejde i skoletiden, kan tiden f.eks. kvantificeres med større lønudgifter til lærere, som skal arbejde mere. Denne udgift er en af de største poster på skolers driftsbudget.

## 7. Hvad kan man gøre?

### 7.1 Når problemerne dukker op - de første indledende undersøgelser

Den typiske årsag til at indeklimaet kommer på dagsordenen er, at brugerne af en bygning oplever gener, som de mener skyldes forholdene i bygningen. Men i skoler er det ikke givet, at eleverne, særligt i de små klasser, forbinder eventuelt ubehag med indeklimaet. Det kan således tage længere tid fra problemet reelt opstår, til det er konstateret og en mulig løsning kan iværksættes. Erfaring har vist, at en trinvis fremgangsmåde ofte er bedst, når indeklimaproblemer skal kortlægges og afhjælpes.

### 7.2 Indeklimagener og indeklimasympptomer

Der eksisterer en række af regler og grænseværdier for mange indeklimafaktorer, men selvom alle regler er overholdt, er det ikke sikkert, at alle trives lige godt. Mennesker reagerer ofte forskelligt på den samme påvirkning, f.eks. kan nogen reagere kraftigt, hvis bygningen er angrebet af skimmelsvamp eller hvis luften er forurenede af forurening fra møbler, tæpper eller byggematerialer.

Ofte er personer med astma eller allergi blandt de første til at bemærke dårlige indeklimaforhold. Deres reaktion kan være et vigtigt signal om, at det kan være nødvendigt at tage fat på problemer med indeklimaet. Undersøg først om eventuelle gener eller symptomer er forbundet med ophold i bygningen, og særligt om de bedres, når bygningen forlades. Kortlæg gerne omfanget af gener ved samtaler med elever og lærere.

### 7.3 Luftkvalitet

Selvom vi ikke i dag har fuldt overblik over årsagerne til, at de ret lave forureningsniveauer i indeluften giver helbredsproblemer, er der en række tiltag, som kan anbefales for at fjerne risikofaktorer og forebygge indeklimaproblemer.

Erfaringsmæssigt er indeklimaproblemer ofte forbundet med utilstrækkelig ventilation. Hvis bygningen er udstyret med et ventilationsanlæg kan problemerne skyldes fejl i anlægget eller at anlægget er underdimensioneret, og derfor er det et vigtigt punkt at kontrollere anlæggets driftstilstand. Eventuelle fejl i anlægget bør rettes og temperaturen sænkes, hvis den overstiger 22°C i fyringssæsonen.

Er der kraftige forureningskilder bør de reduceres eller emissionerne fjernes med lokal udsugning. Kilderne kunne være gulvtæpper, utilstrækkelig rengøring, specielle forureningskilder som printere og kopimaskiner eller fugtproblemer. Endvidere bør rengøringsstandarderne løbende blive kontrolleret.

I børnehaver og skoler er det antallet af elever, der bestemmer ventilationsbehovet. Imidlertid vil ventilationen medvirke til at fortynde al forurening, der bliver tilført indeluften. Tilstrækkelig ventilation bør derfor altid have fokus og særligt ved nybyggeri og reovering.

### 7.4 Næste skridt

Hvis problemerne ikke bliver løst ved de indledende manøvrer og problemerne fortsat er omfattende, d.v.s. mange føler sig meget generet, må mere vidtgående tiltag iværksættes. Dette

kunne være at foretage målinger af luftkvalitet, støjniveau eller termiske forhold. Dette vil oftest kræve, at en bedriftssundhedstjeneste eller en rådgivende ingeniør involveres.

Der er forskellige tiltag, der kan anvendes til at forbedre indeklimaet. Nogle vil være kortsigtede og kan finansieres over bygningernes almindelige vedligeholdelsesbudget, mens andre mere langsigtede tiltag ofte vil kræve omfattende investeringer i bygningen. Dette kunne f.eks. være udskiftning af taget på en fugtskadede bygning.

Eksempler på kortsigtede tiltag kan være, at

- fjerne eventuelle gulvtæpper
- gennemgå og opdatere rengøringsrutiner
- vurdere rutiner for undervisningslokalerne, f.eks. bør dobbelttimer uden udluftning undgås
- sørge for, at eleverne forlader lokalet i pauserne
- holde udluftningsventiler åbne så længe udetemperatur og trækgener tillader det
- åbne vinduer i klasselokalet i pauser
- reducere støvophobning ved at fjerne mulige støvdepoter på f.eks. lådne, vandrette overflader
- sørge for at lokalet er ryddeligt og for at fjerne genstande, som ikke er i daglig brug i undervisningen
- indføre faste drifts- og vedligeholdelsesrutiner herunder for ventilationssystemer

Det er også vigtigt at kontrollere de dele af bygningen, hvor fugtskader hyppigst opstår. Dette er særligt konstruktioner, hvor der er risiko for lækage og vandindtrængning, f.eks. ved tagvinduer, flade tage eller dårligt vedligeholdte vinduer. Samtidig skal det sikres, at ventilationen er i stand til at fjerne den vanddamp, der produceres i bygningen og således forebygge kondensation ved kuldebroer eller andre kritiske områder i konstruktionen. Bygningen bør ventileres således, at der ved normale vintertemperaturer ikke opstår kondens højere end de nederste få centimeter på indersiden af vinduesglasset. Andre indikatorer er snavsede ventilationsriste og dryssende lofter, som selvfølgelig bør ordnes.

## 7.5 Termiske forhold

Temperaturen er den vigtigste parameter for termisk komfort, men herudover spiller aktivitetsniveau og beklædning også en betydelig rolle. Lufttemperaturen er simpel at måle og målingerne kan afklare, om temperaturen ligger inden for de anbefalede intervaller. Er temperaturen om vinteren for høj, bruger opvarmningen unødigt megen energi, og både sommer og vinter er der større risiko for, at elever og lærere er ukomfortable og eventuelt generet af symptomer som f.eks. koncentrationsbesvær.

En forudsætning for et behageligt termisk indeklima er, at kombinationen af lufttemperatur og lufthastighed ikke medfører for stor lokal afkøling af kroppen – træk.

Relativ luftfugtighed er et mål for, hvor meget vanddamp luften indeholder og angives i % i forhold til, hvor meget vanddamp, den højst kan indeholde ved samme temperatur og hvis luften havde været mættet. Luftens *absolutte* fugtighed, som f.eks. angives i kg vanddamp/kg luft, varierer i løbet af året. Om vinteren, når den absolutte luftfugtighed ude er lav, bliver den relative luftfugtighed p.g.a. opvarmning også lav inden døre. Mennesker er normalt ikke så følsomme overfor lav lugtfugtighed, men bliver fugtigheden for lav, d.v.s. under ca. 20%, er der større risiko for udtørring

af slimhinderne i øjnene og for, at statisk elektricitet kan give stød. Imidlertid frarådes brug af luftbefugtere, da disse kan medføre andre problemer.

Problemer med det termiske indeklima opleves oftest ved lav eller høj temperatur, ujævn luft- eller strålingstemperatur, kulde- eller varmestråling til kolde eller varme overflader samt høj eller lav luftfugtighed.

De bygningstekniske faktorer, der kan forårsage ubehaget, omfatter:

- kraftig solindstråling og manglende solafskærmning
- forkert indstilling eller placering af termostater
- utilstrækkelig installeret varmeeffekt
- for træge opvarmningssystemer
- kuldenedfald fra store og utilstrækkeligt isolerende vinduesflader
- træk fra sprækker omkring døre eller vinduer
- kuldestråling mod kolde flader f.eks. dårligt isolerede vinduer eller vægge
- for høj hastighed på tilført ventilationsluft (også fra friskluftventiler)
- uhensigtsmæssig placering af friskluftventiler
- manglende tilpasning af beklædning og aktivitet til de termiske forhold i rummet
- høj varmeudvikling p.g.a. for stor persontæthed i lokalet

For faste arbejdspladser kræver Arbejdstilsynet, at temperaturen aldrig er lavere end 18°C, og at temperaturen under normale klima- og arbejdsforhold generelt holdes på 20-22 °C ved stillesiddende arbejde, og endelig at den ikke overstiger 25 °C. Ved en rumtemperatur på mellem 20°C og 23°C bør lufthastigheden ikke overstige 0.15 m/s for at undgå trækgener.

### **7.6 Termisk klima - Konsekvenser og praktiske råd**

Klager over temperaturen kan skyldes, at opvarmningssystemerne er for træge til at tilpasse sig skiftende belastninger. Bygninger med natsenkning af temperaturen tager ofte lang tid at genopvarme, og derfor bør man være opmærksom på, om klager over lave temperaturer hyppigt forekommer om morgenen.

Bygninger med store vinduesflader som er udsat for direkte sol bør altid være udstyret med solafskærmning. Dette kan være markiser, udvendige eller indvendige persienner, gardiner, eller specielle glastyper, som reducerer indstrålingen. Bemærk, at solafskærmende glas kan give et "dødt" lys i lokalet, som opleves mindre acceptabelt end med andre glastyper. En af de mest effektive solafskærmninger er udvendige markiser.

### **7.7 Kortlægning af indeklimagener**

Er der omfattende klager over indeklimaet er der mulighed for at kortlægge problemerne ved at uddele spørgeskemaer til lærere og elever og derved gennemføre en brugertilfredshedsundersøgelse. På Arbejdstilsynets hjemmeside [www.sioweb.dk](http://www.sioweb.dk) findes eksempler på spørgeskemaer. Endvidere foreslår en nyligt udkommet dansk standard for klassifikation af indeklima en mulig struktur for et spørgeskema som vist nedenfor (DS 3033).

Hvad mener du om indeklimaet i bygningen i forhold til temperatur?	Tilfredsstillende			Utilfredsstillende	
	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

Oplever du i perioder, at der er ubehageligt varmt?	Aldrig				Hele tiden
	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

Spørgsmålene og svarkategorierne er tænkt som inspiration, og der er mulighed for selv at tilføje spørgsmål efter behov. Et amerikansk eksempel på et langt mere omfattende spørgeskema for skoler, som også inddrager spørgsmål om bygningen og dens installationer, findes på <http://www.cbesurvey.org/survey/demos2010/> (vælg "School").

Spørgeskemaer som de nævnte er vigtige værktøjer til at indsamle brugernes input. Brugere er dem, der skal fungere med bygningen og som hver dag oplever indeklimaet og deres input er således et af de vigtigste pejlemærker for, hvordan bygningen præsterer.

At løse indeklimaproblemer kan godt være en langvarig proces og ofte er der ikke en klar sammenhæng mellem de gener og symptomer, elever og lærere har og de fejl eller mangler, der er fundet. Har ingen af de gennemførte tiltag haft nogen nævneværdig effekt kan sikkerhedsorganisationen på skolen være en vigtig medspiller til at vurdere næste skridt. Dette kunne være at inddrage assistance udefra som f.eks. bedriftssundhedstjeneste BST eller en rådgivende ingeniør, der kan bidrage med ekspertviden om forskellige spørgsmål.

## 8. Referencer / anbefalet læsning

### 8.1 Standarder og retningslinjer

ASHRAE(2004) ASHRAE Standard 62.1-2004, Ventilation for acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta

DS 3033 (2011). Frivillig klassifikation af indeklimaet i boliger, skoler, daginstitutioner og kontorer. Dansk Standard, 2011, 1. udgave.

ECA (European Concerted Action "Indoor Air Quality and Its Impact on Man") (1992) Guidelines for ventilation requirements in buildings, Report no. 11, EUR 14449 EN, Luxembourg: Office for Publications of the European Communities.

### 8.2 Nyttige webadresser

**www.dcum.dk**

Dansk Center for Undervisningsmiljø. Et videnscenter om undervisningsmiljø på uddannelsessteder .

**www.godtskolebyggeri.dk**

Målet med Godt Skolebyggeri er at medvirke til, at skolebyggerier bliver gennemført på en måde, der sikrer ansatte og elever/studerende et godt arbejdsmiljø.

**www.arbejdstilsynet.dk/da/temaer/indeklima.aspx**

Arbejdstilsynets hjemmeside om indeklima. Arbejdstilsynet er den myndighed, der fører tilsyn med arbejdsmiljøet i Danmark og udarbejder regler, vejledninger og informationsmateriale.

**www.indeklimaportalen.dk**

Indeklimaportalen er en hjemmeside om indeklima for alle i den offentlige sektor og finanssektoren og indeholder en lang række informationer om årsager til problemer med indeklimaet og meget andet.

**www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk**

Erhvervs- og Byggestyrelsens hjemmeside med det gældende Bygningsreglement.

**www.ie.dtu.dk**

DTUs Center for Indeklima og Energi. Centeret har bl.a gennemført omfattende undersøgelser af indeklimaet i danske skoler. Forskere fra centeret har udarbejdet dette notat.

**www.epa.gov**

Den amerikanske miljøstyrelse (Environmental Protection Agency). Særdeles omfattende hjemmeside, som behandler alle aspekter af indeklima, giver dybdegående viden gode praktiske råd (NB. hjemmesiden er på engelsk).

### 8.3 Referencer

Chetty R, Friedman, J.N., Hilger, N., Saez, E., Schanzenbach, D.W., and Yagan, D. (2010) "How Does Your Kindergarten Classroom Affect Your Earnings? Evidence from Project Star (September 2010)", NBER Working Paper Series, Vol. w16381. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1683131>

Daisey, J., Angell, W.J. and Apte, M.G. (2003) "Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information", Indoor Air, 13, 53-64

EFA, (2001) Indoor Air Quality in Schools. European Federation of Asthma and Allergy Associations, Helsinki, Finland.

Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D. J. and Shaughnessy, R. J. (2011) "Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement", *Indoor Air*, 21, 121–131

Heschong Mahone Group Inc. (2003) Windows and Classrooms: A Study of Student Performance and the Indoor Environment, Technical Report, California Energy Commission.

Holmberg, I. and Wyon, D.P. (1972) Systematic observation of classroom behaviour during moderate heat stress. *Educational and Psychological Interactions*, 37, 18p. Malmö, Sweden: School of Education

Mendell, M.J. and Heath, G.A. (2005) "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature", *Indoor Air*, 15, 27-52.

Satish, U., Fisk, W.J., Mendell, M., Shekhar, K., Cleckner, L.B., Teng, K. (2011) "Impact Of CO2 on human decision making and productivity", *Proc. Indoor Air 2011*, Austin, Texas, paper no. 574.

Wargocki, P., Seppanen, O. (eds), Andersson, J., Boestra, A., Clements-Croome, D., Fitzner, K. and Hanssen, S.O. (2006) Indoor climate and productivity in offices. How to integrate productivity in life cycle costs analysis of building services. REHVA Guidebook 6., Federation of European Heating and Air-Conditioning Associations, REHVA, Brussels.

Wargocki, P. and Wyon, D.P. (2006) "Effects of HVAC on Student Performance", *ASHRAE Journal*, October, 22-28.

Wyon, D.P. (1969) The effects of moderate heat stress on the mental performance of children. National Swedish Institute for Building Research, Document D8/69, 83p. Stockholm: Building Research Council



For det tekniske servicepersonale på landets folkeskoler er det en kerneydelse at skabe et attraktivt og sundt læringsmiljø, hvor gode fysiske rammer og et godt indeklima er vigtige elementer.

Det er imidlertid velkendt, at den danske folkeskole ikke har det for godt. Vedligeholdelse og renoveringer er i stort omfang blevet forsømt. Og det rammer både eleverne og de ansatte på skolerne.

Men hvor slemt står det til? Og hvad er konsekvenserne af f.eks. dårligt indeklima? Og hvad kan der gøres ved det?

Det er nogle af de ting, som FOA – Fag og Arbejde gerne vil sætte fokus på.

Derfor har vi bedt forskere på Danmarks Tekniske Universitet om at udarbejde denne rapport, som er en opsamling på den forskning der findes på området.

Rapporten dokumenterer, at der er store problemer med indeklimaet i danske skoler. Og at det har konsekvenser for både sundheden og indlæringsevnen hos eleverne. Men den giver også nogle anvisninger på, hvad der kan gøres på både kort og lang sigt.



Stauings Plads 1-3  
1790 København V

Tlf.: 46 97 26 26  
[www.foa.dk](http://www.foa.dk)