

# INDEKLIMA



# ENERGI

## **UNDERSØGELSE AF MULIGHEDER FOR UDVÆLGELSE AF FOLKESKOLER TIL INDEKLIMA- OG ENERGIRENOVERING**

MASTERPROJEKT UDARBEJDET VED AALBORG UNIVERSITET AF  
POUL KELD LETH LORENTSEN  
I FORÅRET 2015.

---



---

# Titelblad

Masterprojekt titel: Undersøgelse af muligheder for udvælgelse af folkeskoler til indeklima- og energirenovering

Uddannelse: Master i bygningsfysik

Semester: 4 semester

Uddannelsesinstitution: Aalborg Universitet København

Udfærdiget af: Poul Keld Leth Lorentsen

Udarbejdet i perioden: Februar 2015 – juni 2015

Vejleder: Lars Gunnensen - SBI

Afleveringsdato: 31. maj 2015

Antal normalsider: 83

Antal tegn med mellemrum: 106.837 (44,5 sider ved 2.400 tegn)

Underskrift:

  
Poul Keld Leth Lorentsen

---

# Forord

Denne rapport er et led i uddannelsen "Master i bygningsfysik" som er et halvtidsstudie på Aalborg Universitet. Rapporten udgør det afsluttende 4 semester og er udarbejdet over en periode på 4 måneder, med aflevering 1 juni 2015. Forfatteren er undertegnede Poul Leth Lorentsen.

Baggrunden for valget af projektemne, er en stor interesse for fagområdet indeklima, kombineret med min opfattelse, af en generel problemstilling, omkring midler til indeklimarenovering hos kommunerne. Denne opfattelse er xxx igennem mit daglige arbejde som energirådgiver hos SEAS-NVE, hvoraf en stor del foregår omkring det offentlige regi, med gennemførelse af energirenoveringsprojekter, helt eller delvis finansieret under "energilån".

Kombinationen af dette har givet anledning til en personlig nysgerrig for, i hvilken grad det vil være muligt for kommuner, at kombinere indeklima- og energirenoveringsprojekter. Således at der opnås større indeklimaforbedringer, end det normalt vil være tilfældet, ved et typisk energirenoveringsprojekt, finansieret med energilån.

Rapporten består af 2 dele.

Første del af rapporten undersøger ud fra et empirisk grundlag, sammenhængen imellem indeklimaet i en lang række skoler, samt de pågældende bygningers energimærker. Hertil er anvendt data fra "masseeksperimentet"<sup>1</sup> omkring indeklima i klasselokaler fra 2014. Samt min egen indsamling af tilgængelige data, vedrørende bygningernes energimærke. Formålet har været at undersøge om resultaterne muligvis anvendes til at pege på hvilke skolebygninger, investerede energirenoveringskroner i størst mulig omfang er medvirkende til at skabe de mest optimale rammer for elevernes indlæring i folkeskolerne.

Anden del af rapporten undersøger en afgrænset del af indeklimaet på "sogneskolen, Jægerspris", en af skolerne fra "masseeksperimentet". Formålet her er at demonstrere at indeklimaet over en typisk skoledag i de danske skoler ikke kan fastlægges ud fra en øjebliksmåling. Derudover er formålet at undersøge om indeklimaet i klasselokalerne i længere perioder er over de anbefalede grænseværdier, som vurderes at reducere elevernes indlæring.

Hertil skal følge en stor tak til professor Geo Clausen fra DTU, som været så venlig at stille data fra "masse eksperimentet – indeklima på skoler 2014" til rådighed for opgaven.

Samt min vejleder Professor Lars Gunnensen, som under forløbet har stået klar til både at lytte og komme med konstruktiv kritik.

*Bemærk at rapporten er udformet for 2 siders læsning med tekst på venstre side og illustrationer på højre side. Læses rapporten digitalt skal dette indtilles i PDF programmet.*

---

<sup>1</sup> Kilde fremgår af litteraturliste

## Indholdsfortegnelse

1	Abstract.....	4
2	Indledning.....	6
	DEL 1 – Energimærke vs. indeklima .....	8
3	Datagrundlag.....	8
	3.1 Data på energiforbrug: .....	8
	3.2 Data på indeklima .....	12
	3.3 Fælles reference .....	18
4	Analysemetode.....	20
	4.1 Beregning af korrelationsfaktorer .....	20
	4.2 Middelværdier .....	20
	4.3 Histogrammer .....	20
5	Resultater .....	22
	5.1 Korrelation – energimærke og indeklima .....	22
	5.2 Middel CO2 koncentration fordelt på energimærker .....	24
	5.3 Middel CO2 koncentration, energimærker og ventilationssystem.....	28
	5.4 Middel energimærke fordelt på bygningsalder .....	32
	5.5 Middel CO2 koncentrationer afhængig af bygningsalder .....	38
	5.6 Korrelation – rumvolumen pr. person:.....	40
	5.7 Rumvolumen pr. person og Co2 koncentrationer .....	42
6	Konklusion .....	47
	DEL 2 – Indeklimaanalyse .....	49
7	Indledning.....	49
8	Udvælgelse af skole.....	50
9	Beskrivelse af skolens bygninger og installationer.....	54
10	Metode .....	58
11	Indeklimaanalyser .....	62
	11.1 Resultater - 6 a.....	62
	11.2 Resultater - 8 a.....	66
	11.3 Resultater - 8 b.....	70
	11.4 Samlede resultater .....	74
	11.5 Anbefaling .....	78
12	Hovedkonklusion .....	83
13	Anvendt litteratur .....	85
14	Bilagsfortegnelse. ....	87



# 1 ABSTRACT

This report is the final project in the program "Master of Building Physics" at Aalborg University in Copenhagen.

The report deals with indoor climate in schools, and consists of two parts.

The first part of the report, examines whether there is a correlation between energy consumption (in terms of energy labels of the building) and poor indoor climate in the public schools in Denmark. The study is based on data, from a larger survey performed by Scientists from DTU (The Danish Technical University), as well as collected data on the "energy labels" of the school buildings. This data is partially collected, from the "Danish Energy Authorities" as well as manually by the online public information server (OIS) The purpose of the first part of the report, is to identify whether there can be determined a general "recipe" for selecting schools, where combined projects, consisting of indoor climate improvements and energy measurements, will add the greatest value.

The second part of the report examines the indoor air quality, at one of the schools included in the aforementioned indoor climate survey. The purpose of this second part of the report, is to identify how often CO<sub>2</sub> concentrations in classrooms and the school in general is located in the area where it affects learning abilities of the pupils. A second goal is to bring forward general recommendations and suggestions, for reducing CO<sub>2</sub> concentrations in the school.

The conclusion from the report in general is that, there are a correlation between the "energy label" of school buildings and CO<sub>2</sub> concentrations, based on the available data. It also conclude that the authorities owning the buildings, should focus on schools, with natural ventilation or mechanical exhaust, and buildings built in the period 1940-1959, which has the poorest energy labels and the highest CO<sub>2</sub> concentrations.

In addition, the conclusion is also that there might be the need, for further and more nuanced climate studies, which may be able to contribute to a righteous view, of the general state of the indoor climate in schools. Because the time where CO<sub>2</sub> concentrations are high, potentially may be less than expected.

The report's targeted audience is, the Government building managers, and other **interested parties**, engaged in activities around improving the energy and indoor climate in school buildings.

Because the report is a school project, it will include certain information, with the purpose to demonstrate knowledge in building physics.





## 2 INDLEDNING

Indeklima består af en lang parameter, som alle påvirker menneskers sundhed og velbefindende. Indeklimaet påvirker ifølge undersøgelser sygefraværet både i erhvervslivet, men også hos elever i skolerne. Forskningen peger også på at indeklimaet hænger sammen med elevernes indlæringssevne, herunder koncentrationsevnen. Regeringen og de danske vismænd, mener at Danmark i fremtiden skal konkurrere og leve af innovation og viden. Det kan blive en udfordring, bla. fordi de danske skoleelever ligger lavere i de internationale pisaundersøgelser ift. vores nordiske naboer, som vi så oftest sammenligner os med. Et godt indeklima kan ifølge undersøgelser<sup>2</sup> populært sagt, øge indlæringssevnen med op til 20%, svarende sagt svarende til 1 års skolegang.

Ifølge Bygningsreglementet kræves der ved nybyggeri af skolebygninger, at CO<sub>2</sub> koncentrationer i klasseværelser ikke komme over 1.000 ppm i længere perioder, dette tolkes i projekteringsammen typisk som maksimalt 1.500 ppm<sup>3</sup>. Ifølge Universets og bygningsstyrelsens vejledning til planlægning af godt indeklima, kommer CO<sub>2</sub> koncentrationen i det ”Optimale” indeklima ikke over 800 ppm. Samme grænseværdi er gældende for klasselokaler klassificeret som havende et ”fremragende indeklima” jf. den danske frivillige indeklimaklassificeringsnorm DS3033.

I den offentlige debat om indeklimaet i de danske skoler er resultaterne fra indeklimaundersøgelsen ”masse eksperimentet” dukket op flere gange. Først i 2009 og senest i slutning af 2014. Resultaterne peger på at de danske skoler ligger over 1.000 ppm i 60% af de målte klasselokaler uden udluftning i lektionen og at når der blev luftet ud inden lektionen lå koncentrationerne over 1.000 ppm i 56 % af tiden. Sammenlignes de 2 undersøgelser, er der ikke sket forbedringer af indeklimaet i de danske skoler fra 2009 til 2014.

I de sidste mange år, har der været et stort fokus på at få energirenoveret den eksisterende bygningsmasse og kommunerne har derfor automatisk adgang til at lånefinansiere energirenoveringsprojekter via ”Lånebekendtgørelsen”. Kommunerne skal dog til den almindelig vedligeholdelse af deres bygningerne, herunder indeklimarenovering, selv finde pengene på budgetterne.

Fordi energirenovering ofte hænger sammen med ventilationsprojekter og at energimærkerne anvendes af kommunerne til planlægning af energirenovering. Er det interessant at undersøge, om der skulle være en sammenhæng imellem skolernes indeklima og energimærker.

---

<sup>2</sup> ”The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilationrate on the performance of schoolwork by children”

<sup>3</sup> ”Velfungerende løsning til ventilationssystemer I skoleklasser”



# DEL 1 – ENERGIMÆRKE VS. INDEKLIMA

I dette hovedafsnit har jeg forsøgt at afdække hvorvidt der er en sammenhæng imellem dårligt indeklima og bygningens energiforbrug, set ud fra to eksisterende datagrundlag. På indeklimasiden har jeg benyttet ”Masseeksperimentet 2014” og på energiforbrugssiden har jeg benyttet bygningernes energimærke. Forklaringer til udvælgelse af disse datagrundlag er beskrevet i de efterfølgende afsnit.

## 3 DATAGRUNDLAG

### 3.1 Data på energiforbrug:

Det har ikke været muligt at finde et egnet datagrundlag, som viser skolernes energiforbrug. Derfor har jeg valgt at anvende skolernes energimærke, som et mål for bygningernes energiforbrug. Energimærket i sig selv udtrykker ikke nødvendigvis hvor meget energi der bruges eftersom

Bygningernes energimærke, er et teoretisk beregnet energiforbrug til opvarmning/køling, produktion af varmt brugsvand, samt belysning<sup>4</sup>. Beregningen udføres på baggrund af en række standardforudsætninger for bygningernes brugsmønster, herunder vigtigst rumtemperatur på 20 grader celsius og et vurderet luftskifte på typisk 0,3-0,7 gange i timen, afhængig af bygningens vurderede tæthed. Beregning af bygningers opvarmningsbehov, udregnes efter SBI-anvisning 213, via beregningsprogrammet BE10<sup>5</sup>, selve energimærket bliver dog udført i andre programmer end BE10<sup>6</sup>, disse programmer anvender dog samme beregningskerne.

Dette beregnede forbrug ganges så med en faktor afhængig af bygningens energiart (fjernvarme eller EL) og udregnes til et energiforbrug pr. kvadratmeter. Faktorens formål er at sætte bygningens energiforbrug i mål med miljøbelastningen af forsyningsformen. Faktoren er fastlagt ud fra tekniske såvel som politiske hensyn, eks. vægtes olie, gas, træ og fjernvarme med samme faktor, selvom miljøpåvirkning er uens.

Energimærkeskalaen går (Se figur 1) fra A2020 til G, hvor G-mærket tilfalder bygninger med det højest beregnede energiforbrug.

Energimærker udarbejdes efter regler fastlagt i ”Bekendtgørelse om energimærkning af bygninger” samt dertilhørende håndbøger for energikonsulenter.

Data på energimærket for skolerne er tilvejebragt delvis via Energistyrelsen, som har været så venlige at udlevere en liste med alle energimærkede erhvervsjendomme. Denne liste afdækkede desværre kun 168 af de 262 skoler (jf. Tabel 1), hvorfor resten er indhentet manuelt skole for skole, via offentlige tilgængelige data fra OIS<sup>7</sup>, som er nemmere tilgængelig igennem ”www.boligejer.dk”.

---

<sup>4</sup> Gælder ikke boliger

<sup>5</sup> Dags dato uden versionsangivelse.

<sup>6</sup> ”Energi10” eller tidligere program ”Eko pro”

<sup>7</sup> Offentlige informationsserver



Figur 1 - Energimærkeskalaen

Tabel 1 - optællinger fra masseeksperimentet<sup>8</sup>, samt heraf energimærkede skoler.

Samlet antal deltagende klasser	773
- Herunder antal klasser som er energimærket	637
Samlet antal skoler	259
- Herunder antal skoler som er energimærket	212

<sup>8</sup> Efter fjernelse af formodede fejlmålinger.

Ikke alle skolerne fra masseeksperimentet er energimærket, på trods af at det har været lovpligtigt for offentlige bygninger over 250m<sup>2</sup> siden 2009<sup>9</sup>.

En af begrænsningerne ved at anvende energimærker i denne undersøgelse er at der ikke findes et datagrundlag som angiver energimærker for præcis den bygning<sup>10</sup>, hvori målinger af de pågældende klasselokaler er foretaget i.

Det forholder sig sådan, at energimærker udarbejdet før 2013, er angivet for hele ejendommen, altså alle bygningerne fra BBR lagt sammen<sup>11</sup>. Det giver en svaghed i datagrundlaget, fordi skoler som i tidens løb har bygget til, overordnet set vil have varierende konstruktionsforhold, dette er meget relevant i denne rapport da det har indflydelse på ventilationsforholdene. Disse forhold vil variere ift. myndighedskrav til indeklima og energiforbrug på det gældende opførelsestidspunktet.

Det har dog ikke været muligt at finde nogle alternativer som muliggør en kobling af skolernes ”energiforbrug” med indeklimaet mere præcist. Derudover er antallet af skoler repræsenteret under hvert trin på energimærkningsskalaen, dette meget ujævnt fordelt, (se Figur 2). Navnlig de 3 højeste trin A2015, A2015 og B, er svagt repræsenteret i datagrundlaget, med 2%, 1% og 4%.

I søgen efter et egnet datagrundlag har jeg overvejet at anvende data fra <http://www.skoleforbrug.dk>. Efter telefonisk drøftelse med en af nøglepersonerne fra projektet (”Ole Michael” fra SBI), valgte jeg ikke at bygge min undersøgelse på dette grundlag. Årsagen er at de tilgængelige data er af ældre data, fra 2000 til ca. 2008, samt at indmelding af nye data siden 2008 nærmest er faldet til nul. Det må derfor antages at datagrundlaget er temmelig hullet. For at relevansen af min undersøgelse er størst mulig, kræver det at datagrundlaget er så nyt som muligt.

De udleverede data fra ”masseeksperimentet” fremgår af bilag 14

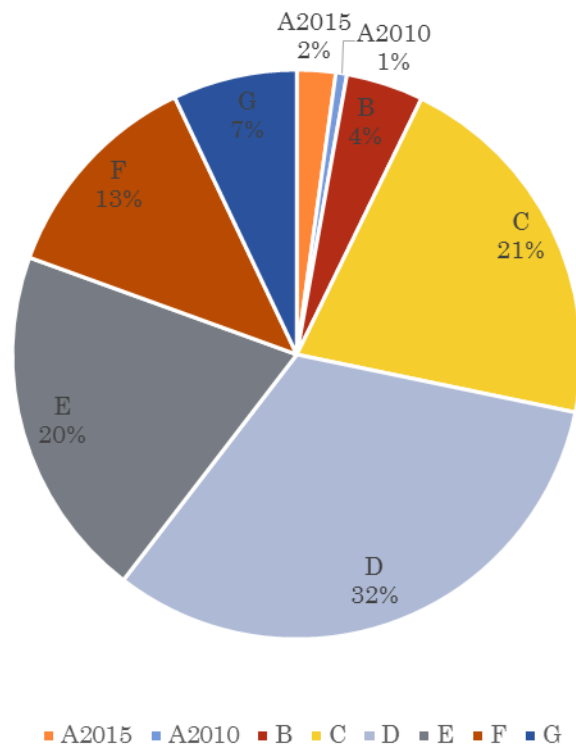
---

<sup>9</sup> jf. ”Bekendtgørelse af lov om fremme af energibesparelser i bygninger” § 19.

<sup>10</sup> Bygning ift. BBR oplysninger.

<sup>11</sup> Regler angiver dog at de skal opdeles ved større variationer jf. **XXXXX**

### Fordeling af energimærker på bygninger fra masseeksperimentet



Figur 2

## 3.2 Data på indeklima

Grundlaget i denne del af rapportens undersøgelse, består på indeklimasiden af data indsamlet under ”masseeksperimentet 2014”.

”Masseeksperimentet” omfatter undersøgelse af indeklimaet hos 785 skoleklasser fra 262 skoler og gymnasier. I alt 10,6% af alle landets grundskoler deltog i Masse Eksperimentet (se bilag 3).

Det er skolerne selv der har stået for udførelsen af målingerne, samt besvarelse af spørgeskema; alt sammen planlagt af en række forskere fra DTU.

Som det fremgår af bilag 1, er der foretaget kortlægning af en række parametre, som kan inddeles i 3 hovedområder:

- Måling af CO<sub>2</sub>-indhold i luften.  
(Måleudstyr: Kitagawa 126SF +-10% unøjagtighed)
- Bestemmelse af skimmelsvampe i luften
- Rumtemperaturen.

Målingerne/prøvetagningerne er suppleret med spørgsmål som afdækker en række forklarende/underbyggende forhold, herunder eksempelvis typen af ventilation i klasselokalet, den normale udluftningsadfærd, det subjektivt oplevede indeklima (lugter der når man kommer ind), omkringliggende natur/miljøer (asfalt, mark, eng mm.), antal elever i lokalet ved målinger, rumvolumen, samt en række andre parametre.

Datagrundlaget er gennemgået ift. såkaldte ”outliers”, som er værdier der ligger meget skævt i forhold til det generelle billede. Dette inkluderer også fejlmålinger/indtastninger. Skoler med målinger på CO<sub>2</sub> under 400 ppm er fjernet helt fra datagrundlaget, fordi det udendørs niveau i Danmark, typisk ligger omkring 380 ppm og at intervallet i målingerne er 50 ppm.

Derudover har jeg foretaget tilretning af enkelte målinger hvor jeg har vurderet at det er indlysende, at der er byttet om på co<sub>2</sub> og temperatur. Havde datagrundlaget været større, ville det have været mere korrekt at fjerne uklare data helt fra datagrundlaget, uagtet hvor logisk fejlen end måtte være.

Jeg har fjernet dele af datagrundlaget ift. oplyste rumvolumener, herunder 4 klasselokaler med meget høje værdier fra 1440m<sup>3</sup> til 1891m<sup>3</sup>, eftersom skolerne har bekræftet at værdierne ikke stemmer med virkeligheden. Derudover har jeg foretaget en frasortering af alle data hvor rumvolumenet pr. person er under 3m<sup>3</sup>, da jeg vurderer at det ikke er fysisk muligt med traditionel indretning med borde og stole. Der er selvfølgelig mange hvis ‘er ift. hvor frasorteringen bør ske og min vurdering er at mange at lærerne i forsøget muligvis har misforstået, at det er rumvolumenet og ikke arealet, der skulle indtastes i deres skema. Selvom denne frasortering og formodede misforståelse om m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, vil give anledning til nogle diskutabile resultater, mener jeg alligevel at det er værd at undersøge, om ikke andet for at lægge op til at andre kan foretage en mere kvalitativ undersøgelse af dette.

Dokumentation for alle ændringer forefindes i bilag 11

Denne rapport omfatter ikke undersøgelse af alle parametre fra "masseeksperimentet", men er afgrænset til målinger på co2 dag 1 og temperatur dag1, samt de relevante dele de af spørgsmålsbesvarelser, som vedrører de to indeklimaparametre.



I Figur 3 på højre side er oplyst de anvendte data fra masseeksperimentet. Som det fremgår af figuren, har jeg valgt at tilføje et ekstra "dataelement" til undersøgelsen, som er en beregnet værdi på baggrund af data fra masseeksperimentet. Det ekstra dataelement er "beregnet rumvolumen pr. person" og er beregnet på 15baggrund af "rumfang af klasselokalet" og "det gennemsnitlige antal personer i klasseværelset på testdagene". Årsagen er at det kan være interessant, at holde rumvolumen pr. person op imod bygningsreglementet krav til netop samme. Undersøgelse af rumvolumen pr. elev er ikke vist i resultatrapporten fra masseeksperimentet 2014, men fremgår af samme rapport fra samme eksperiment foretaget i 2009.

Masseeksperimentet tager udgangspunkt i måling af den aktuelle CO<sub>2</sub> koncentration, som giver et øjebliksbillede. Svagheden i denne metode er at det ikke nødvendigvis repræsenterer rummet eller skolen generelt, Eksempelvis kan en classes/skoles indeklime ift. CO<sub>2</sub> niveau være acceptabelt<sup>12</sup>, hvis klassebelægning én årgang er lav, eller at målingerne er foretaget under fravær af elever pga. sygdom eller andet. Og hvis målt på et andet tidspunkt betegnes som værende dårligt, hvis klassen skulle "fyldes" op, ift. lovkrav<sup>13</sup>. Denne problemstilling er også gældende ift. hvornår på året målingerne er foretaget. Målingerne fra "masseeksperimentet" er foretaget i september måned 2014, hvor middel udetemperaturen var 12,4 grader celsius<sup>14</sup>, udetemperaturen har indflydelse på udluftningsadfærden pga. risikoen for trækgener. Især i bygninger med naturlig ventilation, fordi der her ikke er nogen varmeafleder eller varmeveksler til at forvarme luften. Der er dog eksempler på ældre systemer med udeluftsventiler bag radiatorer, som erfaringsmæssigt generelt er dårligt fungerende og derfor lukkes af brugerne, som typisk ikke åbner dem igen, når udetemperaturen stiger.

Denne problematik kunne også undgås, hvis der i stedet for måling af det aktuelle CO<sub>2</sub> niveauet under normale driftsomstændigheder, havde været foretaget måling af rummets luftskifte ved brug af sporgas eksempelvis jf. DS/EN ISO 12569. Det målte luftskifte kunne derefter anvendes til beregning af rummets CO<sub>2</sub> ligevægt under normale driftsomstændigheder (eks. 22 elever og 1 lærer). Beregning af rummets maksimale personbelastning gældende lovkrav til nybyggeri, eks. Bygningsreglementets krav til normalklasseværelser på 6m<sup>3</sup>/elev. Denne metode finder eksempelvis anvendelse ved klassificering af bygningens indeklime "performance" jf. den danske standard "DS3033 - Frivillig klassificering af indeklimeets kvalitet i boliger, skoler, daginstitutioner og kontorer".

Styrken i målingen af det aktuelle indeklime er dog, at det er langt mindre ressourcekrævende i form af tid og udstyr, samt ift. krav om nødvendig teknisk viden for at gennemfører målingerne. Derudover mener jeg at det er kommunikativt lettere at argumentere for indeklimeets tilstand til lægfolk på baggrund af faktiske målinger og ikke teoretiske beregnede værdier ved forskellige brugsscenerier.

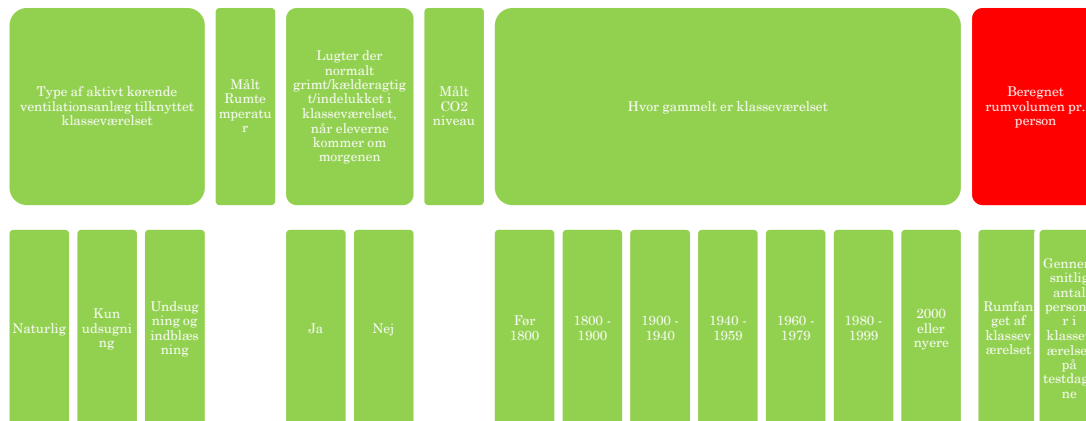
---

<sup>12</sup> Under 1000 ppm

<sup>13</sup> Folkeskoleloven §17

<sup>14</sup> Jf. DMI vejrarkiv

# Energimærke (A2015, A2010, B, C, D, E, F, G)



Figur 3 – Anvendte data i korrelationsanalyse (grøn er fra masseeksperiment, orange fra Energimærkning, Rød er egen beregnet værdi)

At målingerne fra masseeksperimentet er øjebliksmålinger af ”sidste del af en lektion”<sup>15</sup> er problematisk fordi CO<sub>2</sub> koncentrationen i virkeligheden, typisk vil udvikle sig forskelligt over en skoledag. Det var også foreskrevet at vinduerne skulle være ”lukkede under selve eksperimentet”<sup>15</sup>, hvilke både kan tolkes som værende under selve målingen eller hele lektionen. Det stiller tvivl til, at målinger kan anvendes til en generalisering af CO<sub>2</sub> koncentrationerne. I øvrigt lå CO<sub>2</sub> målinger på dag 8 en del lavere, her var det foreskrevet at vinduerne skulle åbnes i frikvarteret, og at eleverne skulle udenfor i frikvarteret. Hvis adfærden omkring denne årstid eks. er at klassen normalt lader vinduerne stå på klem, eller andre afvigelser fra forudsætningen fra målingerne bør resultaterne fra ”masseeksperimentet” og nærværende rapports ”del 1” anvendes med omtanke.

---

<sup>15</sup> Uddrag af vejledningen til lærerne til gennemførelse af masseeksperimentet

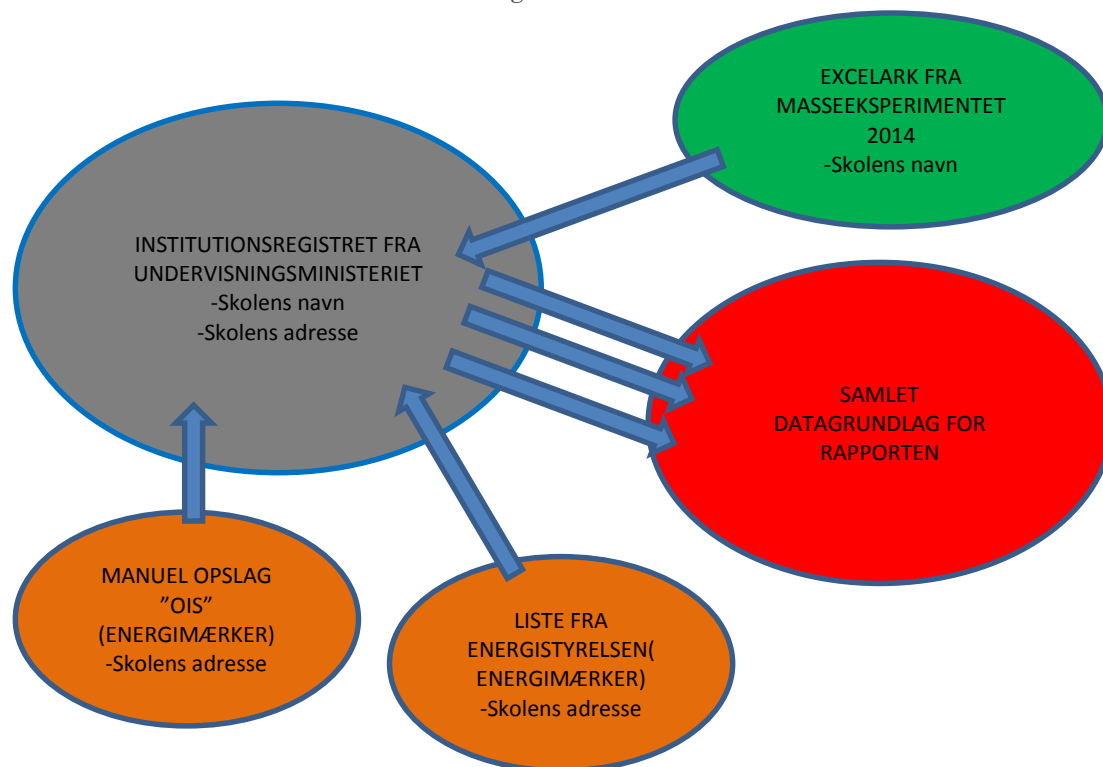


### 3.3 Fælles reference

Fordi datagrundlagene ikke har en entydig fælles reference, (det ene har kun skolenavn, det andet kun adressen) har det været nødvendigt at finde et tredje datagrundlag som har begge, se Figur 4. Her har jeg anvendt en liste over institutioner fra undervisningsministeriets institutionsregister som er downloadet direkte fra [www.uvm.dk](http://www.uvm.dk)

På trods af et fælles grundlag for identifikation af den enkelte skole, har det krævet en større proces, bla. mht. ændring af skolenavne som var stavet, forskellige/forkerte adresser samt manuelle opslag af energimærker på skoler, hvor den udleverede liste fra Energistyrelsen var mangelfuld. Ændringer er dokumenteret i bilag 10

## Fælles identifikation for sammenkøring af data



**Figur 4 – Illustration af hvordan fællesparametre (skolen navn og adresse) er anvendt for at det var muligt at sammenkører data.**

## 4 ANALYSEMETODE

For at undersøge om datagrundlaget kan fortælle noget om en eventuel sammenhæng imellem skolernes energimærke og indeklimaet. Har jeg anvendt forskellige opstillinger af data, som er beskrevet på efterfølgende sider.

### 4.1 Beregning af korrelationsfaktorer

For at give en ide om mulige sammenhænge, har jeg indledningsvis undersøgt indholdet af de 2 datagrundlag på et helt overordnet niveau imellem hver informationsgruppe (energimærke, målt CO<sub>2</sub>, rumtemperatur osv.)

Dette er udført via beregning af korrelationsfaktoren imellem hvert parameter, som er opstillet i et matrix.

Det har været nødvendigt at omdanne tekstfelter til numeriske værdier og jeg har her valgt at anvende en simpel inddeling af numeriske værdier ift. at lave værdier er ”positivt” for indeklimaet eller energiforbruget, og høje værdier er negativt. På den måde kan det ud fra matrixen med korrelationsfaktorer nemmere vurderes i hvilke retning faktorerne påvirker hinanden. Eksempelvis jo højere CO<sub>2</sub> niveau giver lavere energimærke, giver det en positiv korrelationsfaktor (Se bilag 4).

I denne beregning undersøges alle klasselokaler, som er energimærket.

Beregningerne er foretaget med ”Excel 2013– Analysetoolpack”.

Der er anvendt en skalainddeling i farver samt betegnelse af korrelationsfaktorens signifikansniveau. Inddeling og betegnelse er udført iht. ”Dancey, C., & Reidy, J. (2004)” kategorisering, se Tabel 2.

### 4.2 Middelværdier

De dele af undersøgelsen omhandler sammenhængen imellem indeklima og selve energimærke, har det været nødvendigt at beregne middelværdier for alle data omkring indeklimaet, fordi datasættet består af 212 energimærkede skoler og 773 klasselokaler. Dette hænger også fint sammen med, at energimærkerne også er fastlagt ud fra en gennemsnitsbetragtning af hele skolen og de dertilhørende bygninger jf. afsnit. 5.1.

Eksempelvis er der i masseeksperimentet oplyst hvor gammelt det enkelte klasselokale er, her er der på de enkelte skoler variationer, formodentlig pga. til/ombygninger. Flere af skolerne er repræsenteret med op mod 10 klasselokaler, hvorfor jeg også har anvendt beregnede middelværdier for opførelsesåret på skolen. For at lette læsbarheden af rapporten, har jeg valgt at anvende betegnelsen, ”bygningens opførelses år” når der er anvendt middelværdier fra klasselokaler opsummeret på skoleniveau.

I tillæg til middelværdier på CO<sub>2</sub> målingerne, er også anvendt middel maksimum og middel minimum, for at vise spredningen.

### 4.3 Histogrammer

Rumvolumen pr. person er analyseret ved brug af histogrammer og er sammenholdt med nuværende myndighedskrav ved nybyggeri.

**Tabel 2 - Skalainddeling af korrelationsfaktorens signifikansniveauer**

<b>SKALAINDDELING AF KORRELATIONSFAKTORENS SIGNIFIKANSNIVEAUER:</b>					
<b>Perfekt</b>	<b>Meget stærk</b>	<b>Stærk</b>	<b>Moderat</b>	<b>Beskednen</b>	<b>Svag</b>
0,9-1	0,8-0,9	0,5-0,8	0,3-0,5	0,1-0,3	<0,1
<b>Red</b>	<b>Orange</b>	<b>Gul</b>	<b>Grøn</b>	<b>Blå</b>	Hvid



## 5 RESULTATER

### 5.1 Korrelation – energimærke og indeklima

På højre side (Tabel 3) er opstillet korrelationsfaktorer imellem energimærket og hver dataelement. Som beskrevet i afsnit 4.2. er der for analyserne omkring energimærket anvendt middelværdier, derfor er sammenhængen imellem hver af de andre dataelementer ikke vist her.

<b>CO2</b>	Der er en beskeden sammenhæng imellem energimærket og det gennemsnitlige co2 niveauet. Resultatet peger på at CO2 niveauet er højere i de skoler med dårligere energimærke. End i de skoler med gode energimærker. Samme tendens gør sig gældende ift. højeste og laveste co2 niveau.
<b>Rumtemperatur</b>	Der er også en beskeden sammenhæng imellem skolernes energimærke og rumtemperaturen. Her er tendens til at rumtemperaturen stiger, når energimærket bliver dårligere.
<b>Rumvolumen pr. person i klasselokalet</b>	Her er sammenhængen beskeden til svag. Det ser dog ud til at jo dårligere energimærke desto mindre rumvolumen har den enkelte elev.

Resultater fra korrelationsanalysen indikerer, at der er en sammenhæng imellem energimærket og flere indeklimafaktorer. Disse sammenhænge undersøges og diskuteres nærmere i de efterfølgende afsnit.

For at afgrænse opgavens omfang, er sammenhængen imellem rumtemperaturen og energimærket ikke undersøgt yderligere i nærværende rapport. Ifølge konklusionen fra resultatrapporten fra masseeksperimentet er der generelt ikke et indeklimaproblem iht. rumtemperaturen, på trods af at ca. 20 % af skolerne har en rumtemperatur over 24 grader.

Det bør i den sammenhæng derfor nævnes, at en undersøgelse<sup>16</sup> viste at skoleelevers evne til at løse koncentrationskrævende opgaver steg med 2-4 % for hver grad temperaturen sænkes fra 25 grader imod 20 grader.

---

<sup>16</sup> "Wargoeki P" "The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilationrate on the performance of schoolwork by children"

**Table 3 – Korrelationsmatrix for energimærker og beregnede middelværdier på indeklimadata**

	<i>Co2</i>	<i>Maksimal co2</i>	<i>Minimum co2</i>	<i>Rumtemperatur</i>	<i>Rumvolumen pr. person i klasselokalet</i>	
<b>Energimærke</b>	<b>0,187</b>	<b>0,150</b>	<b>0,174</b>	<b>0,163</b>	<b>-0,116</b>	
<b>SKALAINDELING AF KORRELATIONSFAKTORENS SIGNIFIKANSNIVEAUER:</b>						
<b>Perfekt</b>	<b>Meget stærk</b>		<b>Stærk</b>	<b>Moderat</b>	<b>Beskedent</b>	<b>Svag</b>
0,9-1	0,8-0,9		0,5-0,8	0,3-0,5	0,1-0,3	<0,1
<b>Red</b>	<b>Orange</b>		<b>Gul</b>	<b>Grøn</b>	<b>Blå</b>	Hvid

## 5.2 Middel CO<sub>2</sub> koncentration fordelt på energimærker

### **Resultater:**

Resultaterne fra Figur 5 viser en tendens til at CO<sub>2</sub> koncentrationerne er højere i de bygninger med dårligt energimærke, fremfor i bygninger med godt energimærke. Tendensen gør sig gældende for alle 3 værdier (middel, middel maks. og middel min. CO<sub>2</sub>)

Der er ikke nogen tendens til at spredningen imellem CO<sub>2</sub> koncentrationer på middel høj og middel lav, er højere eller lavere ift. skolernes energimærke. Se Figur 6.

### **Diskussion:**

Om tendensen er klar hele vejen fra energimærke A2015 til G, er uklart. Antallet af skoler og bygninger, repræsenteret under hvert trin på energimærkningsskalaen, har en noget ujævn fordeling jf. Figur 7. Navnlige kan det diskuteres om "A2015" med kun 3 skoler, "A2010" med 6 skoler, eller "B" og "G" med henholdsvis 10 og 12 skoler, kan medregnes i konklusionen omkring tendensen.

At der ikke er nogen sammenhæng imellem spredningen på CO<sub>2</sub> niveauerne "middel høj" og "middel lav" på energimærkerne, er interessant. Jeg ville umiddelbart tro at spredningen ville være lavere på de bygninger med de bedre energimærker, fordi de typisk ikke har naturlig ventilation, som er sværere at kontrollere og derfor vil variere, fordi den i høj grad afhænger af vindforhold og temperaturdifferensen imellem ude og inde. Nyere bygninger har derimod typisk mekanisk ventilation, som nemmere kan styres ift. behovet.

### **Brugeradfærden er udelukket**

Brugernes adfærd kan tages ud af forklaringen, fordi dette er standardiseret under energimærkningsordningen. Jf. afs. 5.1. og derfor ikke burde variere i datagrundlaget<sup>17</sup>. Sammenhængen burde være større, hvis også adfærden fra indeklimaundersøgelsen var taget ud af ligningen. Fordi jeg mener at adfærden kan variere meget fra skole til skole. Eksempelvis som følge af demografiske forskelle, eller skoler i yderkantsområder som måske er mere gammeldags anlagt og måske endda stadig benytter sig af dukse, som fast åbner vinduerne i frikvarterene. Her tænker jeg også på alderen af lærerne. Eksempelvis viser en spørgeskemaundersøgelse fra 2007<sup>18</sup> i hvert fald, at unge mennesker lufter mindre ud i deres egne boliger, end ældre mennesker, måske er det samme også tilfældet, når de er på arbejde. Det kunne have været interessant at have undersøgt dette nærmere.

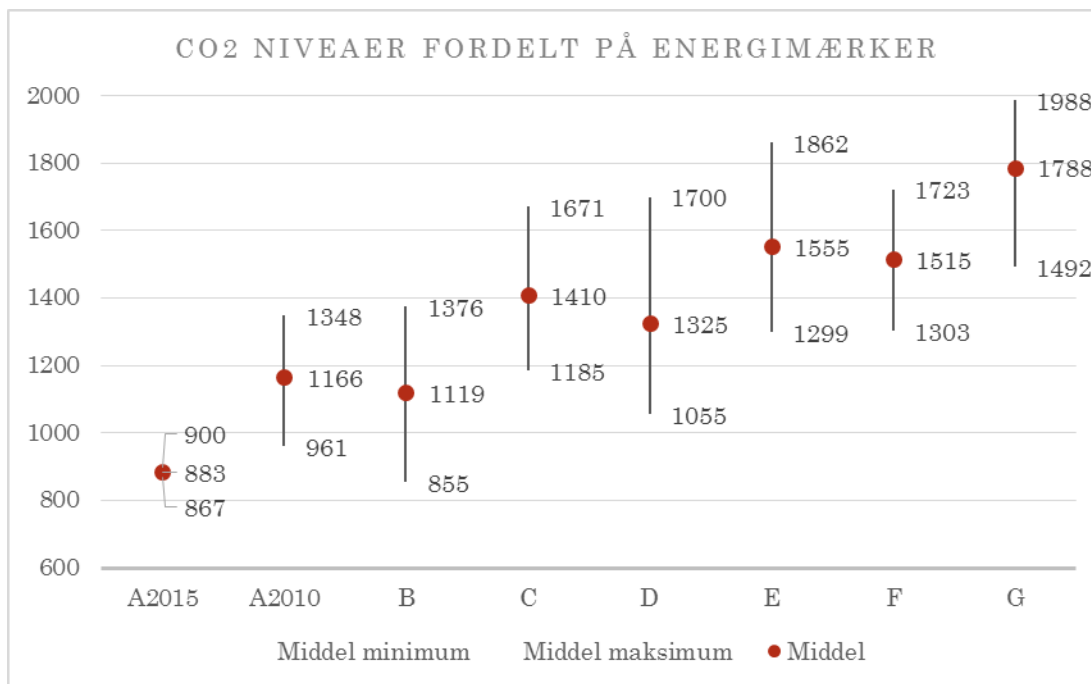
### **Forklaringen hænger sammen med luftskiftet**

Teknisk set kan det ikke være selve energimærket der påvirker indeklimaet eller omvendt fordi begge er resultatet af en lang række faktorer. Forklaringen på sammenhængen i dette datagrundlag, skal alene findes i de byggetekniske forhold, fordi det er det eneste fælles påvirkningsgrundlag. I Figur 8 (på næste side) er sammenhængen illustreret.

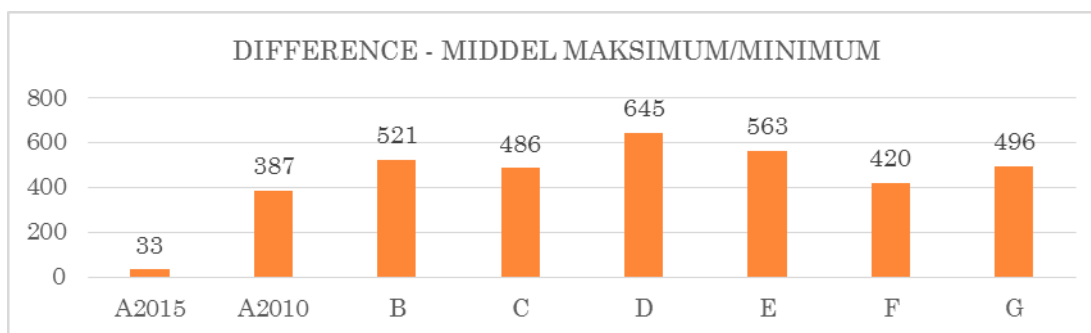
---

<sup>17</sup> Energikonsulenten kan dog vælge at anvende andre værdier, hvis brugssituationen afviger fra standardværdierne.

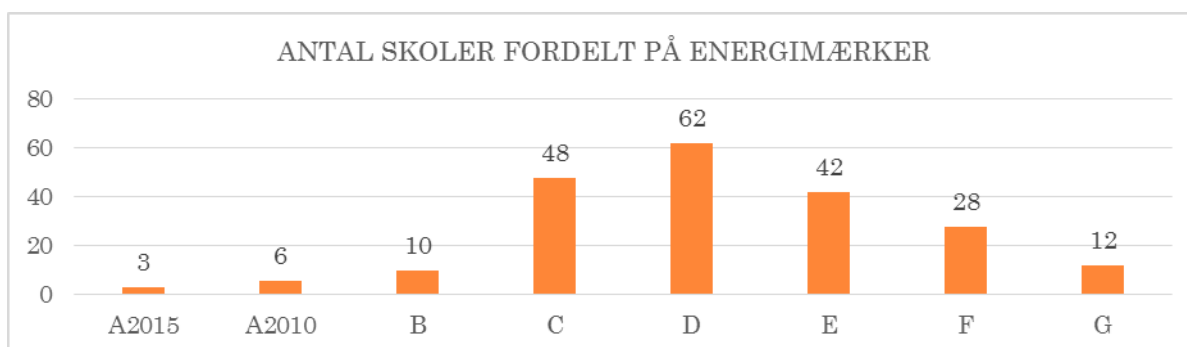
<sup>18</sup> "Miljøministeriet, kampagne præ måling august 2007



Figur 5 – CO2 koncentrationer fordelt på energimærker



Figur 6 – Difference – middel maksimum og middel minimum



Figur 7 – Antal skoler fordelt på energimærker

Luftskiftet er ikke en del af datagrundlaget, hvilke ellers ville have været interessant at sammenholde med energimærket. Jeg formoder at der vil være en større sammenhæng imellem selve luftskiftet og energimærket, end CO<sub>2</sub> niveauet og energimærket, fordi variablerne (personantal, aktivitetsniveau, osv.) hermed vil være sorteret fra.

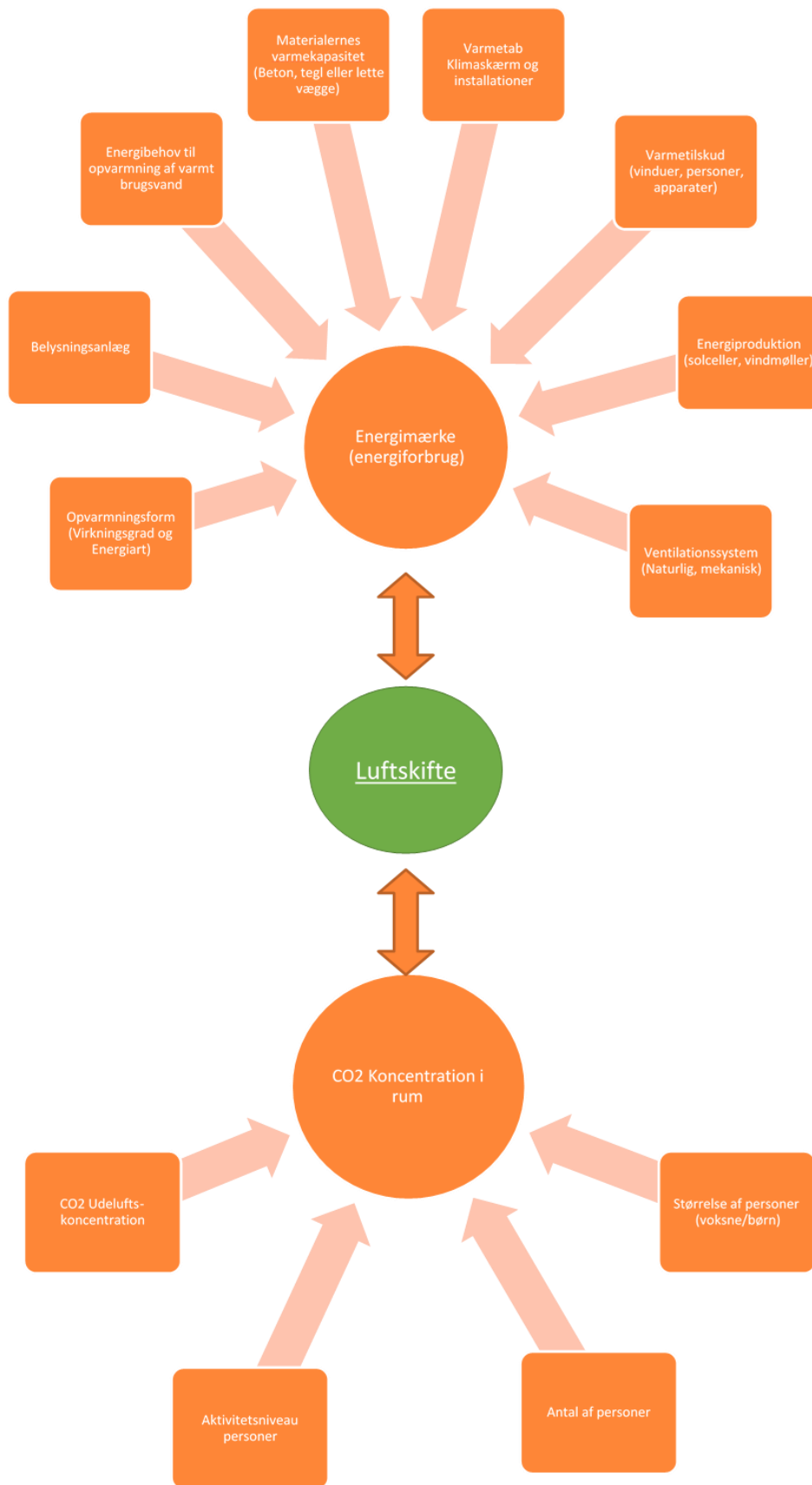
### **Ventilation med varmegenindvinding**

Der er 2 modstridende argumenter som alene hver især giver mening, men ikke sammen.

På den ene side kunne man fristes til at tro, at luftskiftet i bygninger med dårligt energimærke har højere luftskifte fordi det påvirker energiregnskabet negativt.

Men på den anden side skulle luftskiftet i samme bygninger så være lavere, fordi det kan forklarer at CO<sub>2</sub> koncentrationen er stigende jo dårligere energimærket er.

Argumenterne peger i hver sin retning og forklaringen på dette kan være, at ældre bygninger typisk har naturlig ventilation uden varmegenindvinding.



Figur 8 – Luftskifte som primær fælles påvirkningsparameter.

## 5.3 Middel CO2 koncentration, energimærker og ventilationssystem

For at undersøge nærmere er grafen for CO2 koncentrationer fordelt på energimærker (Figur 5) nærmere ift. ventilationsforhold, har jeg i Figur 9, filtreret CO2 koncentrationen på baggrund af ventilationsløsningerne.

For at denne filtrering viser et så retvisende billede som mulig, har det været nødvendigt at anvende datamaterialet omfattende alle energimærkede klasserum. Alternativt skulle jeg have anvendt den gennemsnitlige numeriske værdi for ventilationssystemet pr. skole, hvilke vil give nogle lidt svært forståelige tal og grafer.

### **Resultater:**

Som det fremgår af Figur 9 og Figur 10 peger resultaterne lidt i forskellige retninger afhængig af hvor stor værdi man tillægger antallet af klasseværelser, som ligger til grund for middelværdierne.

Resultatet viser at bygninger uden mekanisk ventilation har højere CO2 koncentrationer end bygninger med udsugning, og bygninger med både udsugning og indblæsning. Der er ingen eller meget svag tendens til at dette hænger sammen med energimærket.

Der er en ret klar tendens til at CO2 koncentrationen i bygninger med kun udsugning bliver højere jo dårligere energimærket for bygningen er.

I bygninger med udsugning og indblæsning er der en svag sammenhæng til at CO2 koncentrationen bliver højere desto dårligere energimærket bliver.

### **Diskussion:**

Ifølge Figur 5 på side 25 er der en tendens til at bygninger med dårligt energimærke også har høje CO2 koncentrationer. Det er interessant at se hvordan resultaterne i Figur 9 fortæller en mere nuanceret historie og at sammenhængen her ikke er gældende for klasselokaleruden mekanisk ventilation eller med både udsugning og indblæsning.

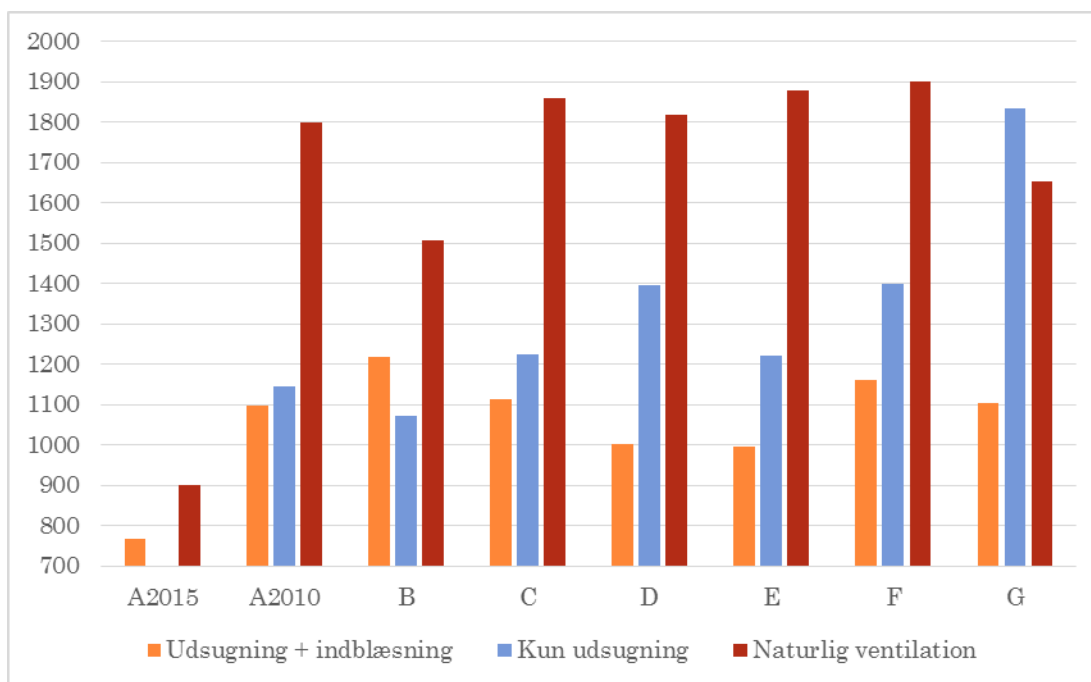
At tendensen er stærkest i bygninger som kun har udsugningsanlæg, stiller spørgsmålstegn ved, at man generelt kan sige noget om tendensen, fordi der eksempelvis nærmest er ingen sammenhæng, ved bygninger uden mekanisk ventilation.

Det er ikke overraskende bygningeruden mekanisk ventilation som har de højeste CO2 koncentrationer, og ej heller at bygninger med både udsugning og indblæsning generelt har de laveste.

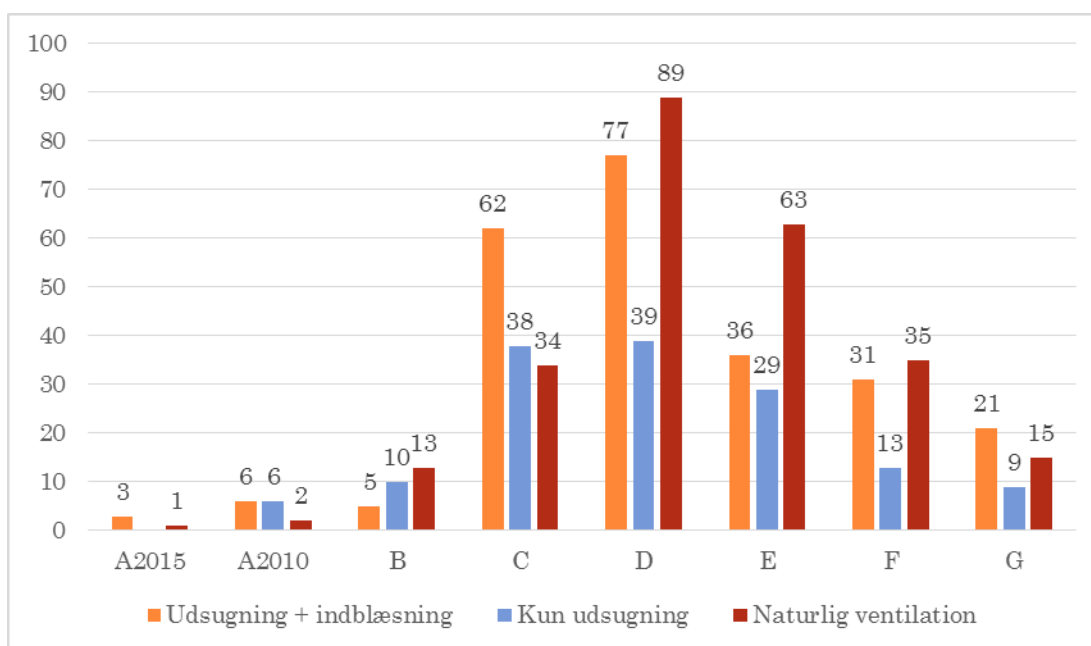
Det faktum at det beregnede energimærke godt kan indeholde klasser med vidt forskellige ventilationsløsninger og at en del skolerne i datagrundlaget er repræsenteret med op imod 10 klasseværelser, gør at resultaterne i Figur 5 tegner et skævt billede af datagrundlaget og det er problematisk ift. at skoler har klasselokaler med forskellige ventilationsløsninger.

### **Er ventilationssystemet måske forkert registreret**

At bygninger med udsugning og indblæsning de bedre energimærkningsklasser, tilsyneladende har tendens til at have højere CO2 koncentrationer, kan måske skyldes



Figur 9 Middel CO2 koncentration fordelt på energimærker, vist afhængig af ventilationssystem



Figur 10 – Antal klasseværelser fordelt på energimærker, vist afhængig af ventilationssystem



At lærerne, som selv har skulle undersøge ventilationsforholdene, ikke har haft den fornødne tekniske viden til at foretage denne vurdering. Det er formodentlig nemt for de fleste at se, om der er nogle ventilationsarmaturer i klasselokalet, men om det er indblæsning eller udsugning, kan muligvis være svært for lægfolk at vurdere.

### **Udsugningsanlæggene er måske ikke i drift**

At bygningernes udsugning og energimærke i den dårlige ende af skalaen, har højere CO<sub>2</sub> koncentrationer end de med bedre energimærker, kan skyldes at udsugningsanlæggene måske ikke alle steder er i drift. At anlæggene måske ikke er i drift, kan skyldes at de er af ældre dato og måske korrekt vedligeholdt. Nyere bygninger har typisk både udsugning og indblæsning.

Det er også sandsynligt at de lukkes af brugerne, ældre udsugningsanlæg har ofte den svaghed at de til tider giver trækproblemer, fordi tilluften enten ikke bliver forvarmet inden det opblandes med rumluften, eller at varmekilderne ikke er tilstrækkelige. Eksempelvis er en traditionel løsning, at der er monteret udeluftsspjæld bag ved radiatorer.

De steder hvor friskluftspjældene kontrolleres manuelt af brugerne, er der også risiko for at disse lukkes på årets koldeste dage pga. trækgener og at folk så glemmer at åbne igen, derved afspærres fra tilluften til udsugningsventilatoren, og luften må derfor trækkes andre steder fra, eksempelvis fra gangene og andre klasselokaler, samt via infiltration igennem revner og sprækker. I sådant tilfælde vil CO<sub>2</sub> koncentrationen langt hurtigere stige og maksimalkoncentration vil ligeledes være højere. For at eksemplificere denne situation, har jeg udarbejdet et beregningseksempel, se Figur 11, kurverne viser hvordan CO<sub>2</sub> koncentrationen i et teoretisk normalklasseværelse vokser over tid. (20 elever, 1 lærer, luftskifte 2,7/h, 6m<sup>3</sup> rumvolumen pr. person)

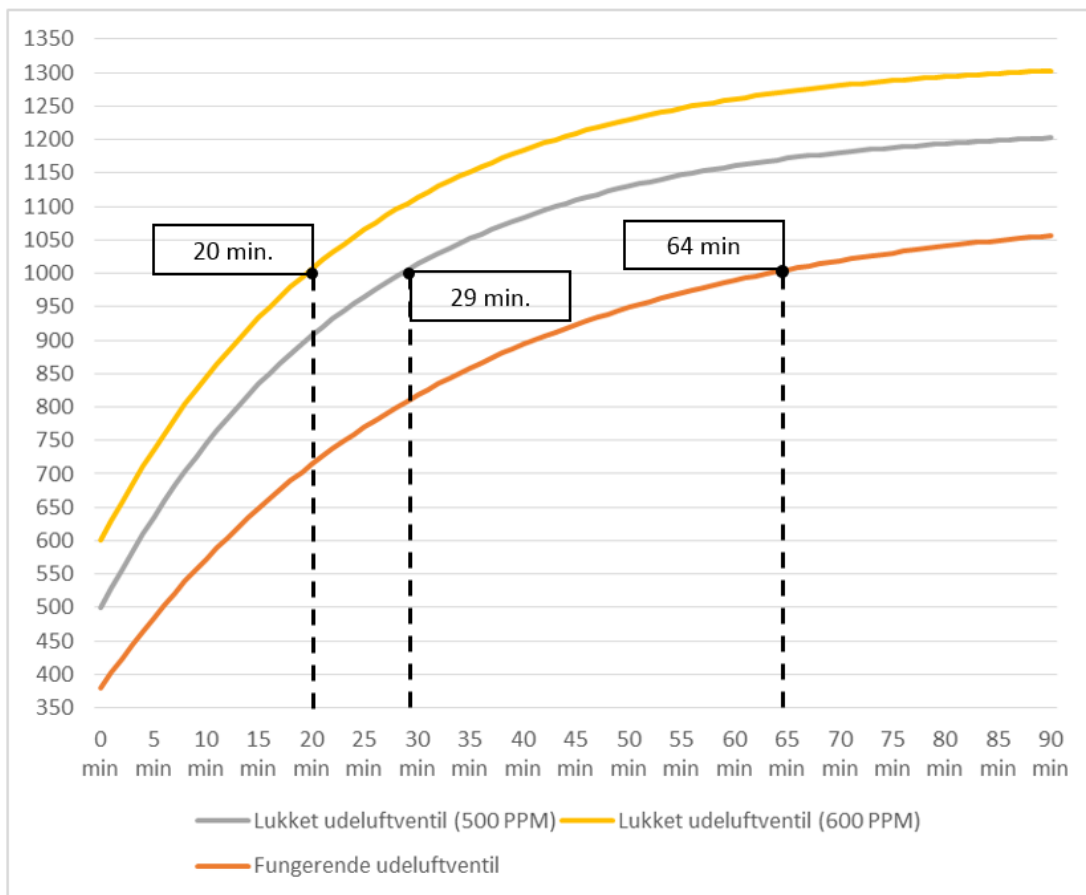
Forudsætning som udgør ændringen imellem de 3 kurver er, at tilluften når ventilen er lukket er 500 eller 600 PPM<sup>19</sup> i stedet for udeluftens 380 PPM.

Resultaterne af beregningen viser at det har stor indflydelse på hvornår grænseværdien fra arbejdstilsynet og på 1000 PPM opnås. 1 lektion i danske skoler er gennemsnitligt 45 min, Her vil der så være mulighed for at tage en kort pause, og få en effektiv udluftning af lokalet ved oplukning af vinduer, og ønskelig også at eleverne tager en tur i skolegården. Det skal understreges at forureningsgraden af tilluften udelukkende beror på min egen faglige vurdering og man kan diskutere at det sandsynligvis vil være nødvendigt at have døren til klasselokalet stående på klem for at opnåret luftskifte på 2,7/timen. Beregningen er derfor medtaget i rapporten, fordi denne er udarbejdet i en skolesituation.

I vurderingen af tendenser, bør det medregnes at datagrundlaget for gennemsnitsværdierne på energimærke "A2015" og "A2010" er relativt få. Jf. Figur 10.

---

<sup>19</sup> Tallene er tilfældig udvalgt.



Figur 11 - Stigning i co2 koncentration ved forskellige grader af "forurenet" tilluft fra andre rum i bygningen.

## 5.4 Middel energimærke fordelt på bygningsalder

### **Hvorfor kigge på energimærker fordelt på bygningernes opførelses år?**

Den formodentlig største overordnede påvirkningsfaktor, for energimærket af en bygning, vurderer jeg for værende opførelsesåret, fordi kravene til bygningernes energiforbrug til opvarmning, historisk set har været reguleret via bygningsreglementet, eller ift. byggeskikke på opførelsestidspunktet.

De specifikke krav til eksempelvis U-værdier til konstruktionerne, fremgår af Tabel 4. Det "rene" billede af energiforbrug ift. opførelsesåret eksisterer dog ikke, fordi bygninger løbende renoveres og derfor energimæssigt også forbedres igennem tiden. Det skal bemærkes at der i dag anvendes en energiramme til regulering af energiforbruget i ny opførte bygninger, og at u-værdi krav, i dag kun er til for at sikre imod kuldebroer, som kan medføre støvkondens<sup>20</sup>, skimmelvækst, eller komfortproblemer i form af oplevede trækgener.<sup>21</sup>

Af Figur 12 fremgår det at der var store variationer i udsvinget af energiforbruget inden reguleringen fra bygningsreglementet træder i kraft.

### **Resultater:**

Resultatet jf. Figur 13, peger på at de helt gamle bygninger opført før år 1900, generelt har lidt bedre energimærker end bygninger opført fra år 1900 til år 2000, først herefter er det gennemsnitlige energimærke bedre end hos bygninger opført før år 1900. Grafen viser også at bygninger opført i perioden 1940-1959 gennemsnitligt har de dårligste energimærker.

Energimærker af den dårligste karakter forekommer fra bygninger fra år 1900 og helt frem til bygning opført et sted imellem 1980-1999.

Skoler med de bedste energimærker er repræsenteret ved bygninger opført i perioden 1960-1979 og ved bygninger opført efter år 2000.

### **Diskussion:**

Resultaterne er på mange måder interessante, og et godt spørgsmål ville være:

### **Hvorfor har ældste bygninger bedre energimærker end mange af de nyere?**

Det første svar på dette er muligvis at datagrundlaget i enkelte perioder for opførelsesåret, består af et mindre antal skoler og at tendensen derfor ikke stemmer med virkeligheden.

En anden årsag kan være, at de muligvis har gennemgået renovering. Hvis renoveringen har fundet sted inden for de sidste 40 år, hvilke er sandsynligt ift. levetiderne på vinduer, tagbelægninger etc. Er der muligvis også foretaget energimæssige forbedringer ift. oliekrisens indtræf og deraf øget fokus på energiforbrug, samt stramninger af bygningsreglement.

---

<sup>20</sup> Område med let kondensdannelse, hvor støvpartikler kan hæfte og bygges op til sorte plamager.

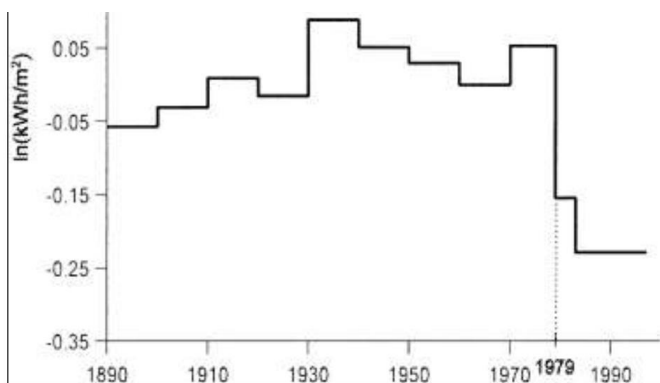
<sup>21</sup> Omkring konstruktioner med kolde overfladetemperaturer, er der risiko for oplevelse af gener i form af træk, selv om dette ofte nok mere er det reducerede varmestrålingsbidrag fra overfladen, der opleves som koldt på huden.

Bygningsdele	BR61/72	BR77/82	BR95	BR08 <sup>1</sup>	BR08 <sup>2</sup>
Ydervæg, tung	1,00	0,40/0,35	0,30	0,20	0,40
Ydervæg, let	0,60	0,30	0,20	0,20	0,40
Terrændæk	0,45	0,30	0,20	0,15	0,30
Loft- og tagkonstruktioner	0,45	0,20	0,15-0,20	0,15	0,25
Etageadskil. mod uopv. rum	0,60	0,40	0,30	0,40	0,40
Vinduer	2,90	2,90	1,80	1,50	2,00
Tagvinduer og ovenlys	-	-	-	1,80	2,00

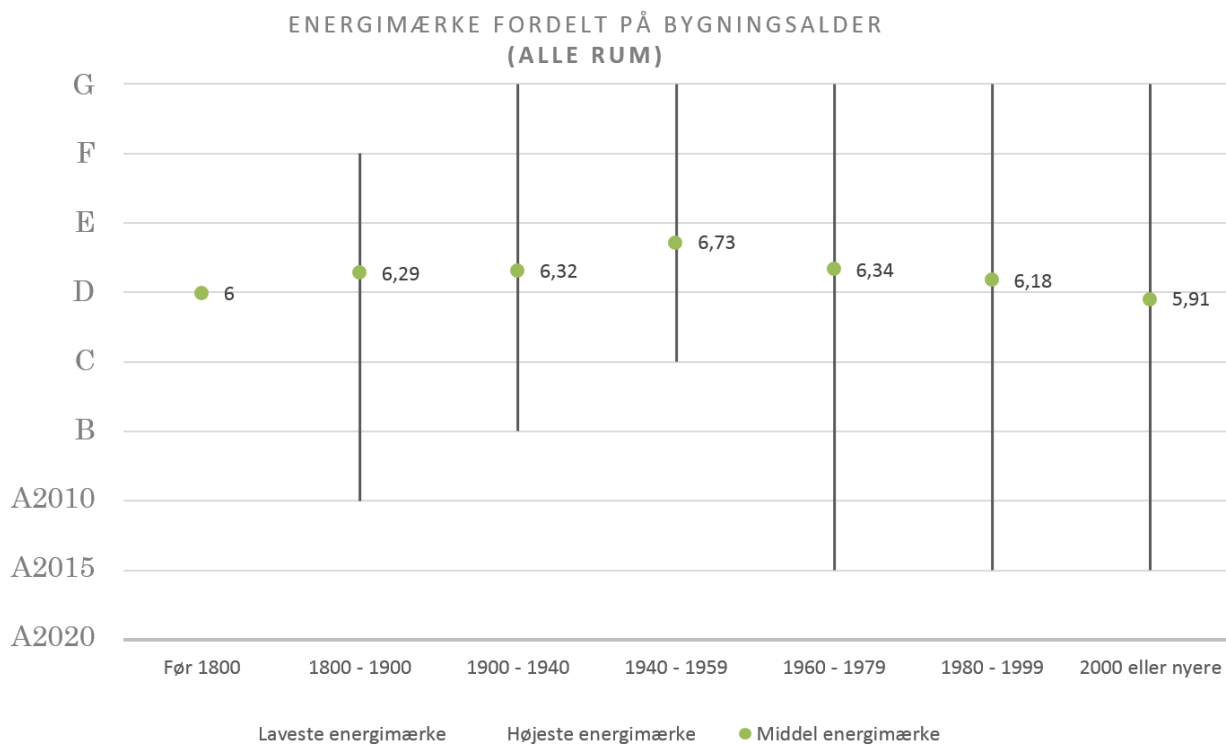
<sup>1</sup> Energibestemmelsernes krav til tilbygninger og større ombygninger/renoveringer

<sup>2</sup> Mindste isoleringskrav

Tabel 4 – Mindstekrav fra bygningsreglementer igennem tiden. Kilde: Rapporten ”energibesparelser i bygninger i den offentlige sektor”



Figur 12 – Det faktiske energiforbrug i storebygninger i forhold til gennemsnittet. Kilde: ”En vej til flere og billigere energibesparelser En evaluering af samtlige danske energispareaktiviteter”



Figur 13 – Energimærke fordelt på bygningsalder (alle rum) Tallene angiver den numeriske placering imellem hvert trin på energimærkningskalaen

### **Det er måske ofte mere rentabelt at efterisolere ældre skoler?**

Byggeskikken i 60'erne og 70'erne har præg af modulbyggerier med lette vægge og flade tage i tagkassetter af træ, hvor tidligere byggeskikke traditionelt set var hultmure af tegl og tagkonstruktioner med større hældninger med hanebånds- eller gitterspær, og vandrette lofter. Disse ældre bygninger har måske på nogle områder været nemmere og mere rentable at efterisolere, i hvert fald med hulmursisolering og loftsisolering i tilgængelige tagrum. For at give en ide om hvor meget hulmurs og loftsisolering flytter ift. energimærket, har jeg lavet et beregningseksempel på baggrund af "sogneskolen", som er beliggende på adressen Møllevej 100, 3630 Jægerspris og som hører under Frederikssund kommune. Skolen er udvalgt til denne eksempelberegning fordi den indgår i den senere del af rapporten. Beregningen er udført i energimærkningsprogrammet "Energi10".

Som det fremgår af Figur 15, springer energimærket fra "F" til "D", ved gennemførelse af disse energibesparelsesforanstaltninger. Det skal bemærkes at loftet allerede er efterisoleret, og at beregningen derfor tager udgangspunkt i status før 2008.

### **Renovering af ventilationsforhold er måske nemmere på nyere bygninger?**

Pga. byggeskikken i ældre bygninger, er de typisk mere problematiske at renoverer med nye ventilationsløsninger, eks. pga. pladsforhold, rørføringer i tunge vægge, forstærkning af loftsstrukturen til ventilationscentraler, eller nødvendigheden af at opføre tilbygninger dertil. Derfor vælges der ofte løsninger med mindre decentrale ventilationsanlæg<sup>22</sup>, monteret i hvert klasselokale, som ift. økonomi kan monteres lokale for lokale og derfor spredes ud over flere budgetår.

60'ere og 70'ere bygningerne med de flade tage er derimod nemmere at eftermontere/renovere med ventilationsløsninger, enten i form af ombygning af eksisterende anlæg, hvor der allerede er kanaler til indblæsning og udsugning og hvor der kan udbygges til moderne behovsregulering, med påbygning af VAV<sup>23</sup> spjæld, CO<sub>2</sub>- og temperaturstyring og moderne CTS<sup>24</sup> centraler. Derudover kan ældre ventilatorer/motorer typisk udskiftes til nye med energieffektive blæserhjul og EC-motorer med højere virkningsgrad, disse ventilatorer har som regel også integreret trinregulering, hvilke er nyttigt ved behovsstyring. Trinregulering af traditionelle AC-motorer skal ske med påbygning af en frekvensomformer. Er bygningen monteret med udsugningsventilatorer som nogle også er, kan nye ventilationsaggregater ofte monteres på taget, hvorfra kanalføringer er lettere at føre.

### **Belysning er måske en del af forklaringen?**

En af delforklaringerne kan også hænge sammen med bygningers energibehov til belysning, (energifaktor 2,5)<sup>25</sup>. Energiforbruget til kunstlys hænger delvis sammen med dagslysforholdene, typisk kvantificeret som dagslysfaktoren<sup>26</sup>, denne afhænger af forholdet imellem glasarealet og dets placering i facade eller tag, glastypen, samt

---

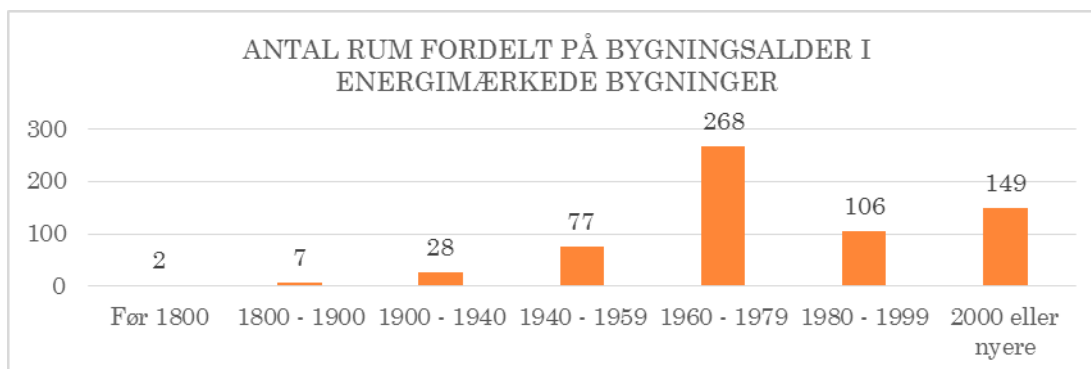
<sup>22</sup> Eksempelvis produktlinien "Airmaster" fra "Exhausto"

<sup>23</sup> Variable air volume

<sup>24</sup> Central tilstandskontrol og styring

<sup>25</sup> Bygningsklasse 2020 er undtaget hvor faktoren er 1,8

<sup>26</sup> Forholdet imellem dagslysniveauet i rummet og udenfor.



Figur 14

	<b>Status: 219,8 kWh/m<sup>2</sup></b>		<b>Forslag: 172,9 kWh/m<sup>2</sup></b>	
	Grænse	Difference	Grænse	Difference
<b>A</b> 2020	25,0	-194,8	25,0	-147,9
<b>A</b> 2015	41,1	-178,7	41,1	-131,8
<b>A</b> 2010	71,5	-148,3	71,5	-101,4
<b>B</b>	95,3	-124,5	95,3	-77,6
<b>C</b>	135,4	-84,4	135,4	-37,5
<b>D</b>	175,6	-44,2	<b>175,6</b>	<b>172,9</b>
<b>E</b>	215,7	-4,1	215,7	+2,7
<b>F</b>	<b>265,9</b>	<b>219,8</b>	265,9	+42,8
<b>G</b>	-	+46,1	-	+93,0

Figur 15 – eksempel på ændring i energimærke ved hulmursisolering af 300mm og 350mm hulmure med henholdsvis 84 mm og 134mm mineraluldsgranulat, kl.37. samt efterisolering i loftrum, fra ca. 75 mm til i alt 250 mm kl.37 mineraluld. Eksempel fra ”sogneskolen”, Møllevvej 100, 3630 Jægerspris. (Figuren viser beregninger udført i ”Energy10”)

Rumgeometrien, herunder vigtigst; dybden af lokalet fra vinduerne i facaden. Se Figur 16. Er dagslysfaktoren lav, er der generelt et større behov for supplerende kunstlys. Dagslysfaktoren er stærkt forbundet til byggeskikken i den pågældende periode som skolen blev opført i.

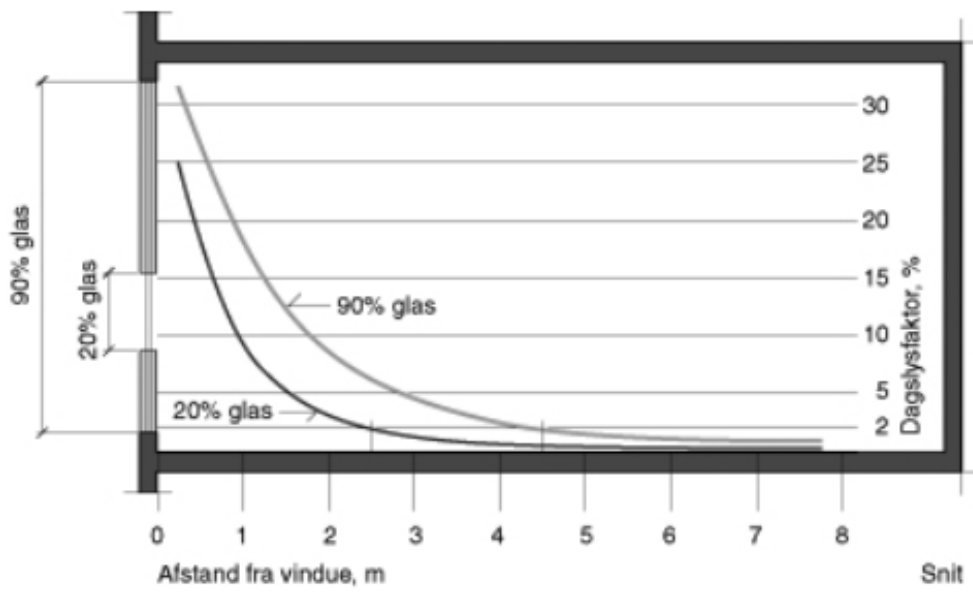
Eksempelvis bar arkitekturen af 1900 tallets Centralskoler præg af et fokus på elevernes helbred<sup>27</sup> og hermed også dagslys. Dagslys var yderligere også den primære kilde til lys i klasselokalerne. Skolerne fra 50`erne til og med 70`erne bar præg af et fokus på, at gøre byggeriet mere rationelt og billigt, samtidig med at rummene i højere grad skulle understøtte den nu hurtigt skiftende pædagogiske tilgang<sup>27</sup>. Løsninger var ofte modulbyggeri, med bærende søjle/drager systemer i beton eller limtræ, hvilke muliggjorde større spændvidder end de tidligere traditionelle løsninger med etagedæk af insitu-beton<sup>28</sup> eller træbjælkelag.

På baggrund af dette har skoler i denne periode muligvis et større elforbrug til belysning. Derudover har energibehovet til EL, som ganges med faktor 2,5, sandsynligvis en væsentlig indflydelse på energimærket. I datagrundlaget fra nærværende undersøgelse vil denne effekt sandsynligvis være sløret, som følge af den løbende reovering/energireovering som skolerne har undergået. Som et eksempel hvor stor andelen kan udgøre af energirammeberegningen, har jeg udført en beregning på baggrund af ”sogneskolen, Jægerspris”, som fremgår det Figur 17, udgør belysningen alene 31 % af energibehovet i energirammeberegningen. Andelen vil dog afhænge af bygningens konstruktioner og installationerne og kan derfor ikke lægges til grund for en generalisering for skoler.

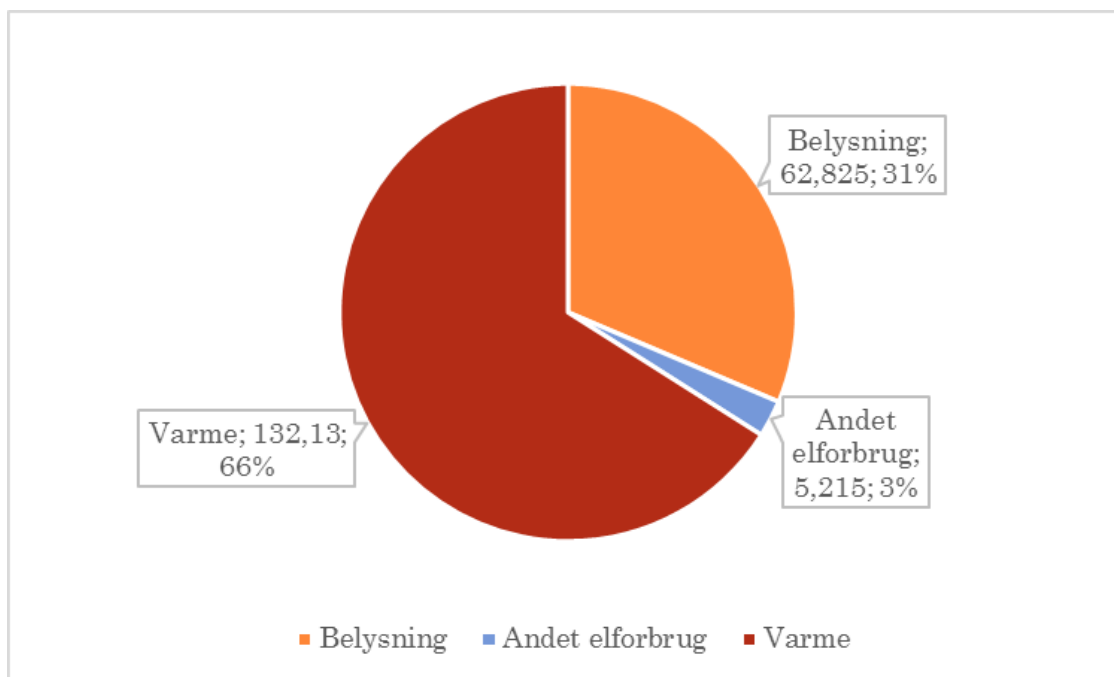
---

<sup>27</sup> Kilde ”Skolernes arkitektur igennem 200 år”

<sup>28</sup> Beton støbt på stedet med forskalling, hvor modsætningen i dag er fabriksproducerede forspændte huldæk i beton.



Figur 16 – dagslysfaktor ift. vinduesstørrelse og rumdybde. Kilde: SBI-anvisning 219.



Figur 17 – Andel af beregnet energibehov i energirammen for "Sogneskolen, Jægerspris" Energibehovet til EL er ganget med energifaktoren 2,5. værdierne er angivet i enheden KWh/m2.



## 5.5 Middel CO<sub>2</sub> koncentrationer afhængig af bygningsalder

### **Resultater:**

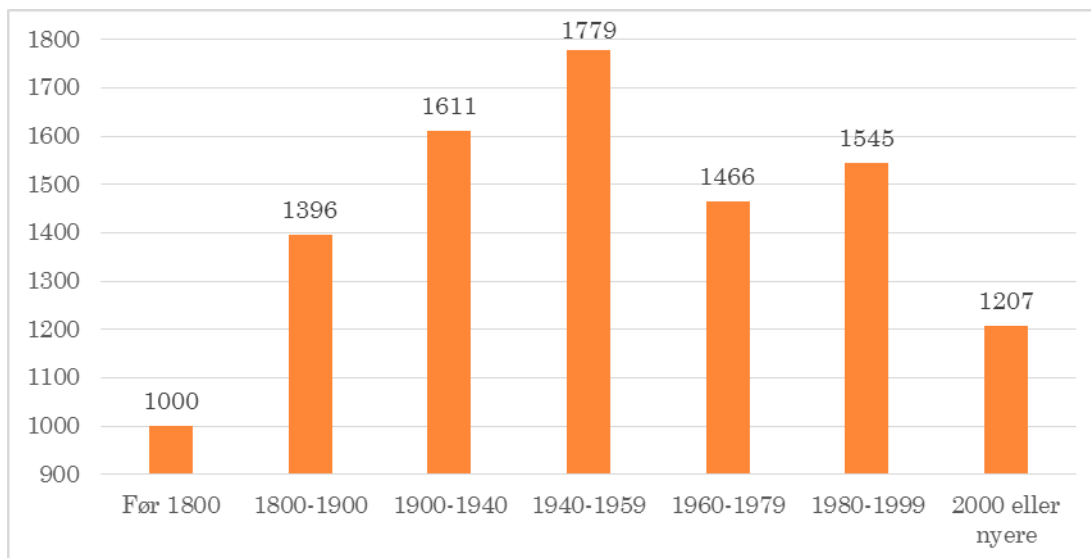
Af Figur 18 fremgår det at der er en tendens til at jo ældre bygningen er desto højere er CO<sub>2</sub> koncentrationen. Tendensen går dog modsat fra bygninger opført i 1940 til 1959 til før 1800 tallet, hvor CO<sub>2</sub> koncentrationen falder.

Resultatet tyder på at bygninger opført i perioden 1940 til 1959 har de højeste CO<sub>2</sub> koncentrationer i klasselokalerne.

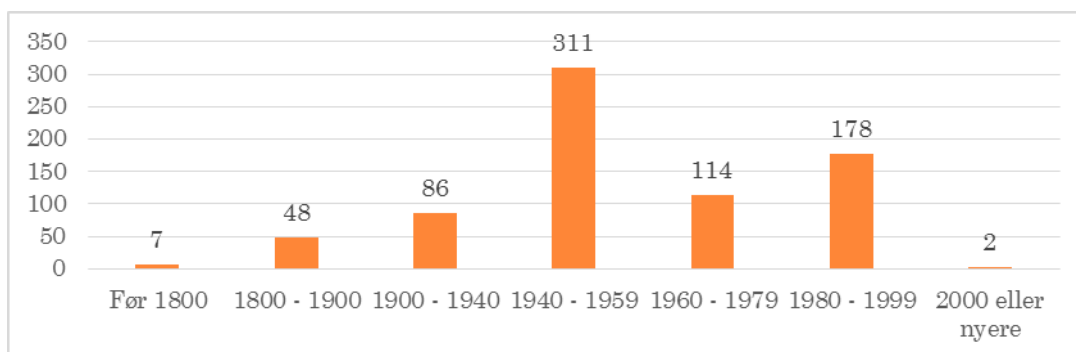
### **Diskussion:**

Ser man på tendensen og sammenholder denne med antallet af skoler repræsenteret under hver tidsperiode, kan man diskutere om de 7 klasselokaler fra før år 1800, eller de 2 klasselokaler nyere end år 2000, kan medtages i vurderingen af tendensen.

Det mest klare resultat er at bygninger opført i perioden 1940 til 1959 har de højeste CO<sub>2</sub> koncentrationer i klasselokalerne. Og forklaringen på dette kan hænge sammen med at disse bygninger typisk er opført med naturlig ventilation, og som det eksempelvis fremgår af Figur 9, ligger CO<sub>2</sub> koncentrationerne for uden mekanisk ventilation generelt langt højere. Det kan også skyldes at en del af disse skoler endnu ikke har foretaget renovering/modernisering af ventilationssystemet.



Figur 18 - Middel CO2 koncentration (PPM) fordelt på opførelses år



Figur 19 Antal skoler fordelt på opførelses år

## 5.6 Korrelation – rumvolumen pr. person:

Denne korrelationsanalyse omfatter alle klasselokaler fra masseeksperimentet.

Den største sammenhæng ses imellem Co2 niveau og ventilationstype, hvilke der også blev konkluderet i resultatrapporten fra masseeksperimentet (se bilag 3).

Signifikansniveauet på 0,399 betegnes som moderat, og peger på at klasselokaler med mekanisk udsugning og indblæsning har de laveste CO2 værdier ift. klasselokaler med naturlig ventilation.

<b>Hvor gammelt er klasseværelset</b>	<b>Der er en beskeden til svag sammenhæng imellem rumvolumen pr. person i klasselokalet og hvor gammel klasselokalet er. Resultatet peger på at jo ældre lokalet er desto mindre rumvolumen har den enkelte person/elev.</b>
<b>Type af aktivt kørende ventilationsanlæg tilknyttet klasseværelset</b>	Der er næsten ingen sammenhæng imellem rumvolumen pr. person i klasselokalet og om skolen har uden mekanisk ventilation, mekanisk udsugning eller mekanisk udsugning og indblæsning.
<b>Rumtemperatur</b>	Der er næsten ingen eller svag sammenhæng imellem rumvolumen pr. person i klasselokalet og rumtemperaturen.
<b>CO2</b>	Der er en beskeden sammenhæng imellem rumvolumen pr. person i klasselokalet og co2 niveauet. Og tendensen er at jo højere co2 koncentration, desto mindre rumvolumen har den enkelte person i lokalet.
<b>Lugter der normalt grimt/kælderagtigt/indelukket</b>	Der er næsten ingen sammenhæng imellem rumvolumen pr. person i klasselokalet og om der lugter i klasseværelset.
<b>Bliver der normalt luftet ud i frikvartererne</b>	Der er næsten ingen eller svag sammenhæng imellem rumvolumen pr. person i klasselokalet og om der normalt bliver luftet ud i frikvartererne.

Sammenhæng imellem de andre dataelementer hver især, er ikke behandlet i nærværende rapport, fordi dette allerede er udført og dokumenteret i resultatrapporten fra masseeksperimentet.

**Table 5 - Korrelationsmatrix for indeklimadata for alle klasserum**

	Hvor gammelt er klasseværelset	Type af aktivt kørende ventilationsanlæg tilknyttet klasseværelset	Rumvolumen pr. person i klasselokalet (m <sup>3</sup> )	Rumtemperatur Dag-	1CO2 Dag-1	Lugter der normalt grimt/kælderagtigt/indelukket i klasseværelset, når eleverne kommer om morgenen	Bliver der normalt luftet ud i frikvarterne
Hvor gammelt er klasseværelset	1,000						
Type af aktivt kørende ventilationsanlæg tilknyttet klasseværelset	0,224	1					
<b>Rumvolumen pr. person i klasselokalet (m<sup>3</sup>)</b>	<b>-0,135</b>	<b>-0,035</b>	1				
Rumtemperatur Dag-1	0,017	0,077	<b>-0,088</b>	1			
CO2 Dag-1	0,160	0,399	<b>-0,195</b>	0,160	1,		
Lugter der normalt grimt/kælderagtigt/indelukket i klasseværelset, når eleverne kommer om morgenen	0,108	0,148	<b>-0,037</b>	0,087	0,113	1	
<b>Bliver der normalt luftet ud i frikvarterne</b>	<b>-0,192</b>	<b>-0,182</b>	<b>0,084</b>	<b>-0,026</b>	<b>-0,125</b>	<b>-0,001</b>	1
<b>SKALAINDELING AF KORRELATIONSFAKTORENS SIGNIFIKANSNIVEAUER:</b>							
<b>Perfekt</b>	<b>Meget stærk</b>	<b>Stærk</b>	<b>Moderat</b>	<b>Beskeden</b>	<b>Svag</b>		
0,9-1	0,8-0,9	0,5-0,8	0,3-0,5	0,1-0,3	<0,1		
<b>Rød</b>	<b>Orange</b>	<b>Gul</b>	<b>Grøn</b>	<b>Blå</b>	Hvid		

## 5.7 Rumvolumen pr. person og Co2 koncentrationer

Rumvolumen pr. person i klasselokalerne er undersøgt for sammenhæng for co2 koncentrationerne i samme rum. Rumvolumen pr. elev er beregnet ud fra oplysning om antal tilstedeværende personer i lokalet på testdagen, samt det rumvolumen.

### Hvorfor kigge på Rumvolumen pr. person og Co2 koncentrationer?

Det er bla. interessant fordi rumvolumenet har indflydelse på hvordan co2 koncentrationen i rum med personophold udvikler sig over tid, eks. en lektion i en skoleklasse hvor rumvolumenet fungerer som en slags friskluftsbuffer, når skoleeleverne påbegynder en lektion. Udnyttelse af denne "buffer" kræver, at der enten foretages en effektiv udluftning med vinduer/døre inden lektionen påbegyndes, eller at der via ventilationsanlægget foretages en såkaldt "skylning" af rummet med frisk luft i pauserne. Fordele ved denne måde at ventilere på er at risikoen for trækgener reduceres, fordi eleverne, "forhåbentlig" er ude og aktivere kroppen i skolegården, så de igen er klar til at sidde stille i efterfølgende lektioner.

Man kan overordnet konkludere at jo større rumvolumen den enkelte person i et rum har og hvis buffermuligheden udnyttes, desto mindre tilførsel af frisk luft kræves der i løbet af lektionen for at holde koncentrationen nede inden næste pause. Rummet er altså også mindre påvirkeligt overfor eventuel dårligt fungerende ventilationsanlæg. Rumvolumen pr. person dukker også op i projekteringsmæssige sammenhænge, hvis man taler om nybyggeri, det er et krav i bygningsreglementet 2010<sup>29</sup> at

*"Arealet og rumindhold af normalklasserum i skoler og lignende samt opholdsrum i daginstitutioner for pasning af børn skal være tilstrækkeligt stort i forhold til antallet af børn og ansatte i institutionen."* Herunder at;

*"Normalklasserum i skoler og lignende skal, når der etableres effektiv ventilation, have et rumindhold på mindst 6 m<sup>3</sup> pr. person."*

### Resultater:

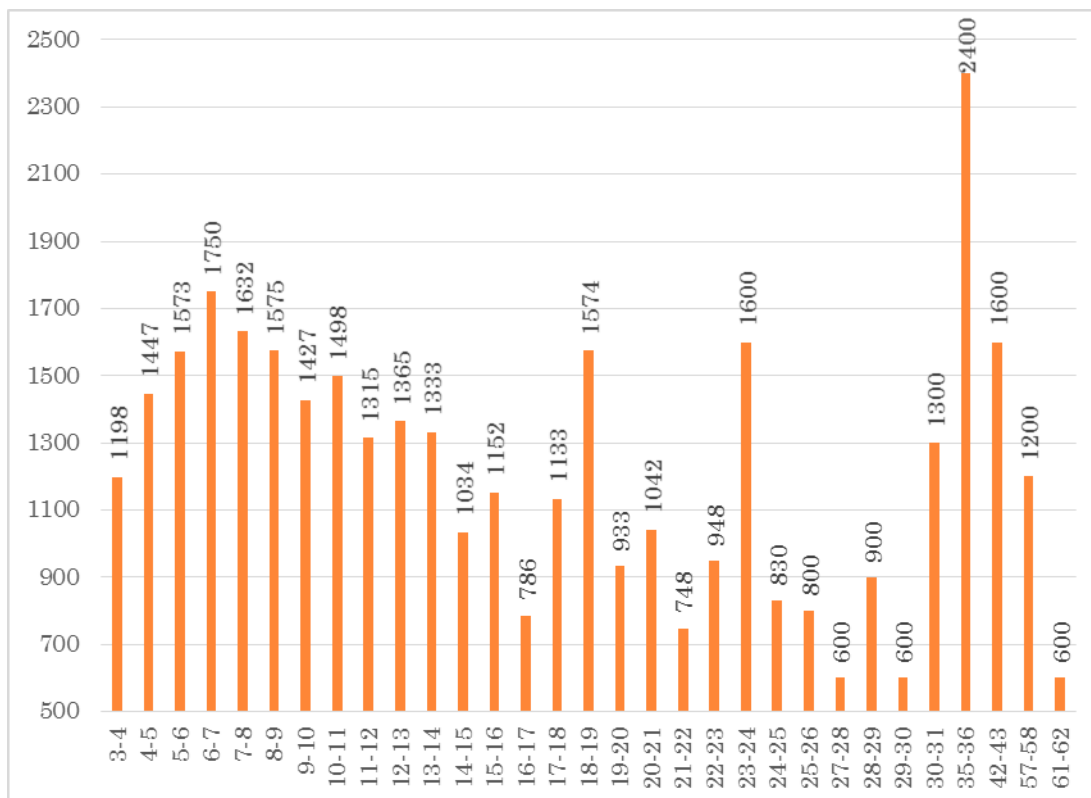
De overordnede resultater fra Figur 20 er ved første øjekast noget uklare, men tyder på flere tendenser. Som Figur 22 viser, er tendensen mere klar, når antallet af målinger pr. interval tages med i betragtningen. I denne graf er intervalområder frasorteret fra 19m<sup>3</sup>/person og op efter, fordi de jf. Figur 21, er baseret på under 9 målinger. Tallet 9 er valgt ud fra en generel vurdering af fordelingen vist på Figur 21.

Ser vi Figur 22 alene, er der to tendenser, første er at co2 koncentrationen stiger fra 3 m<sup>3</sup> til 6 m<sup>3</sup> rumvolumen pr. person, anden tendens er at den generelt er faldende fra 6 m<sup>3</sup> til 18 m<sup>3</sup>.

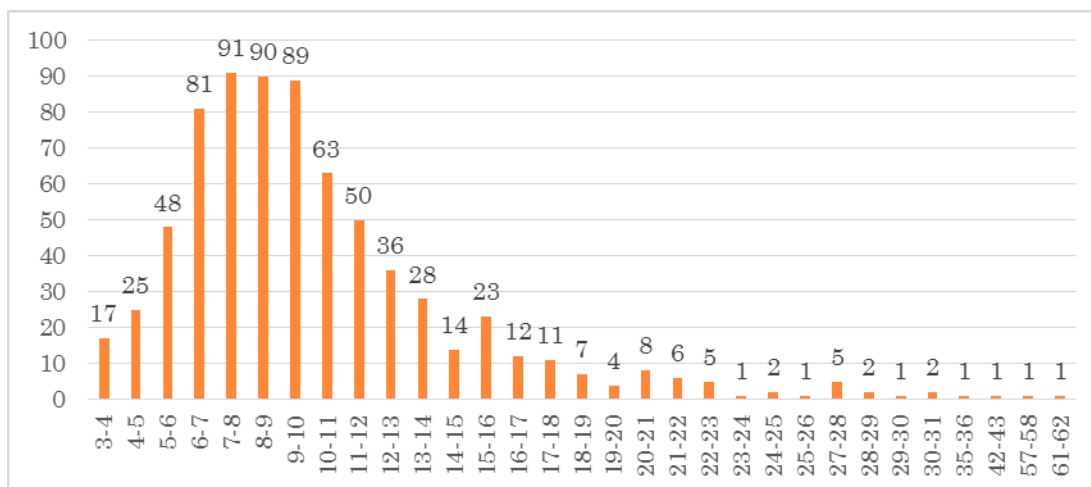
Jf. Figur 21 er fordelingen af skoleklasser på intervallerne for antal m<sup>3</sup> rumvolumen pr. person skævt fordelt, og størstedelen ligger inden for relativt få intervaller.

---

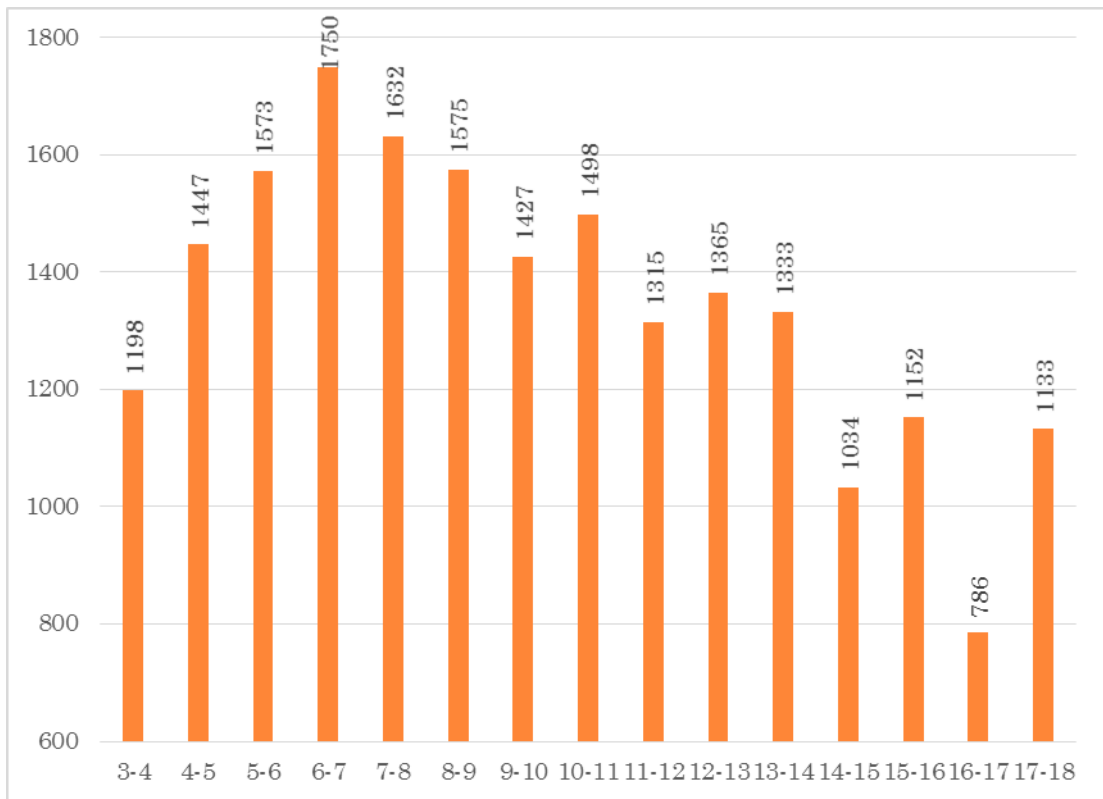
<sup>29</sup> Bygningsreglementet 2010 - 3.4.2, stk.2



Figur 20 - Middelkoncentration CO2 fordelt på antal m3 rumvolumen pr. person



Figur 21 - Antal målinger



Figur 22 Middelkoncentration CO2 fordelt på antal m3 rumvolumen pr. person (udsnit)

### Diskussion:

Tendensen fra 6m<sup>3</sup> til 18 m<sup>3</sup> viser at co<sub>2</sub> koncentrationen generelt falder, når rumvolumen pr. person stiger, og det er som forventet fordi den mængde co<sub>2</sub> der produceres i rummet har et større rumvolumen at skulle blandes op i. Hvilket er samme effekt som når man blander en kop saftvand, desto mere vand der blandes med saftvandskoncentratet, desto tyndere smager den. En anden faktor er at koncentrationen vil stige med en vis forsinkelse hvis man sammenligner 2 forskellige rum med samme personbelastning og volumenstrømme i friskluftstilgang, fordi rumvolumenet fungerer som en slags "buffer".

Beregningseksemplet på Figur 23 demonstrerer denne "buffer" virkning.

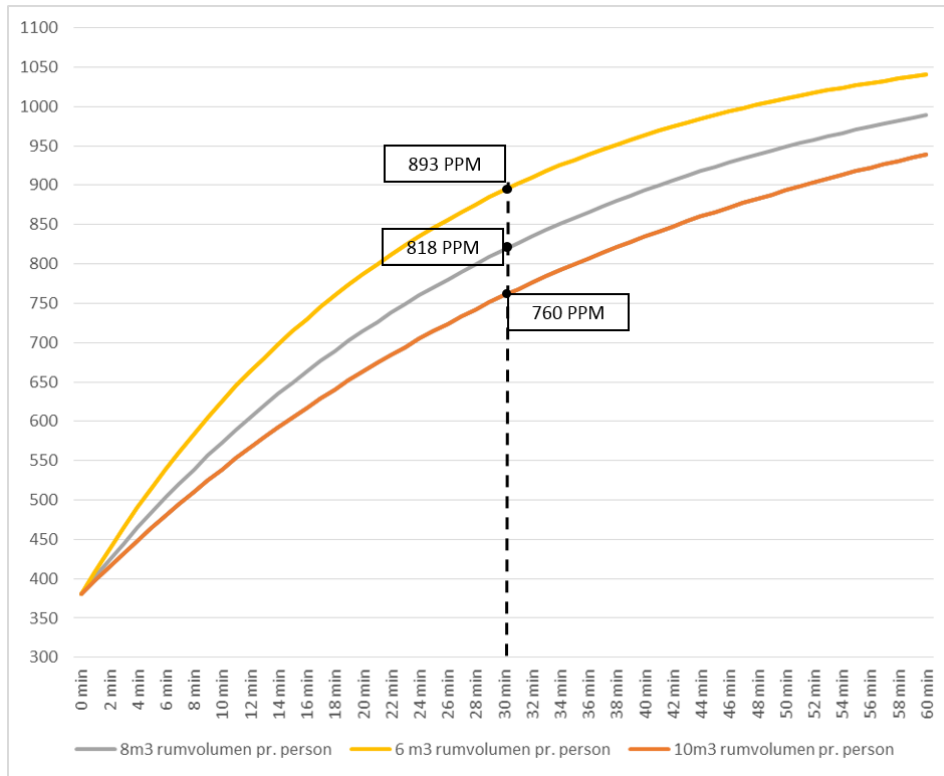
Co<sub>2</sub> koncentrationen efter 30 minutter i et tilfældigt teoretisk klasselokale, afhængig af forskellige rumvolumener pr. person, hvor alle andre parametre er ens. (Personantal og aktivitetsniveau, samt frisklufttilførslen) (beregningen fremgår af bilag 5)

At tendensen er omvendt fra 3 m<sup>3</sup> til 6m<sup>3</sup>, kan jeg ikke forklarer ud fra nogle bygningsfysiske forhold. Den åbenlyse forklaring kan være at værdierne omkring rumvolumen muligvis flere steder, ved en fejl er indtastet som rumarealet, som også tidligere beskrevet.

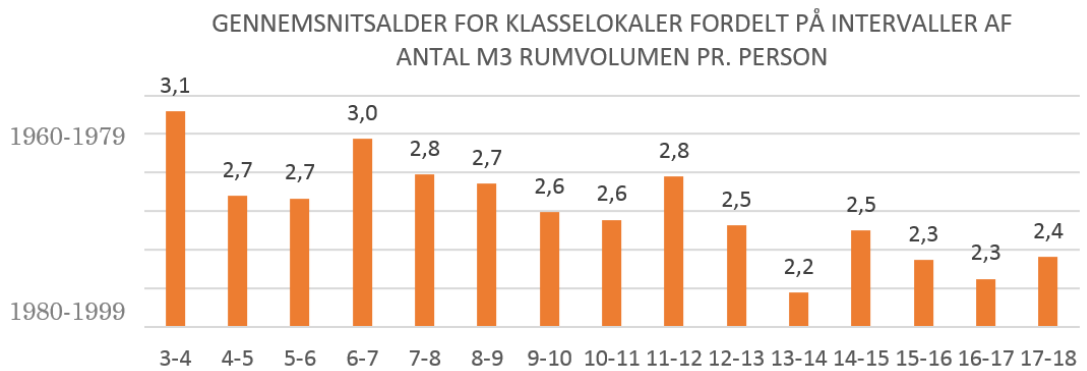
Den naturlige forklaring ville umiddelbart være at det hang sammen med typen af ventilationsanlæg, eller bygningsalderen, men jf. Figur 24 og Figur 25 er der ifølge gennemsnitstallene ingen sammenhæng her.

Jeg mener ikke at resultaterne vedr. fordeling af antal klasselokaler over og under 6m<sup>3</sup> pr. person bør anvendes som en generalisering ift. om skoler opfylder anbefalinger og krav fra eks. Bygningsreglementet. Dette på baggrund af at der er foretaget frasorteringer i datagrundlaget og at jeg vurderer at der kan være tale om fejl i datagrundlaget som følge af misforståelser, omkring hvordan lærerne skulle oplyse rumvolumenerne. Derudover er det oplyste antal personer ikke nødvendigvis det gennemsnitlige i klasselokalerne over skoleåret, men tager udgangspunkt i antallet på testdagen.

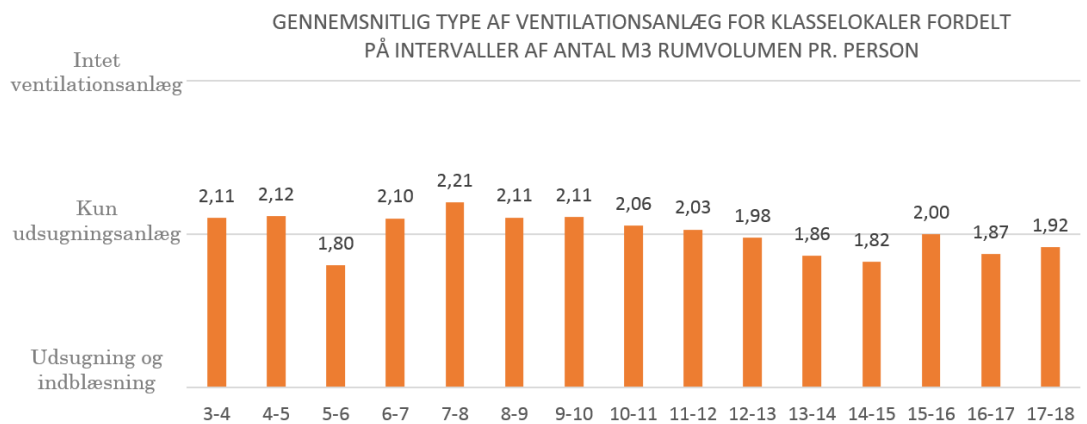




Figur 23



Figur 24



Figur 25

## 6 KONKLUSION

Denne undersøgelse har på mange måder været en udfordring, og da jeg gik ind i opgaven havde jeg ikke forestillet mig at det skulle kræve så stort et arbejde at fremskaffe og sammenkører datagrundlagene og ikke alene ”vaske” dem for fejl osv. Der er lagt et stort arbejde i at krydstjekke og rette skolenavne for at det skulle være muligt at koble oplysningerne om energimærket til den korrekte skole fra indeklimaundersøgelsen ”masseeksperimentet”.

En af de store opgaver har ligget i at fremskaffe data for energimærkerne på de pågældende skoler som medvirkede i masseeksperimentet. En stor del måtte hentes manuelt skole for skole fra OIS.dk fordi energistyrelsen tilsyneladende ikke havde dem, eller kunne finde dem i deres database.

Undersøgelse af datagrundlagene på forskellige leder og kanter, har ledt til mange interessante resultater omkring sammenhænge og tendenser hvilke er forsøgt forklaret ud fra bygningsfysiske forhold, div. litteratur og beregninger.

I en del af konklusionen har jeg forsøgt at fremhæve relevante resultater på en måde så de i praksis kan anvendes af kommunerne.

Resultaterne fra denne undersøgelse viser en række faktorer som kommunerne kan tage med i betragtningen når de skal udvælge skoler til energirenovering eller indeklimarenovering, og som kan bidrage til en mere rationel og effektiv udvælgelsesproces. Dettessikre at der skabes mest mulig værdi for hver krone der investeres i energiprojekter.

### **Hvordan udvælges skoler til energi- og indeklimarenovering?**

Skoler med dårligt energimærke, og som ikke har mekanisk ventilation har det største potentiale, for at kombinere energirenovering med indeklimarenovering- Det skyldes at skoleruden mekanisk ventilation i undersøgelsen har de højeste CO<sub>2</sub> koncentrationer og at bygninger med et dårligt energimærke, energi- og miljømæssigt, er det mest korrekte sted at starte. Derudover viser resultaterne også at der bør fokuseres på bygninger opført i perioden 1940-1959, fordi de har de højeste CO<sub>2</sub> koncentrationer ift. bygninger opført i andre perioder. Bygninger fra denne periode har generelt også de dårligste energimærker. Energimærket repræsenterer som beskrevet ikke nødvendigvis hvor meget energi en bygning i virkeligheden bruger, primært fordi elforbruget i beregningen ganges med faktor 2,5. Vælger man at starte med at energirenovere skolebygninger opført i perioden 1940-1959, er der sandsynlighed for at de generelt har et mindre behov for kunstbelysning som følge af tidens byggeskik med centralskoler hvor dagslys var den primære kilde til belysning. Det bevirker at belysningen med en faktor 2,5, i mindre grad påvirker beregningen af hvor energimærket for bygningerne ligger på skalaen.

### **De ældste bygninger er generelt energiforbedret**

Resultaterne fra undersøgelsen kombineret med mulige forklaringer på tendenser, peger i retning af at der i de ældre bygninger opført før 1940 har været foretaget energimæssige forbedringer.

Der er tendens til at bygninger opført efter 1959 har bedre energimærke jo nyere de er. Denne tendens tilskrives dog, at der fra 1961 og fremefter blev stillet større og større krav til at bygningerne skulle bruge mindre energi.

### **Færre børn i skoleklasserne giver lavere CO2 koncentrationer**

Resultater fra undersøgelsen viser en klar tendens til at CO2 niveauet er lavere i klasselokaler hvor eleverne har et større rumvolumen pr. elev.

### **Resultaterne er ikke nødvendigvis et udtryk for skolernes CO2 koncentration over hele dagen.**

Fordi målingerne er foretaget i slutningen af én lektion (hvor der forinden blev luftet ud og at vinduer formodentlig ikke blev åbnet i lektionen.) Udtrykker målingerne fra Masseeksperimentet, et forholdsvis statisk scenarie. I virkeligheden er CO2 opbygningen i klasselokaler over en hel skole langt mere varierende ift. forskellighed i alle de faktorer der påvirker CO2 koncentrationen.

Spørgsmålet er så om resultaterne fra masseeksperimentet kan anvendes som grundlag for en generalisering af hvordan indeklimaet i de danske skoler står til.

For at have en sammenligningsgrundlag og ikke bare et teoretisk beregnet grundlag, har jeg i rapportens ”del 2” undersøgt indeklimaet på en af skolerne fra masseeksperimentet.

# DEL 2 – INDEKLIMAANALYSE

## 7 INDLEDNING

Som en del af rapporten er indeklimaet på en af skolerne fra masseeksperimentet undersøgt nærmere.

Målet har været at koble et praktisk eksempel til rapportens ”del 1”, med primær fokus på at undersøge hvordan CO<sub>2</sub> koncentrationen udvikler sig over en skoledag. Dette er som tidligere nævnt interessant i denne sammenhæng, fordi målingerne fra masseeksperimentet er et øjebliksbillede af niveauet ved ”sidste del af en lektion” og at virkeligheden er langt mere nuanceret.

I debatten om indeklima, tales ofte mest om, hvorvidt skoleklasserne er over eller under grænseværdierne på eks. 1000 PPM, og at skolelever i klasselokaler over 1.000 ppm og for høje temperaturer, kan ”miste” op til 1 års indlæring på 10 år pga. koncentrationsbesvær.

Denne populistiske og politisk mest kommunikative udlægning, stammer oprindeligt fra resultaterne af en undersøgelse<sup>30</sup> foretaget af bla. ”Pawel Wargocki” fra DTU i 2007, Det fremgår af undersøgelsen at referencelokalet blev ventileret med 180m<sup>3</sup>/t svarende til 2,2 l/s pr. person. Hvorvidt startniveauet i lokalet var lig med udekonzentrationen på ca. 380 ppm har jeg ikke kunne se, og som beregnet tidligere i rapporten har dette stor indflydelse på tidsforløbet af opbygningen over en lektion.

Jeg mener derfor at det er interessant at undersøge i hvor lang tid eleverne er udsat for høje koncentrationer, ift. til at vurderer i hvilken grad resultaterne fra forskningen generelt kan overføres til skolerne.

For at afgrænse opgaven er kun 3 klasselokaler omfattet af undersøgelsen og kun målingerne på CO<sub>2</sub> koncentrationen, er undersøgt.

---

<sup>30</sup> ”The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilationrate on the performance of schoolwork by children”

## 8 UDVÆLGELSE AF SKOLE

Denne del af rapporten, omfatter undersøgelse af indeklimaet på en konkret skole fra masseeksperimentet.

### **Mulighed for rentable energiprojekter:**

Skolen skal have et vist besparelsespotentialt for at det er ikke alene er muligt at finde rentable energibesparelserprojekter, men også projekter som kan medfinansiere indeklimaet. Derfor bør energimærket efter min vurdering ikke være bedre end "E" eller "D".

### **Relevans for offentligheden:**

Af hensyn til at resultaterne i nogen grad skal kunne overføres og anvendes på et så bredt flertal af skolerne som muligt, se Figur 26, skal skolen helst have et energimærke "E" eller "D". Ved sammenligning af Figur 26 og Figur 27, fremgår det umiddelbart at skoler med energi "G" siden SBI undersøgelsen, har gennemgået energirenovering, det skal dog bemærkes at graferne ikke bygger på samme datagrundlag, hvorfor sammenligningen ikke bør tillægges særlig stor værdi.

### **Indeklima problemer:**

Skolen skal ift. resultaterne fra indeklimaundersøgelsen (masseeksperimentet) have et indeklimaet. Her har jeg valgt at fokusere på CO<sub>2</sub>, da dette er stærkt forbundet til luftskiftet, som i indeklimaet er et nøgleparameter fordi et højt luftskifte i høj grad reducerer tilstedeværelsen af flere af de påvirkningsfaktorer som forbindes med sundhedsrisici ved ophold i bygninger. Herunder afgang fra byggematerialer, inventar eller beklædning. Eks. Formaldehyd og andre VOC'er (flygtige organiske forbindelser), Derudover også kropslige afgasninger, også betegnet som bioeffluenter.

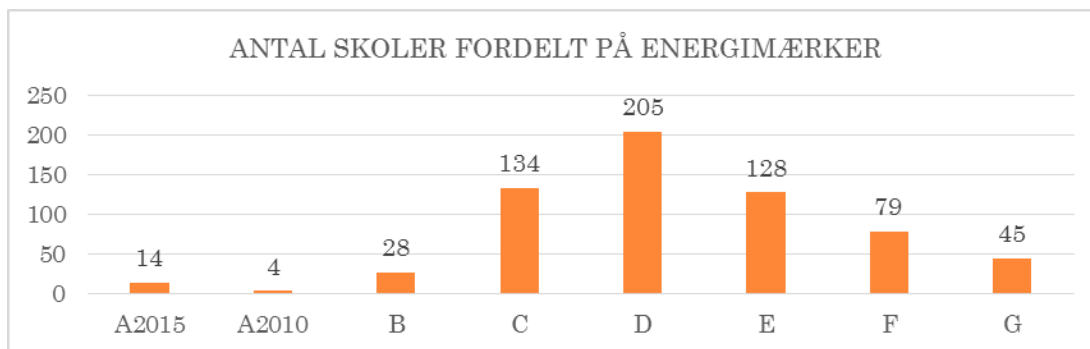
### **Stemmer energimærket med virkeligheden:**

Et andet parameter for udvælgelse er min egen vurdering af kvaliteten af beregninger bag energimærket fra den pågældende bygning. Her har jeg fokuseret forskellen imellem det beregnede<sup>31</sup> og oplyste<sup>32</sup> energiforbrug til opvarmning, det skal bemærkes at det ikke nødvendigvis er et udtryk for kvaliteten fordi brugeradfærden har stor indvirkning på det oplyste forbrug, eks. stiger det årlige energiforbrug til opvarmning af ventilationsluft fra 20 til 22 grader celsius med ca. 11 pct. Se Figur 28. Derudover øges varmetabet igennem konstruktionerne også en smule og opvarmningssæsonen forlænges ligeledes. Medtaget alle parametre, stiger det beregnede årlige energibehov til opvarmning på "sogneskolen", eksempelvis med 13,2 %<sup>33</sup>, (beregningen er udført i "Energy10")

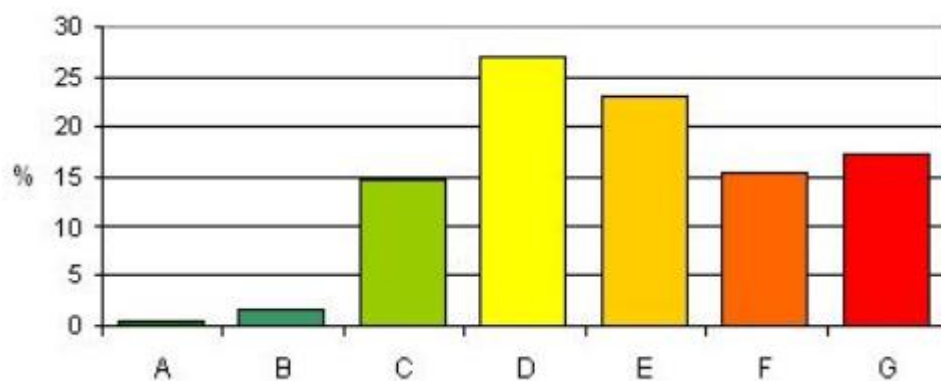
<sup>31</sup> Det beregnede forbrug er energiforbruget til opvarmning, beregnet ud fra energimærkningsordningens forskrifter.

<sup>32</sup> Oplyst forbrug er det forbrug som skolen reelt har brugt og betalt for.

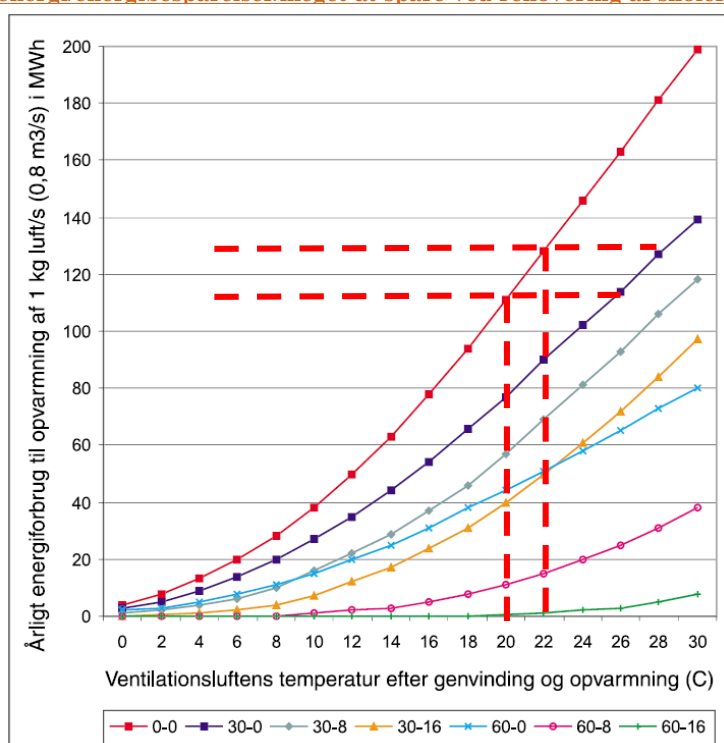
<sup>33</sup> Beregningen er udført med udgangspunkt i den offentligt tilgængelige energimærkningsfil, hvori rumtemperaturen er ændret fra 20 til 22 grader celsius. Se beregningsforudsætninger i bilag 12 og 13



Figur 26 (211 skoler indgår i grafen.)



Figur 27 – Fordeling af energimærker på skoler (kilde: [www.sbi.dk/miljo-og-energi/energibesparelser/meget-at-spare-ved-renovering-af-skoler](http://www.sbi.dk/miljo-og-energi/energibesparelser/meget-at-spare-ved-renovering-af-skoler)) 550 skoler indgår i grafen.



Figur 28 – årligt energiforbrug til opvarmning af ventilationsluft (kilde: "Den lille Blå")

På baggrund af disse overvejelser, tog jeg i første omgang kontakt til Kalundborg kommune, med en målsætning om at undersøge "Årby" eller "Tømmerup" skole.

Jeg var dog ikke i stand til at få kontakt til nøglepersonen i kommunen og opgav derfor "Kalundborg Kommune". I stedet kom jeg i dialog med Frederikssund kommune, og valget faldt på "Sogneskolen, Jægerspris". Ud over de beskrevne forhold for udvælgelse, er skolen i mindre omfang også udvalgt på baggrund af dialog med kommunen om omkring den konkrete værdiskabelse af nærværende rapport ift. perspektiver om skolens fremtidig brug, samt kommunes igangværende energiprojekter.



Figur 29 – Foto af Sogneskolen, Jægerspris (tager fra hovedvejen)



Figur 30 – Foto af Sogneskolen, Jægerspris (tager fra hovedvejen)



## 9 BESKRIVELSE AF SKOLENS BYGNINGER OG INSTALLATIONER

Beskrivelsen er udført på baggrund af BBR oplysninger, tilgængelige tegninger fra kommunernes digitale bygningsarkiv "www.weblager.dk", energimærkningsrapporten, samt udleverede tegninger fra min kontaktperson hos kommunen "Irene Nielsen".

Skolen består oprindeligt af 2 længebygninger i 2 etager, samt delvis kælder, som nogle steder er udført som parterreetage. Bygningerne er står vinkelret på hinanden udformet som et kors og er opført i 1954. Siden er der bygget til/om af flere omgange første gang i 70'erne og sidst i 2005<sup>34</sup>. Se luftfoto på Figur 31, hvor nyere tilbygningerne er markeret med orange skravering og ældre gymnastiksal og tilbygning med udnyttet loftsrum er markeret med lilla. Skolen omfatter i alt 7.402 m<sup>2</sup> opvarmet areal.

Nærværende beskrivelse omfatter ikke tilbygninger og gymnastiksalen som i dag er ombygget til klasselokaler, men er afgrænset til hovedbygningen, hvor hovedparten af klasselokalerne er beliggende inklusiv de undersøgte klasselokaler.

### Bygningens hovedkonstruktioner er som følgende:

<b>Tagkonstruktion:</b>	Gitterspær af træ med grønglaserede teglsten på lægter af træ. Hvor der er 1 sal er tagkonstruktionen udført med hanebåndsspær med stolebenskonstruktion på betondæk.
<b>Ydervægge:</b>	350 mm hultmure af tegl med bagmur af tegl udført med faste bindere. 300 mm hultmure ved gavltrekanter. Uisoleret.
<b>Kældervægge:</b>	400 mm beton, eller 400mm beton, og 110 mm lecablokke indvendigt.
<b>Terrændæk (delvis)</b>	4,5 mm linoleum 50 mm overbeton 40 mm polystyren 120 mm beton PE folie
<b>Fundamenter:</b>	Betonfundamenter
<b>Vinduer/døre:</b>	Fyrretræ, malet. Alle vinduer har mulig for at blive fastholdt i en ventilationsposition, som giver en ca. 2 cm luftsprække i bunden af vinduet.
<b>Etageadskillelser:</b>	4,5 mm linoleum 60 mm overbeton 20 mm trinlydsmåtte Træforskalling af 1x2" 900 mm CC <sup>35</sup> Træforskalling af 1x2" 400 mm CC Gipsoniteplader 400x600 mm "Pind op" <sup>36</sup>

<sup>34</sup> Ifølge BBR oplysninger

<sup>35</sup> Betyder center til center.

<sup>36</sup> Systemprodukt med gipsplader med pålimede trælister for montage, fra fabrikken.



Figur 31 – luftfoto fra krak – nyere tilbygninger er markeret med orangeskraveret farve. Ældre tilbygning og gymnastiksal fra 60'erne er markeret med lilla.

## Bygningens installationer:

<b>Opvarmningsform:</b>	Bygningen opvarmes med fjernvarme via varmeveksler og indirekte centralvarmevand i fordelingsanlægget.
<b>Varmfordelingsanlæg:</b>	2-strengs varmeanlæg med radiatorer.
<b>Varmt brugsvand:</b>	Varmt brugsvand produceres i 1500 liters varmtvandsbeholder placeret i kælderen.
<b>Cirkulationspumper:</b>	På bygningens varmeanlæg er monteret pumper af typen Grundfos Magna, og 7 stk. "UPE" pumper af forskellige størrelser.
<b>Vedvarende energi:</b>	Der er monteret solceller på hovedbygningen skråtagflader.
<b>Automatik varmeanlæg:</b>	Udekompensering af temperaturen i varmeanlægget. Der er også urstyring til natsenkning af rumtemperaturen.
<b>Ventilation i klasselokaler:</b>	Klasselokalerne ventileres via urstyret mekanisk udsugning fra en enkelt ventilator monteret i hvert af klasselokale, ventilatorerne er koblet til kanaler ført skorstene. Der er monteret et mekanisk styret udeluftsspjæld i facaden for hver klasse. Se Figur 32 Skolens pedel har oplyst, at udsugningen er indstillet til at kører fra en halv time inden 1 lektion starter, samt i pauserne.
<b>Ventilation i faglokaler, lærerværelse etc.:</b>	Der monteret mekaniske ventilationsanlæg med indblæsning og udsugning. Anlæggende er primært af ældre dato og er placeret i kælder på lofter, tage mm.
<b>Ventilation øvrige rum</b>	Naturlig ventilation via oplukkelige vinduer.
<b>Belysningsanlæg i klasseværelser:</b>	Primært ældre 1 rørs belysningsarmaturer med T8-lystofrør med jernspoler (ikke flimmer fri) der er bevægelsesmeldere i klasselokalerne, ingen dagslysstyring.



Figur 32 – Foto af sydvendt facade fra skolegård. På fotoet er markeret udeluftsspjæld i facaden, samt skorstenen, som fungerer som afkast fra udsugningen.

## 10 METODE

Der blev udvalgt 3 lokaler til undersøgelsen. Lokalerne er udvalgt på baggrund af følgende overvejelser:

- Rummenes og vinduernes orientering i ift. termisk belastning fra solen. Det blev til 2 lokaler med vinduespartier imod syd og 1 imod øst. Der var ingen klasse i hovedbygningen med orientering imod vest, hvilke ville have været en interessant variant at sammenligne resultater med.
- Skolens ledelse havde nogle begrænsning ift. at der ikke måtte vælges klasser, som i måleperioden skulle forestå deres afgangsprøver. Dette var ikke et problem, ift. at fokus på opgaven er at undersøge klasser med normaldrift.
- Overvejelserne har også gået på, fortrinsvis at undersøge klasseværelser med de lidt ældre overgange fordi de typisk har længere dage end de mindre børn. Dette er også set i lyset af den nye skolereform, med heldagsskoler.

Valget faldt to 8 klasser og én 1 klasse.

### Måleudstyr

Der er anvendt logningsudstyr i form af produktet "IC-Meter" som er en forkortelse af "Indoor Climate" med GSM modul. IC-Meter måler fugt, temperatur, CO<sub>2</sub> og støj jf. de tekniske specifikationer i Tabel 6. Enheden måler hvert 5 min, og er udstyret med et GSM modul og microsimkort, som så sender måledata direkte op på internettet.

Enheden henter også vejrdata fra nærmeste målestation, disse data hentes fra Det norske meteorologiske institut (YR) i form af timemålinger på temperatur, Relativ fugtighed, vindhastighed og retning.

### Placering

Måleudstyret er placeret jf. Figur 34, i ca. 1,5 meters højde. Placeringen i lokaler er sket under hensyntagen til at de ikke skulle få direkte sollys, som vil give anledning til fejlmålinger på både temperatur og Relativ fugtighed. Andre hensyn har været ikke at placere det for tæt døre, for at evt. luftstrømme fra andre rum skal påvirke resultaterne.

Måleudstyret bør heller ikke placeres for tæt på udeluftsspjældene, da det også vil give anledning til fejlmålinger. Det skal hertil bemærkes at udsugningsventilatorerne i alle 3 lokaler er placeret øverst i væggen under loftet, udeluftsspjældene derimod sad forskelligt placeret, i 8a og 6a sidder de i nederst i ydervæggen, i 8 b sidder den øverst i ydervæggen. Det skyldes at der er tilbygget en karnap til 8 b og lokalet ved siden af. Tilbygningen er ifølge BBR oplysninger fra 2005 og det har derfor været nødvendigt at flytte ventilen med ud i den nye facade.

### Måleperiode

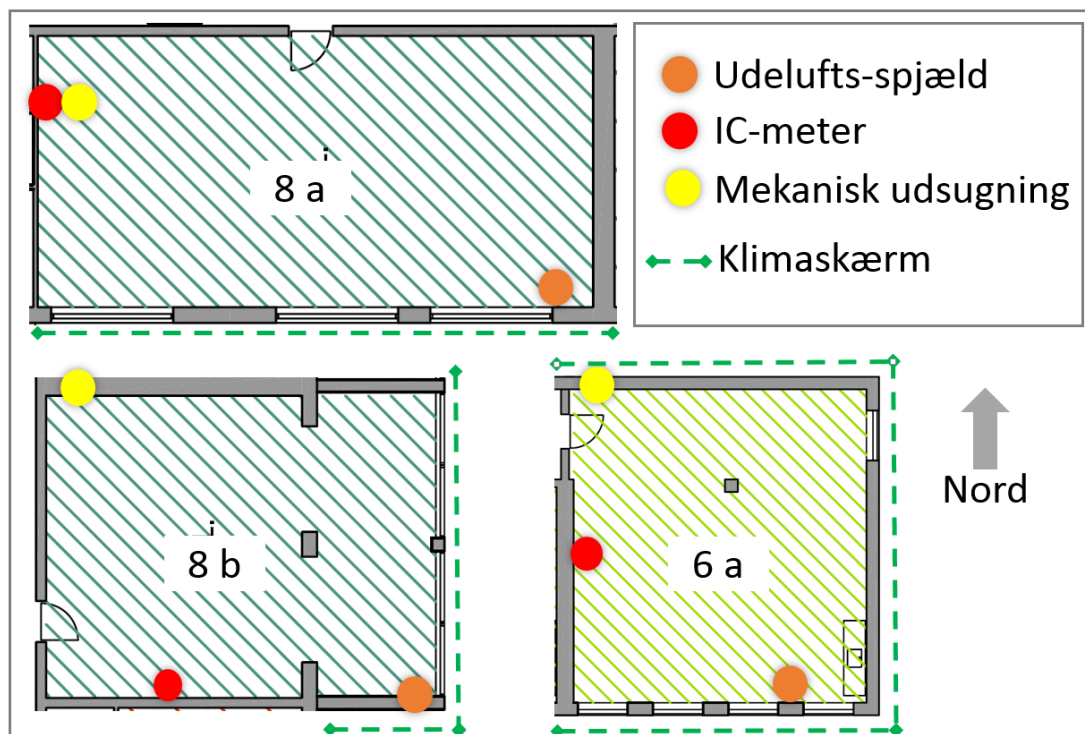
Målingerne er foretaget over 25 dage i perioden d. 30 april til og med d. 24 maj, hvilke giver et datagrundlag på 3 skoleuger. Der har dog været nogle helligedage i perioden, henholdsvis fredag d. 1. maj, som ikke påvirker datagrundlaget, samt torsdag og fredag d. 14-15 maj.

Tabel 6 – tekniske specifikationer for IC-Meter

Måleemne:	Enhed:	Sensor:	Usikkerhed:
CO2	PPM	Senseair S8	±30ppm
Temperatur	° Celcius	Sensirion SHT21	±0,3° Celcius
Fugtighed	RF i %	Sensirion SHT21	±2% (normalområde)
Støj	dB	Invensense ADMDP404	Følsomhed 32-110 dB



Figur 33 – foto af ”IC-meter” enhed.



Figur 34 – Planskitser for de 3 klasselokaler, med placering måleudstyr, ventilationskomponenter, samt visning af hvilke vægge der vender imod det fri.

## Dataanalyse

Målingerne er gennemgået for ”outliers” og der var ganske få steder, hvor der tydeligvis havde været personer henne og puste ind i dataloggeren. (CO<sub>2</sub> koncentration på 9258ppm ved 1 måling, samt 3914 ppm, begge hvor niveauet på målingen før og efter lå omkring 700 ppm)

Mit fokus har været at få opstillet resultater ift. lektioner og persontilstedværelse, fordi det giver nogle mere nuancerede resultater ift. hvor lang tid værdierne ligger over eller under de grænseværdier, som man i videnskabelige studier påviser at reducere indlærings/koncentrationsevnen.

Der er foretaget en del efterarbejde ift. det rå datagrundlag, for at kunne fremvise resultaterne opdelt lektioner og pauser.

Det har ikke været muligt at fremskaffe reelt dækkende oplysninger omkring personbelastning, i de lektioner der har været målt i. Skolen har udleveret elevantallet pr. klasse, og overvejelserne har været, om også fraværsregistreringen skulle anvendes, for bedre præcisere det yderligere. Det er meget vanskelige at registrere det reelle brugsmønster, fordi der er så mange variationer. I denne opgave står arbejdet med en seriøs registrering af personbelastningen ikke mål med det potentielle udbytte.

Det har været nødvendigt at foretage en vurdering af hver 5 minuts måling, for at kunne præsentere de anvendte grafer, på det mest retvisende grundlag som muligt. Derfor er målingerne på CO<sub>2</sub> hvert 5 min. Gennemgået i datagrundet, og mærket ift. om der sandsynligt var personer tilstede.

I vurderingen indgår følgende overvejelser:

- Støjniveau
- Skoleskemaet for hver klasse
- Vurdering af henfaldskurve for CO<sub>2</sub> koncentration.
- Vurdering af ”skylning” via vinduer eller ventilation

På den måde har jeg været i stand til at sortere data på tidspunkter for der sandsynligvis er personer tilstede i lokalet. Se Figur 35.

Ulempen ved denne metode frem for en komplet registrering er selvfølgelig at den er mere upræcis. Min vurdering er at resultaterne klart opvejer denne ulempe, fordi resultaterne kommunikativt er langt mere forståeligt, og at de evt. meget høje ”peaks” i målingerne ikke kommer til at dominere i læserne sind.

For at kunne lektionsopdele resultaterne er datagrundlaget sorteret tidsmæssigt for hver lektion, hvorefter der i en ny kolonne tildelt den rette lektion. Der er dog foretaget en generalisering ift. at 7-9 klasse har indlagt en ekstra pause efter 8 lektion på 10 min. Hvilke 4-6 klasse ikke har. Ift. deres skemaer, har jeg vurderet, at det vil have en meget lille betydning for resultaterne. Se bilag 8

Ugedag	Lektion	tilstedeværende personer 6a	6a TEMPERATURE (Å°C)	6a CO2 (PPM)	6a NOISEAVG (DB(A))
Mandag	1 lektion	x	21,07	602	50
Mandag	1 lektion	x	21,22	686	60,3
Mandag	1 lektion	x	21,33	853	69
Mandag	1 lektion	x	21,43	997	63,4
Mandag	1 lektion	x	21,52	1082	65,5
Mandag	1 lektion	x	21,6	1182	65,5
Mandag	1 lektion	x	21,67	1299	67,5
Mandag	1 lektion	x	21,75	1346	67,8
Mandag	1 lektion	x	21,8	1375	69,2
Mandag	2 lektion	x	21,88	1349	68,1
Mandag	2 lektion	x	21,8	1266	64,7
Mandag	2 lektion	x	21,83	1360	64,7
Mandag	2 lektion	x	21,9	1231	65,4
Mandag	2 lektion	x	21,85	1292	65,1
Mandag	2 lektion	x	21,89	1077	62,6
Mandag	2 lektion	x	21,98	1216	64,1
Mandag	2 lektion	x	21,96	1084	64,1
Mandag	2 lektion	x	21,96	1219	61,5
Mandag	Formiddagspause	x	22,08	1308	67,4
Mandag	Formiddagspause	x	22,21	1365	69,3
Mandag	Formiddagspause	x	22,25	1447	66,4
Mandag	3 lektion	x	22,25	1476	69,8
Mandag	3 lektion	x	22,29	1566	69,8
Mandag	3 lektion	x	22,35	1346	54,5
Mandag	3 lektion	x	22,38	1587	53,9
Mandag	3 lektion	x	22,49	1647	54,7
Mandag	3 lektion	x	22,58	1739	51,2
Mandag	3 lektion	x	22,64	1692	51,2
Mandag	3 lektion	x	22,65	1948	63
Mandag	3 lektion	x	22,65	2012	65,2

Figur 35 Udsnit af "Excel" datagrundlag, med vurdering af om der er personer tilstede



# 11 INDEKLIMAANALYSE

## 11.1 Resultater - 6 a

Lokalet som huser 6a, har 72,5m<sup>2</sup> gulvareal, og med en loftshøjde på 2,42m, giver det en rumvolumen på 175,5 m<sup>3</sup>.

Der er 22 elever i klassen i den pågældende overgang, hvilke giver 7,63m<sup>3</sup> rumvolumen pr. person inkl. 1 lærer. Kravet fra bygningsreglementet på mindst 6m<sup>3</sup> er derfor opfyldt.

Til forskel fra de andre lokaler har dette lokale et ekstra oplukkeligt vindue placeret i gavlen af bygningen imod øst.

### **Det overordnede resultat på ugebasis**

Som det fremgår af Figur 36, kommer CO<sub>2</sub> koncentrationen i uge 19, hver dag over 1.000ppm i større eller mindre grad, hvilke er forårsaget af et utilstrækkeligt luftskifte. Dette kan skyldes, at den mekaniske udsugning enten slet ikke kører, eller at den ikke kører på de rigtige tidspunkter, eller at volumenstrømmene ikke høje nok. Det skal bemærkes at ventilatoren ikke kørte den morgen hvor måleudstyret<sup>37</sup> blev pillet ned.

En anden del af årsagen kan hænge sammen med at udluftningsadfærden ikke er tilpasset ventilationsforholdenes begrænsninger.

Resultater i de 2 andre måleuger af umiddelbart af samme karakter. Resultaterne af både uge 19, 20 og 21 fremgår af bilag 9.

Resultaterne tyder også på at der er et noget forskellige luftskifte fra dag til dag, efter at eleverne formodentlig har forladt lokalet. Dette fremgår af hældningen af kurven fra dagens sidste "peak" og til koncentrationen er i ligevægt med udeluften.

### **Resultater på dagsbasis**

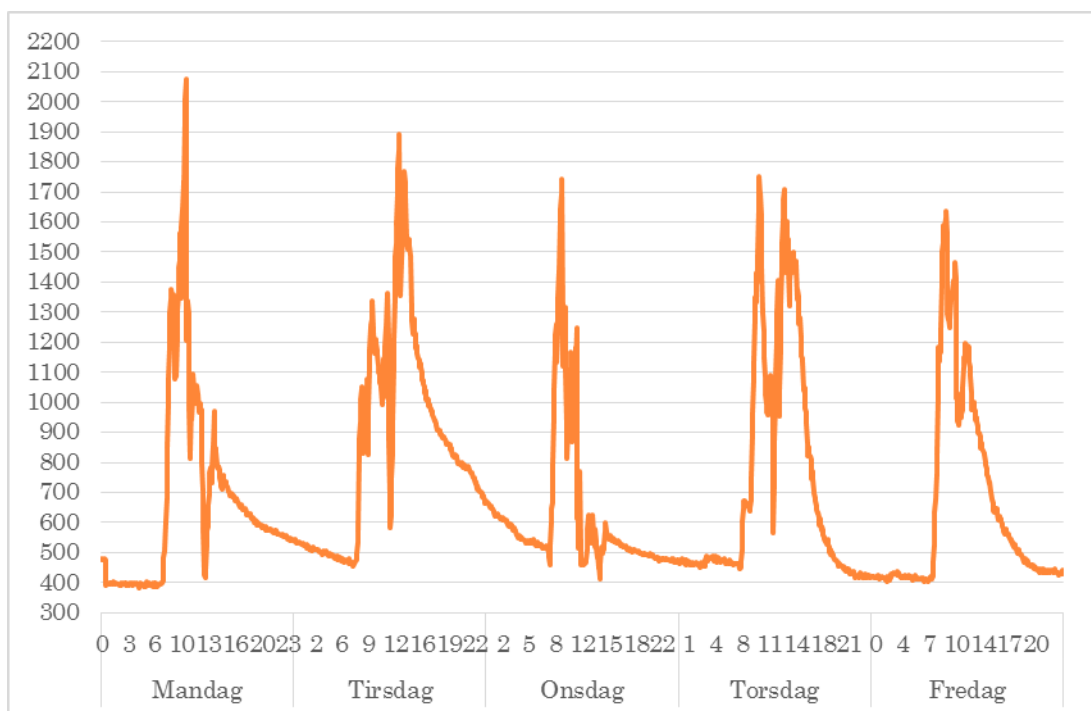
Det er udtaget en dagsgraf for CO<sub>2</sub> opbygningen i 6a, torsdag i uge 19 for at vise en tilfældig dag. Se Figur 37

Mere detaljeret end af ugegrafen, fremgik det også her at CO<sub>2</sub> koncentrationen flere gange og over længere perioder af dagen ligger over 1.000 ppm.

Det fremgår også at der formodentlig bliver luftet via oplukning af vinduerne lige inden kl.12 og senere omkring 12:30.

---

<sup>37</sup> 27-05-2015 i tidrummet 07:25 til 07:40.



Figur 36 - 6a, CO2 koncentrationer (ppm) uge 19



Figur 37 - 6a, CO2 koncentrationer (ppm) torsdag, uge 19

### **Formiddagen er generelt hårdest ramt?**

Resultater af Figur 38, viser at der specielt i lektion 2,3 og 4 er problemer med høje CO<sub>2</sub> koncentrationer over 1.000 ppm. Det fremgår også af minimumsværdierne at disse 3 lektioner generelt ligger et stykke over koncentrationer i de andre lektioner.

De lektioner med de højest målte koncentrationer ligger lidt forskudt og senere på dagen ift. middelværdierne. Det højeste måling på 2.584 ppm er målt i lektion 4.

Fordi grafen kun indeholder data fra tidpunkter med formodet tilstedeværelse af personer, tyder resultater på at der enten er en mere effektiv ventilation om eftermiddagen, eller at der er færre personer tilstede i klasselokalet. At koncentrationerne ikke højest efter 1 lektion, hænger formodentlig sammen med den "buffer" effekt rumvolumenet giver.

### **Mangel på udluftning eller elever i skolegården**

Resultaterne fra Figur 38 peger også i retning af, at der ikke foretages en effektiv udluftning efter 2 og 8 lektion, hvor der 10 minutters pause, eller at eleverne bliver i klassen. Derimod peger resultater måske på, at der enten luftes ud i frokostpausen, eller at elever her mere har tendens til at forlade lokalet.

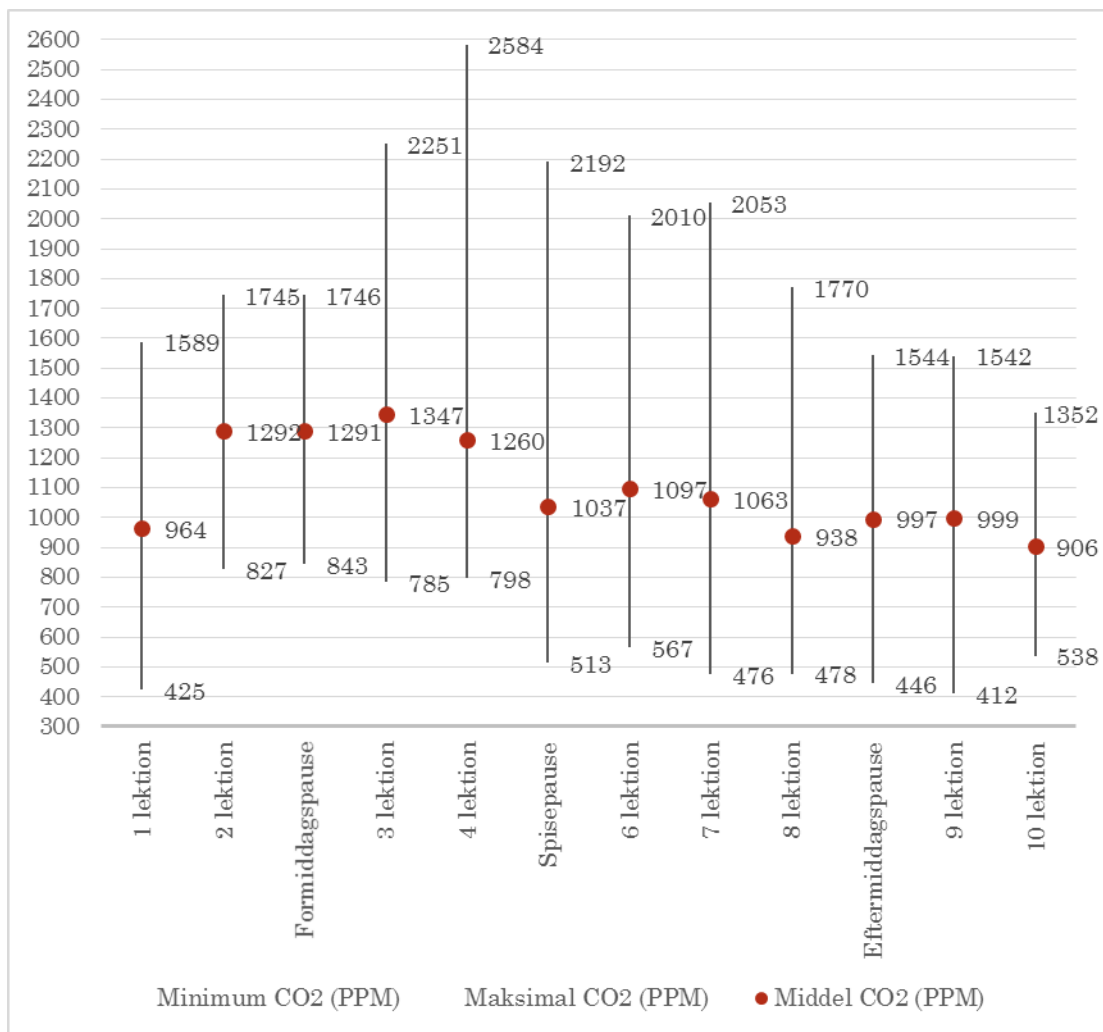
### **6a ligger over grænseværdierne i næsten 50 % af tiden**

Optællinger fra indeklimatemålingerne jf. Figur 39, viser at CO<sub>2</sub> koncentrationerne hos 6a ligger imellem 1.000-1.500 ppm i 47 % af tiden, hvilke iht. UBST betegnes som et uacceptabelt indeklima i undervisningsbygninger. Resultaterne viser yderligere at koncentrationerne ligger over 1.500 ppm i 13 % af tiden.

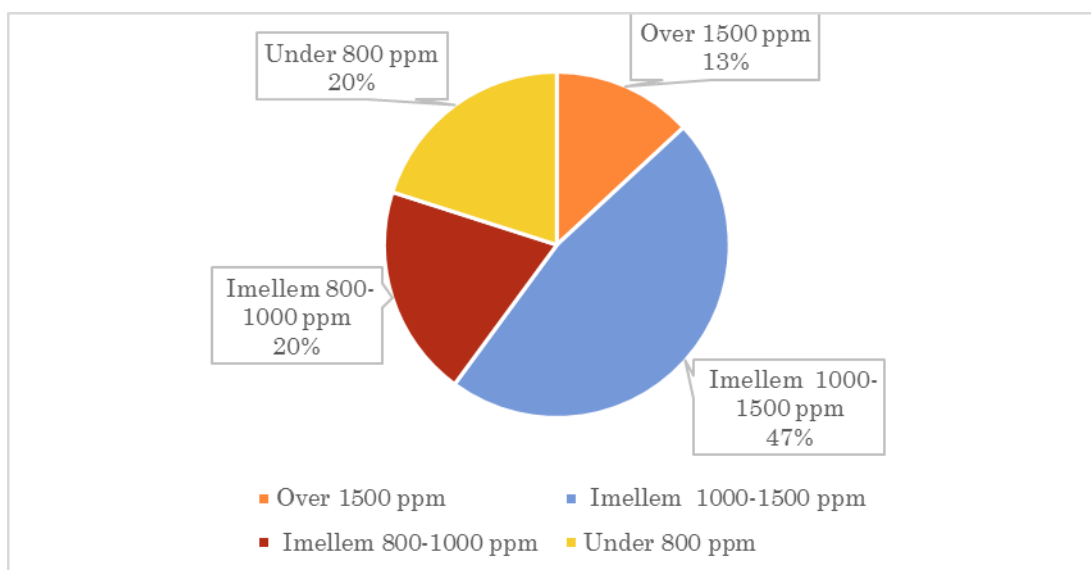
Kun i 20 % af tiden, eller 1 ud af 5 skoledage ligger niveauerne under 800 ppm, som iht. UBST<sup>38</sup> betegnes som det optimale indeklima i undervisningsbygninger eller iht. DS3033 som "Det fremragende indeklima".

---

<sup>38</sup> Universitets- og bygningsstyrelsen



Figur 38 – 6a, De beregnede Middelværdier af det antal målinger, der er foretaget med 5 minutters interval i hver lektion. Grafen repræsenterer det samlede antal dage i måleperioden hvor der er vurderet af være personophold. Derudover er vist de henholdsvis maksimale og mindste koncentrationer målt i hver lektion



Figur 39 – 6a, andel af tid ved forskellige CO2 koncentrationer. Forudsætninger for beregning er som i Figur 38

## 11.2 Resultater - 8 a

Lokalet som huser 8a, har 48,3 m<sup>2</sup> gulvareal, og med en loftshøjde på 2,65m, giver det en rumvolumen på 128 m<sup>3</sup>.

I overgangen 2014-2015 er der 21 elever, hvilke giver 5,8 m<sup>3</sup> rumvolumen pr. person inkl. 1 lærer. Kravet fra bygningsreglementet på mindst 6m<sup>3</sup> er derfor ikke opfyldt. Kravet gælder dog kun nybyggeri, men kan med fordel anvendes som rettesnor, ift. planlægning af brugen af lokaler i eksisterende skoler.

### **Det overordnede resultat på ugebasis**

Af Figur 40/Figur 36 fremgår det at CO<sub>2</sub> koncentrationen i uge 19, hver dag kommer over 1.000ppm i større eller mindre grad. Hvilke er forårsaget af et utilstrækkeligt luftskift. Dette kan skyldes at den mekaniske udsugning, enten slet ikke kører, eller fordi den ikke kører på de rigtige tidspunkter, eller at volumenstrømmene ikke høje nok.

En anden del af årsagen kan hænge sammen med at udluftningsadfærden ikke er tilpasset ventilationsforholdenes begrænsninger.

Resultater i de 2 andre måleuger af umiddelbart af samme karakter. Resultaterne af både uge 19, 20 og 21 fremgår af bilag 9.

Resultaterne i dette lokale tyder på, at luftskiftet efter eleverne formodentlig har forladt lokalet, ligger noget højere, fordi kurven er mere stejl end i lokalet som huser 6a.

### **Resultater på dagsbasis**

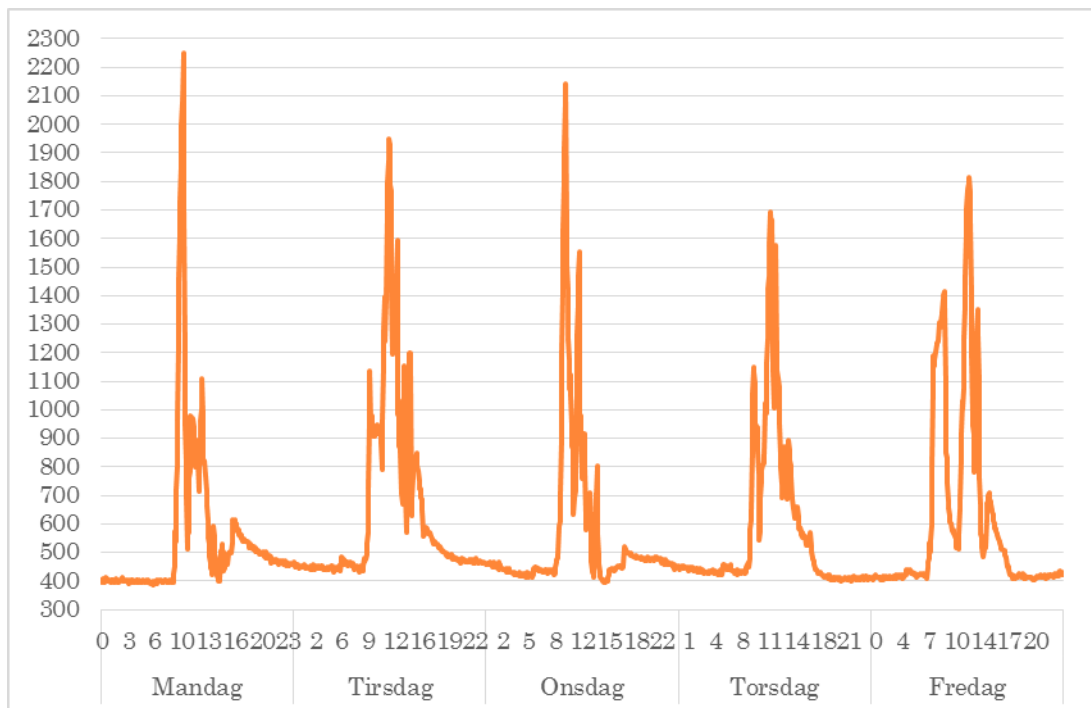
Det er udtaget en dagsgraf for CO<sub>2</sub> opbygningen i 8a, onsdag i uge 19 for at vise en tilfældig dag. Se Figur 41.

Det fremgår også her, at CO<sub>2</sub> koncentrationen indtil flere gange og over længere perioder af dagen ligger over 1.000 ppm.

Det er ikke umiddelbart muligt ud fra dagsgrafen at se om faldet i CO<sub>2</sub> koncentration omkring kl 10 hænger sammen med udluftning via oplukning af vinduer, eller at årsagen er at der står biologi på skemaet og eleverne derfor har forladt lokalet.

Der er formegentlig foretaget udluftning i frokostpausen via oplukning af vinduer.

På denne dag er eleverne tilsyneladende først i klassen omkring kl.9.



Figur 40 - 8a, CO2 koncentrationer (ppm) uge 19



Figur 41- 8a, CO2 koncentrationer (ppm) onsdag, uge 19

### **1 lektion er generelt hårdest ramt?**

Resultater af Figur 42, viser at det primært er i lektion 1, at der er problemer med høje CO<sub>2</sub> koncentrationer over 1.000 ppm. Det fremgår også af minimumsværdierne i denne lektion generelt ligger et stykke over koncentrationer i de andre lektioner. At koncentrationerne er højest i 1 lektion, kan hænge sammen med det mindre rumvolumen pr. person ift. 6a som har et større rumvolumen pr. person og at "buffer" effekten derfor er mindre. Derudover kan det hænge sammen med hvornår eleverne ankommer i lokalet, som måske hænger sammen med at der er en anden "kultur" i de lidt større klasser.

De lektioner med de højest målte koncentrationer er lektion 1,2 og 3. Med den højeste måling på 2.251 ppm målt i lektion 3.

Som i 6a, tyder resultaterne fra 8a på, at der enten er mere effektiv ventilation om eftermiddagen, eller at der er færre personer tilstede i klasselokalet.

### **Udluftningsadfærden halter måske**

Resultaterne fra Figur 42 peger i retning af, at der ikke foretages en effektiv udluftning i pausen efter 2 lektion, eller at eleverne bliver i klassen i pausen. I spisepausen bliver der formegentlig ikke ventileret tilstrækkeligt for at kunne holde CO<sub>2</sub> koncentrationen lavere i de efterfølgende lektioner.

Resultater tyder på at muligvis luftes ud i eftermiddagspausen, eller at eleverne forlader lokalet. Der er også kigget på 8a skema ift. om resultaterne omkring denne pause, kan være påvirket at eleverne får fri efter 8 lektion. Ifølge skemaet er der ingen dage hvor de har fri efter 8 lektion

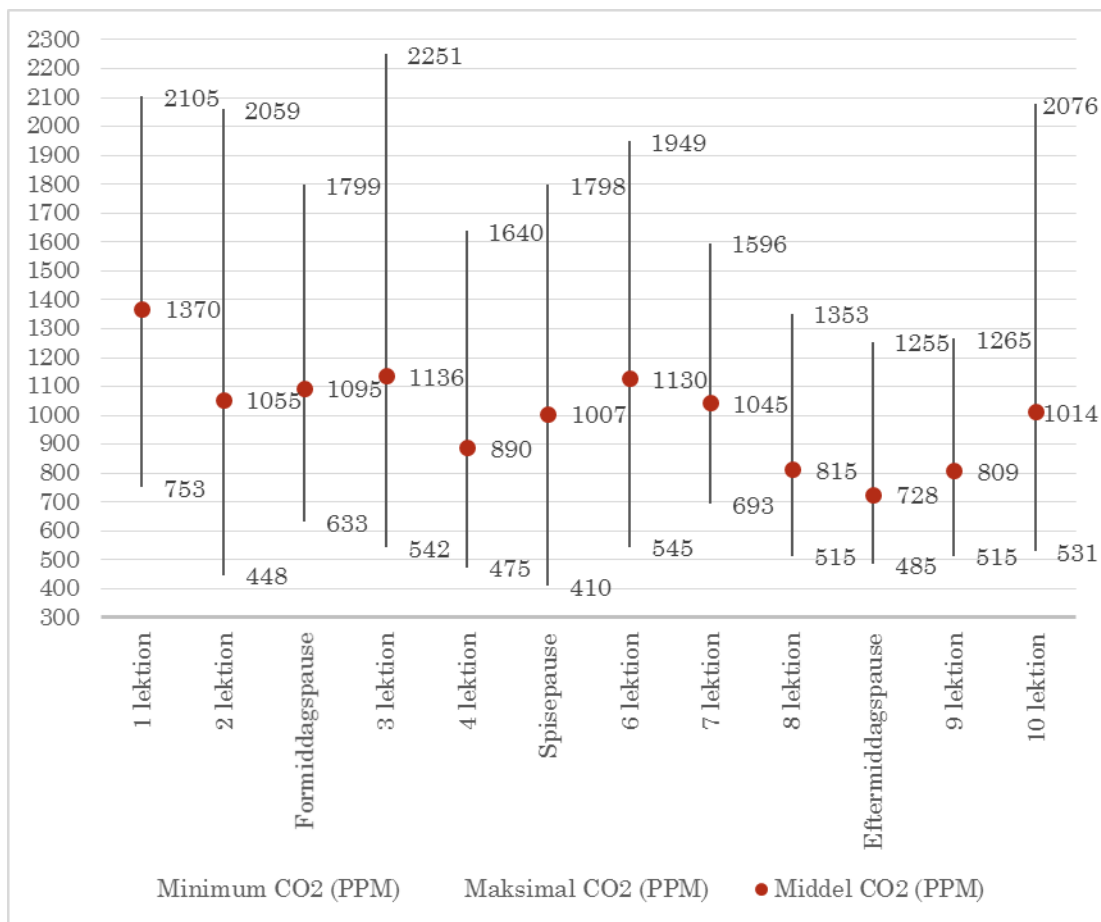
### **8a ligger over grænseværdierne i 30 % af tiden**

Optællinger fra indeklimamålingerne jf. Figur 43, viser at CO<sub>2</sub> koncentrationerne hos 8a ligger imellem 1.000-1.500 ppm i 30 % af tiden, hvilket iht. UBST betegnes som et uacceptabelt indeklima i undervisningsbygninger. Resultaterne viser yderligere at koncentrationerne ligger over 1.500 ppm i 13 % af tiden.

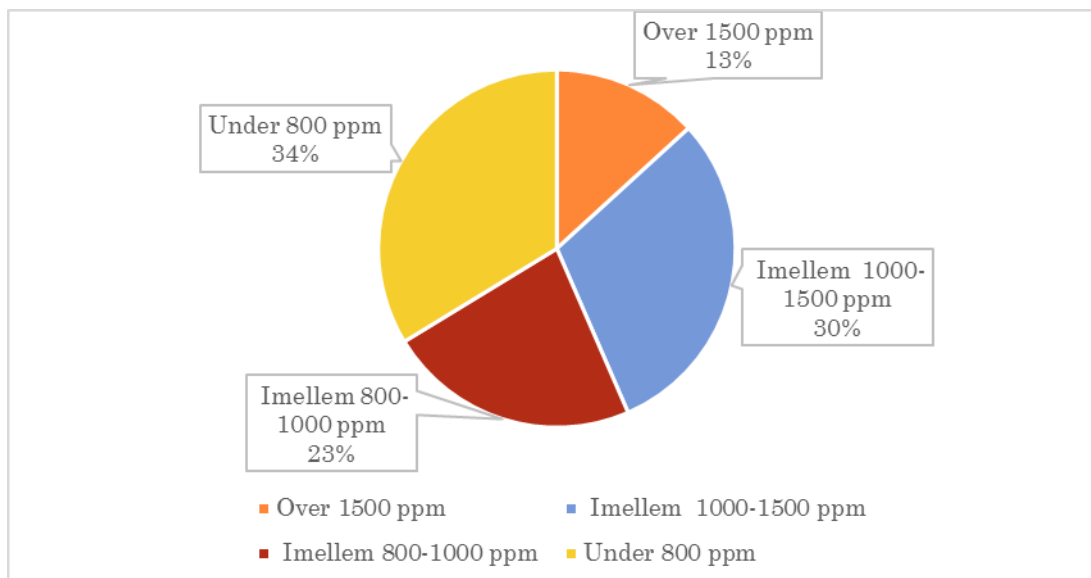
Kun i 34 % af tiden, eller 3 ud af 10 skoledage ligger niveauerne under 800 ppm, som iht. UBST<sup>39</sup> betegnes som det optimale indeklima i undervisningsbygninger eller iht. DS3033 som "Det fremragende indeklima".

---

<sup>39</sup> Universitets- og bygningsstyrelsen



Figur 42 – 8a, Co2 koncentrationer fordelt på lektioner med persontilstedeværelse



Figur 43 - 8a, andel af tid ved forskellige CO2 koncentrationer.



### 11.3 Resultater - 8 b

Lokalet som huser 8b, har 65 m<sup>2</sup> gulvareal, og med en loftshøjde på 2,76m, giver det en rumvolumen på 179,7 m<sup>3</sup>.

I overgangen 2014-2015 er der 22 elever, hvilke giver 7,8 m<sup>3</sup> rumvolumen pr. person inkl. 1 lærer. Kravet fra bygningsreglementet på mindst 6m<sup>3</sup> er derfor opfyldt. Eleverne i 8b har altså ca. 35 % mere rumvolumen til rådighed pr. person. Det skal bemærkes at man ikke alene kan sammenligne lokaler ud fra rumvolumenet, Rummenes ventilationssystem<sup>40</sup>, rumgeometri og inventarplacering påvirker alle hvor effektivt et rum ventileres. Fordi dele af 8b eksempelvis er tilbygget, står der i den gamle facadelinie 3 større søjler, samt en oven liggende bjælke, som hindrer luftstrømmene i lokalet. Det skal bemærkes at der pga. søjlerne ikke er placeret nogle elever i denne del af lokalet. Dette stiller yderligere krav til ventilationssystemets evne.

#### **Det overordnede resultat på ugebasis**

Af Figur 44/36 fremgår det at CO<sub>2</sub> koncentrationen i uge 19, hver dag kommer over 1.000ppm i større eller mindre grad, dog i mindre grad end 8a. Årsagen til de høje CO<sub>2</sub> koncentrationer er resultatet af et utilstrækkeligt luftskift. Dette kan skyldes at den mekaniske udsugning, enten slet ikke kører, eller fordi den ikke kører på de rigtige tidspunkter, eller at volumenstrømmene ikke er høje nok. Der skal bemærkes, at ventilatoren startede kl.7:30 på dagen<sup>41</sup> hvor måleudstyret blev pillet.

En anden del af årsagen kan hænge sammen med at udluftningsadfærden ikke er tilpasset ventilationsforholdenes begrænsninger.

Resultaterne fra målingerne fra uge 20 er umiddelbart af samme karakter. I uge 19 blev lokaler ikke anvendt. Resultaterne af både uge 19, 20 og 21 fremgår af bilag 9.

Resultaterne i dette lokale tyder på, at luftskiftet efter eleverne formodentlig har forladt lokalet, ligger lavere end 8a, fordi kurven er mere flad end i lokalet som huser 8a. Især mandag i uge 21 er interessant, fordi CO<sub>2</sub> koncentrationen først når ligevægt med udekonzentrationen tirsdag morgen. Dette tyder på at der ikke leves op til kravet om mindste ventilationsrate ift. fjernelse af gasser fra byggematerialer og inventar. Nærmere beskrivelse af dette er medtaget separat under diskussionen, da det er en generel faktor i lokalerne.

#### **Resultater på dagsbasis**

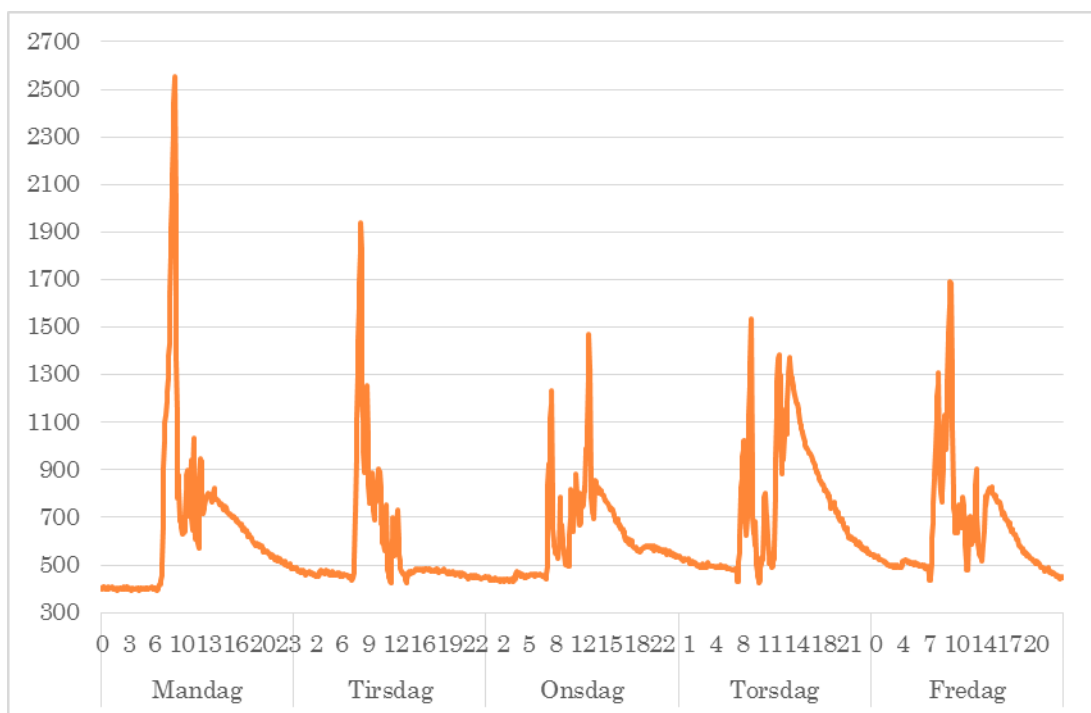
Det er udtaget en dagsgraf for CO<sub>2</sub> opbygningen i 8b, torsdag i uge 21 for at vise en tilfældig dag. Se Figur 45

Det fremgår også her, at CO<sub>2</sub> koncentrationen indtil flere gange om dagen ligger over 1.000 ppm, Det er bemærkelsesværdigt hvor langsomt koncentrationen falder efter kl. 14 og som det også fremgår af Figur 44. I denne graf er det tydeligt at der personer tilstede allerede fra kl.7:30, hvilke også er medvirkende til at koncentrationen kommer over 1.000 allerede efter 1 lektion. Det tyder generelt også på, at der ventileres efter hver lektion. De lave værdier i lektion 3 og 4, hænger formodentlig sammen med at eleverne ifølge klasseskemaet biologi, muligvis i et andet lokale.

---

<sup>40</sup> Eks. typer og placering af udsugnings- og indblæsningsarmaturer.

<sup>41</sup> 27-05-2015



Figur 44 - CO2 koncentrationer (ppm) uge 21,8b



Figur 45- 8b, CO2 koncentrationer (ppm) torsdag, uge 21,8b

### **1 og 2 lektion har generelt de højeste CO2 koncentrationer?**

Resultater af Figur 46Figur 42, viser at det kun er i lektion 1 og 2, at middel CO2 koncentrationer ligger over 1.000 ppm. At koncentrationerne er højest i 1 lektion, kan hænge sammen med det mindre rumvolumen pr. person ift. 6a som har et større rumvolumen pr. person og at "buffer" effekten derfor er mindre. Derudover kan det hænge sammen med hvornår eleverne ankommer i lokalet, som måske hænger sammen med at der er en anden "kultur" i de lidt større klasser.

Der er målt høje CO2 koncentrationer i flere af lektionerne, men ift. de lave middelværdier, udgør de en mindre del af tiden. At der er målt så høje værdier, tyder på, at der er tidspunkter eller spidsbelastninger, hvor ventilationsanlægget ikke tilstrækkeligt, eller at der på disse tidspunkter ikke suppleres med tilstrækkelig udluftning via oplukning af vinduerne.

Resultaterne fra 8b tyder til forskel fra 6a og 8b på, at der enten er mindre ventilation midt på eftermiddagen, eller at der er flere personer tilstede i klasselokalet.

### **Den mekaniske udsugning kører muligvis i nogle pauser**

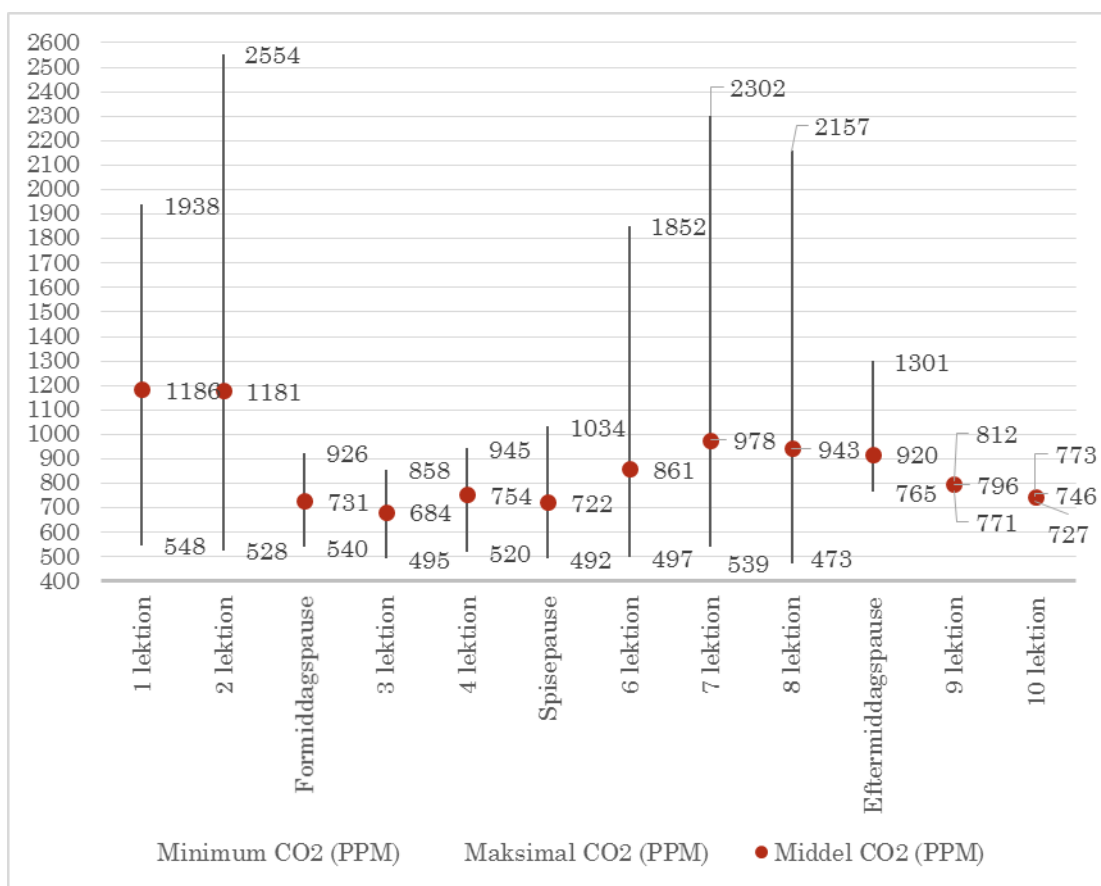
Resultaterne fra Figur 42Figur 46 peger i retning af, at der i dette lokale til forskel fra de andre 2, foretages en effektiv "Skylning" af lokalet i pausen efter 2 lektion, eller at eleverne ikke bliver i klassen i pausen. Ift. observationer omkring ventilatordriften, er det formegentlig den mekaniske udsugning der kører i pausen. I spisepausen er middelværdien lidt lavere end lektionen inden, hvilke måske kan hænge sammen med at rummet også i denne pause ventileres med mekanisk ventilation.

Resultaterne tyder også på der ventileres ekstra i eftermiddagspausen, eller at eleverne forlader klassen.

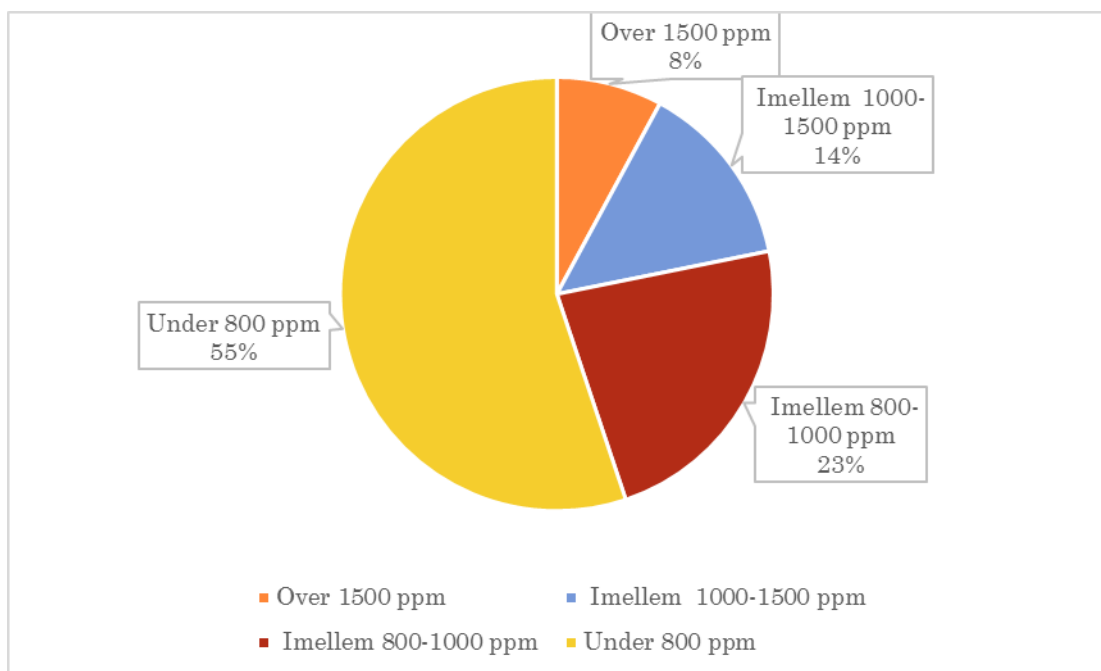
### **8b har et "optimalt" indeklime ift. CO2 koncentrationer i 55 % af tiden**

Optællinger fra indeklime målingerne jf. Figur 47, viser at CO2 koncentrationerne hos 8b ligger imellem under 800 ppm i 55 % af tiden, hvilke iht. UBST betegnes som et optimalt indeklime i undervisningsbygninger.

CO2 koncentrationer imellem 1.000-1500 ppm optræder i 14 % af tiden og over 1.500 ppm i kun 8 % af tiden.



Figur 46



Figur 47- 8b, andel af tid ved forskellige CO2 koncentrationer.

## 11.4 Samlede resultater

Resultat af undersøgelsen viser, at CO<sub>2</sub> koncentrationerne i de enkelte klasser i løbet af dagen generelt kommer over grænseværdien på 1.000 ppm. Specielt målingerne foretaget i 6a. peger på at CO<sub>2</sub> koncentrationerne gennemsnitligt ligger over 1.000 ppm i 6 ud af 10 lektioner. Jf. Figur 39 vist under resultater for 6a.

Af Figur 48 fremgår det at 8b generelt har lavere CO<sub>2</sub> koncentrationer i klassen, det er også den klasse med det største rumvolumen pr. elev.

Det generelle resultat er at ventilationsforholdene er utilstrækkelig i alle tre lokaler. Ventilationsformen med udsugningsventilatorer som kun kører i pauserne kræver store luftmængder, og formegentlig også effektivt supplement af udluftning via oplukning af vinduerne. Der er ikke i nogle af lokalerne mulighed for at gennemføre en effektiv udluftning i pauserne, fordi der, med undtagelse af 6a, kun er oplukkelige vinduer i 1 af de 4 vægside. Den mest effektive udluftning fås ved anvendelse af tværventilation, hvilke ikke helt er muligt.

### **Generelt ligger klasselokalerne over grænseværdierne i 33 % af tiden**

Optællinger fra indeklimate målingerne jf. Figur 49, viser at CO<sub>2</sub> koncentrationerne i de 3 klasser sammenlagt ligger imellem 1.000-1.500 ppm i 33 % af tiden, hvilke iht. UBST betegnes som et uacceptabelt indeklima i undervisningsbygninger. Resultaterne viser yderligere at koncentrationerne ligger over 1.500 ppm i 12 % af tiden.

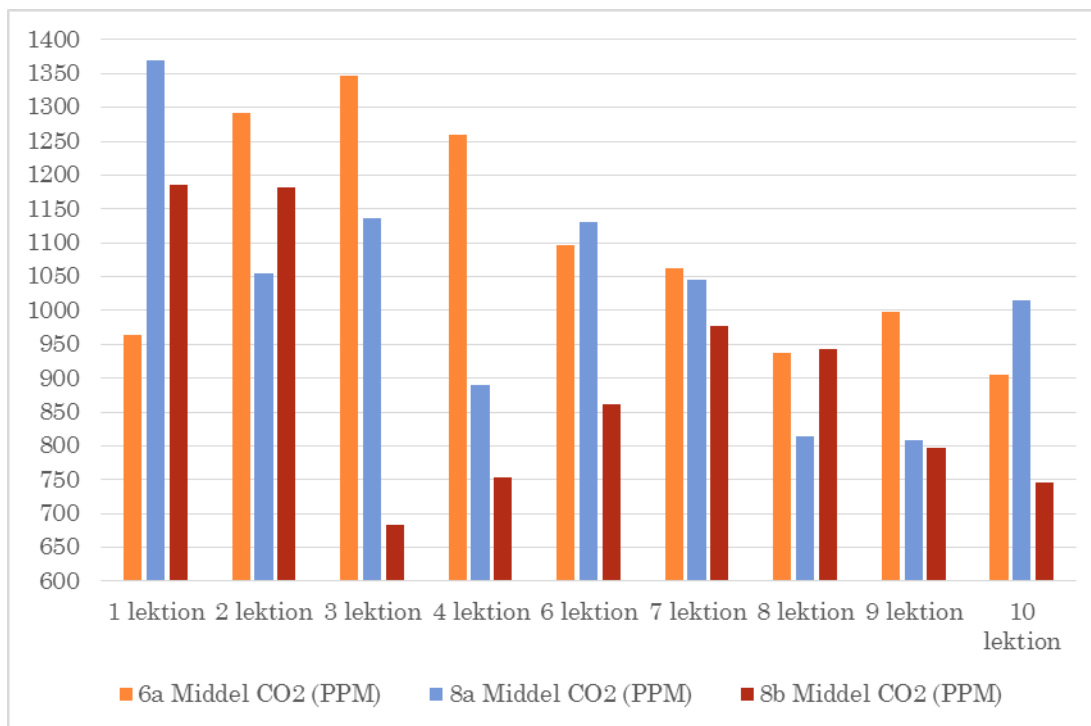
Kun i 34 % af tiden, eller 3 ud af 10 skoledage ligger niveauerne under 800 ppm, som iht. UBST<sup>42</sup> betegnes som det optimale indeklima i undervisningsbygninger eller iht. DS3033 som "Det fremragende indeklima".

Det skal generelt bemærkes, at de grafer der opsummerer måledata på lektioner og andel tid over givne CO<sub>2</sub> koncentrationer, bygger på et begrænset antal måledage og lektioner. Resultaterne herfra bør derfor ikke anvendes til en generalisering af forholdene, hverken i de pågældende klasser eller på skolen.

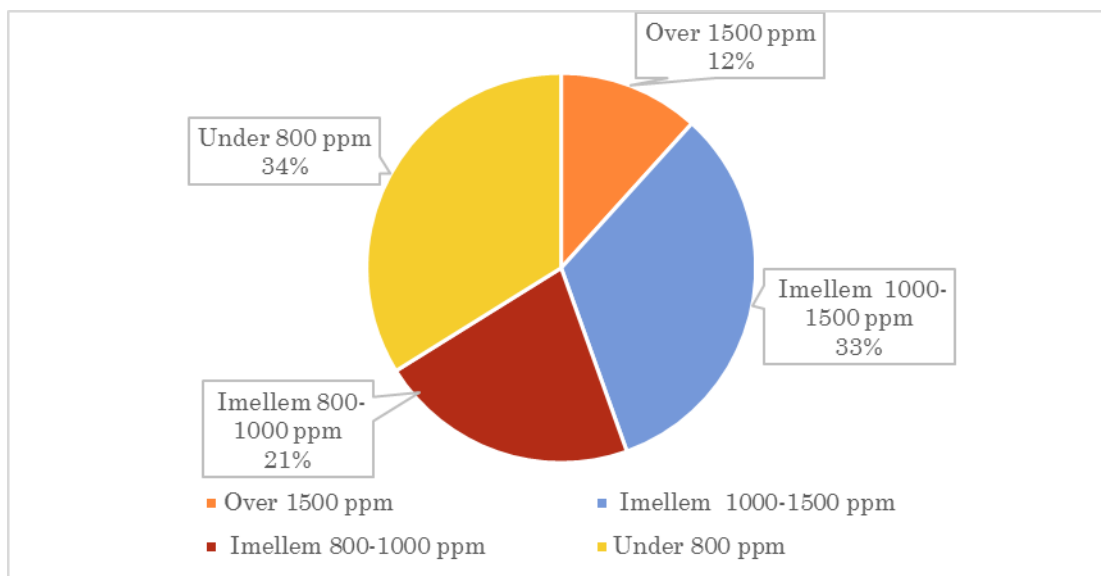
Det ville være rigtig interessant med flere måledata, fordi ville give et bedre grundlag for en vurdering af skolen som helhed. Det er vigtigt at nævne, at måledata, især når der er tale om ventilationssystemer uden indblæsning og udsugning, vil variere over året ift. udetemperaturen, fordi at der særligt om vinteren er stor sandsynlighed for at der vil opleves trægner, når rumluften ikke forvarmes.

---

<sup>42</sup> Universitets- og bygningsstyrelsen



Figur 48 Co2 koncentrationer fordelt på lektioner med persontilstedeværelse, 6a,8a,8b



Figur 49 6a,8a og 8b, andel af tid ved forskellige CO2 koncentrationer.

## Beregnet luftskifte uden mekaniske ventilation – 6a

For eksemplet skyld har jeg medtaget en beregning af luftskiftet. Der er anvendt en beregning fra ”henfaldsmetoden”, som er én af de 3 metoder beskrevet DS/EN ISO 12569. Der er valgt beregning efter ”Ekspotentielmetoden” og ikke ”kalkulationsmetoden”, af den simple årsag at den giver et mere præcist resultat.

Beregningsmetoden finder bla. anvendelse ved fastlæggelse af ventilationsraten ved klassificering af indeklimaet efter ”DS3033”. Her er det dog et krav at målingerne foretages under langt mere kontrollerede forhold. Bla. Er det et krav at der ikke er personer tilstede i rummet under målingen og at døren skal være lukket. På trods af, at jeg ikke kan dokumentere at disse forudsætninger er opfyldt, er beregningen alligevel medtaget, fordi dette ”tilnærmede” grundluftskifte, uden anvendelse af mekaniske ventilation, er interessant ift. bortventilering af gasser fra byggematerialer og inventar.

Anvendes måledata i perioden i den grønne cirkel, kan luftskiftet beregnes til 0,1/timen. Jf. bilag 7. Dette meget lille luftskifte, stammer formodentlig, hovedsagligt fra luftstrømme trykket ind lokalet fra udeluftsspjældet, hvis dette er åbent og som går strømmer ud igennem kanalen med udsugningsventilatoren. Derudover er der formegentlig et større eller mindre bidrag fra infiltration igennem revner og sprækker i konstruktionssamlinger, samt ved huller omkring gennemføringer af installationer. Dette beregnede luftskifte, er derfor også afhængig af vind og vejr, hvorfor beregningen kun er et udtryk for forholdene på den pågældende dag.

Ventilationsraten i bla. Skoler må i brugstiden ikke komme under 0,35l/s pr. m<sup>2</sup> etageareal. Kravet er velopmærket fastlagt på baggrund af anvendelse af lavt emitterende materialer som eks. er ”indeklimamærket”.

Krav til friskluftstilførsel:  $(72,5\text{m}^2 + (2,2\text{m}^2 \text{ vægareal}^{43}) * 0,35 \text{ l/s/m}^2) * 3,6 = 94,15\text{m}^3/\text{t}$

Beregnet friskluftstilførsel:  $0,1/\text{h} * 175,5\text{m}^3 = \underline{17,55 \text{ m}^3/\text{t}}$

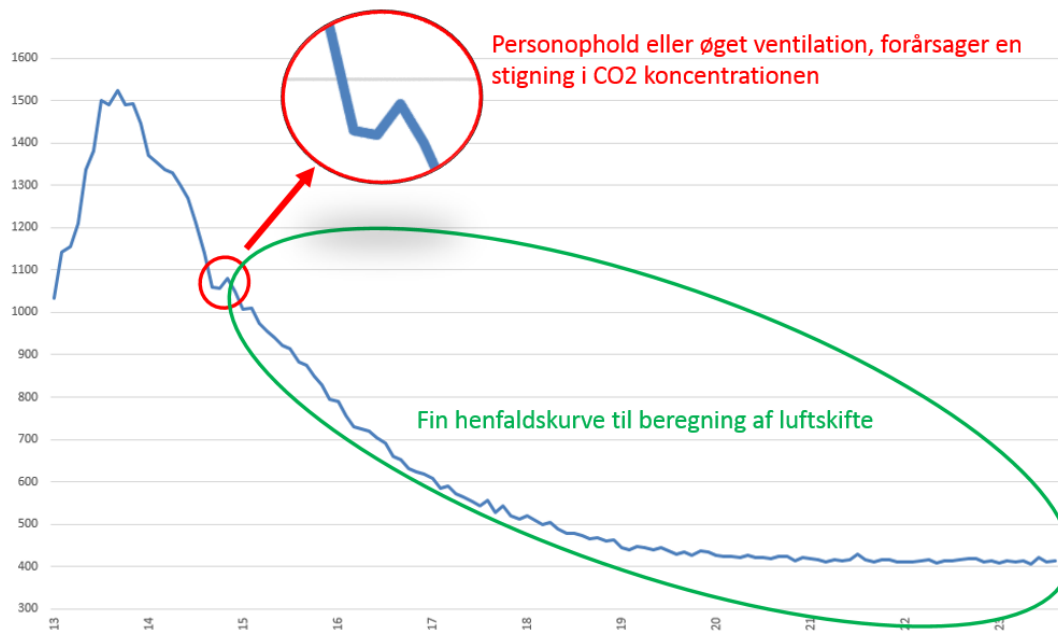
Beregningen viser at luftskiftet på det pågældende tidspunkt er for lavt.

Resultat indikere at muligvis er et for lavt luftskifte uden forbrugstiden, ift. bortventilering af gasser fra byggematerialer og inventar. Der er derfor risiko for spredning af eventuelle tilstedeværende VOC`er i byggematerialer og inventar. Spredningen kan ske til såkaldte ”tertiære” kilder, hvilke kort fortalt kan forklares som, at en indvendig bygningsfuge afgasser til rumluften og at andre materialer i rummet så optager dele af gassen, hvorfra den så senere også kan afgasse fra. Rumluften vil generelt have et større indhold af VOC`er, desto større areal i rummet der med materialer indeholdende VOC`er.

Der er også foretaget en beregning af torsdag i uge 19. hvor kurven tilsyneladende er mere stejl, men også starter på et noget højere ”peak”. Resultatet her var et luftskifte på 0,117/timen, altså tæt på de 0,1/timen. Hvilke peger i retning af det generelle luftskifte uden for brugstiden formodentlig ligger i omegnen af 0,1/timen. Beregningen er vedlagt som bilag 10.

---

<sup>43</sup> Bygningsreglementet foreskriver ”etagearealet” hvilke er det samlede brutto areal inkl. Ydervægge. Derfor har jeg overslagsmæssigt anvendt 3 % i tillæg.



Figur 50 – figuren viser udvælgelse af data til beregning af det teoretiske luftskifte. Tirsdag uge 21, 6a



## 11.5 Anbefaling

Der er flere indgangsvinkler til hvordan indeklimaet i de 3 lokaler kan forbedres. I overvejelserne bør følgende overordnede parametre indgå:

- Forventninger til CO<sub>2</sub> koncentrationer efter renovering, ift. hvor ”godt” indeklimaet skal være (Mindstekrav BR10<sup>44</sup>, 1.000ppm eller det ”optimale indeklima” under 800 ppm)
- Komfortkrav (risiko for træk)
- Driftsomkostning i form af energi, service og vedligeholdelse. Se Figur 51 og Figur 52.
- Etableringsomkostninger (Stor investering/lille, investering her og nu, eller løbende investering)

### **Etablering af ventilation med udsugning og indblæsning er at foretrække**

Der er mange løsninger til forbedring af den mekaniske ventilation. Min vurdering er at den mest fornuftige løsning for de 3 klasser er etablering af mindre decentrale ventilationsanlæg. Som eksempelvis ”Airmaster” eller ”Exhausto-VEX308”. Denne løsning er efter min mening optimal på mange måder ift. besparelser på varmeregningen bl.a. fordi kommunen kan renovere klasselokalerne over flere etaper.

I lokaler på 1. salen kræver løsningen en mere eller mindre ombygning af vinduernes øverste glasfelt, som i dag er skjult over de nedhængte lofter. Vinduerne går helt op under tagfoden. Og der er ikke umiddelbart mulighed for at lave gennemføringer andre steder i facaden. Vinduerne er lodret inddelt i tre felter, hvoraf det øverste felt er beliggende over de nedhængte lofter. Lofterne er iht. mål på de ældre tegninger fratrukket den målte rumhøjde, nedsænket med 44 cm, ift. den gamle loftbeklædning, dertil kommer så tykkelsen af det nedhængte loft.

Her vil det muligvis være muligt at placere et decentralt ventilationsaggregat som er skjult eller delvis skjult over det nedhængte loft. Som eks. ”Airmaster DV1000 H”. Over loftet vil der være mulighed for at trække kanaler til nye udsugnings- og indblæsningsventiler som placeres i det nedhængte loft. De gamle udluftningsspjæld og udsugningsventilator kan hermed fjernes.

I stueetagen, vil det være nødvendigt at lave nye gennembrydninger i facaden, hvilket bl.a. er muligt fordi der her er en anden vinduesløsning. Her vil de gamle udeluftsspjæld også kunne fjernes.

### **Det er også muligt at renovere det eksisterende udsugningsanlæg**

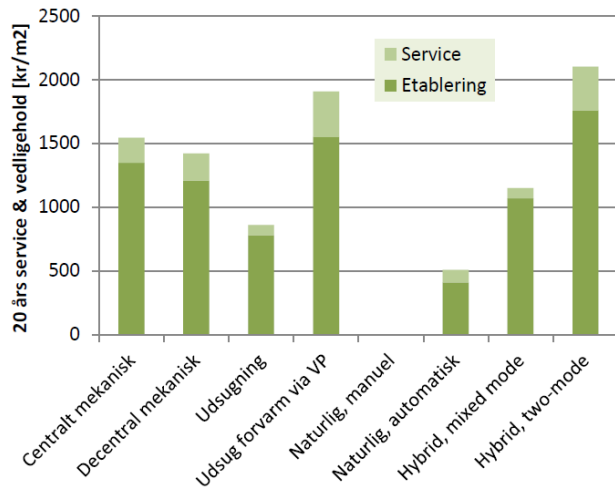
Andre alternativer kunne være at skifte udluftningsspjældene til nye med indbyggede varmeplader som kan tilsluttes centralvarmen for dermed at minimere risikoen for trækgener. Ulempen er at det energiøkonomisk er en dyr løsning. Ligeledes er der andre aspekter der kan være afgørende så som manglende mulighed for filtrering af udeluften, inden indsugning går ind i lokalerne.

Risikoen er også at varmeanlægget ikke er dimensioneret til opvarmning af de øgede luftmængder.

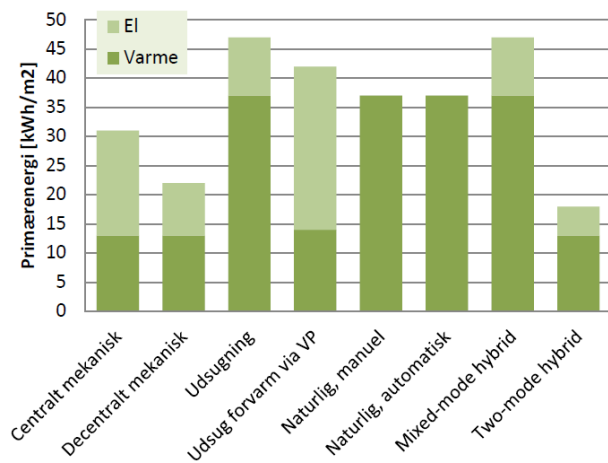
---

<sup>44</sup> Bygningsreglement 2010





**Figur 51 – Opsummering af etablerings- og vedligeholdelsesomkostninger over en 20 års periode, Kilde: ”velfungerende løsninger til ventilationssystemer i skoleklasser”, Alectia,2014**



**Figur 52 – overslagsberegning over energiforbrug ved forskellige ventilationsløsninger, forudsætningerne forefindes i Kilde: ”velfungerende løsninger til ventilationssystemer i skoleklasser”, Alectia,2014**

Der er også flere nyere og mere avancerede løsninger, hvor der i stedet for tilslutning til centralvarmeanlægget er monteret en varmepumpe i udeluftsspjældet, som så forvarmer luften. Fordelen her er at det er unødvendigt med nye varmerør og at risikoen for træk minimeres, samt risikoen for at varmeanlægget ikke kan levere den nødvendige ydelse. Derudover er det en fordel med EL-forbrugende produkter i dagstimerne, hvor solcellerne på sogneskolens producere EL.

### **Udluftningsadfærd er en mulighed men koster i energiregnskabet**

Det anbefales generelt at få udarbejdet en plan for hvordan udluftning af lokaler kan planlægges bedst muligt ift. at supplerer ventilationsløsningerne i de enkelte rum. Min vurdering er at man vil komme langt med udluftning, men den bør ikke stå alene. Ulempen er at det i opvarmningssæsonen koster ekstra på varmeregningen og at der formegentlig vil forekomme trækgener. Der bør derfor fokuseres på udluftningsadfærden i de perioder hvor vejret tillader at lufte uden der opleves trækgener. I 8b hænger en opgaveliste for dukse, udluftning i pauserne er ikke en del duksens opgaver.

### **Udnyt de oplukkelige vinduer i glasmellemgangen**

I forbindelse med gangen til 8a, er der en tilbygget glasmellemgang med mekanisk styret oplukkelige vinduer af ældre dato, det er formodentlig muligt at på bygge en styring til disse vinduer, således at disse vinduer, hvis vejret tillader det også åbnes i pauserne. Hvis vinduerne så samtidig åbnes øges drivkraften i den naturlige ventilation, og dette vil sandsynligvis bidrage en del til at CO<sub>2</sub> koncentrationerne kommer længere ned i pauserne. Det vil også bidrage til yderligere CO<sub>2</sub> reduktion i klasserne hvis der luftes ud under lektionerne i mellemgangen. Herved bliver CO<sub>2</sub> koncentrationerne lavere. Når dørene til klasserne i pauserne åbnes, bidrager de lave koncentrationer i mellemgangen til at niveauerne i klasserne hurtigere bliver reduceret og kommer længere ned inden næste lektion.

### **Køb indeklimamærkede produkter**

Indkøb af inventar, bør foretages ud fra at der uden for brugstiden formodentlig er for lavt luftskifte. For at begrænse elevernes og de ansattes påvirkning af potentielt skadelig kemi i byggematerialer og inventar bør der så vidt mulig kun købes produkter med det danske indeklimamærke (DIM), eller produkter som lever op til kravene herfra.

Under den løbende vedligeholdelse og renoverings af bygningerne, bør der også være fokus på at entreprenørerne kun anvender indeklimamærkede produkter.

### **Behov for energianalyse**

Det var oprindelig planen at denne del af rapporten også skulle omfatte kortlægning af mulige energibesparelserprojekter på skolen, som så kunne være med til at finansiere forslag til indeklimaforbedringer. Det har dog været nødvendigt undervejs i processen at afgrænse opgaven og det er derfor desværre ikke medtaget.

I kraft af mit daglige arbejde som energirådgiver, har jeg dog i mit perifere syn på besigtigelserne observeret flere tiltag, der som energiprojekter alene, erfaringsmæssigt har en fornuftig rentabilitet. Det anbefales derfor at bygningerne undersøges nærmere. Det er også min erfaring, at energimærkerne generelt ikke kan stå alene, ved vurdering af potentielle energiprojekter, i erhvervs- og undervisningsbygninger. Dette skyldes at bestemmelserne fra ”håndbogen”, som energimærkerne skal udarbejdes efter, typisk foranlediger, at besparelsesforslag til ventilation og belysning ikke står mål med virkeligheden. De bør derfor ikke anvendes alene som beslutningsgrundlag for gennemførelse af energiprojekter.



**Figur 53- foto af glasmellemgang ved 8a, bemærk oplukkeligt vindue med motor.**

## 12 HOVEDKONKLUSION

Denne konklusion omhandler kun de resultater af rapportens ”del 1” og ”del 2”, som er interessante at koble sammen.

Målinger af CO<sub>2</sub> koncentrationerne på sogneskolen viser at de variere en del over en gennemsnitlig skoledag opdelt på lektioner og pauser.

Måling af CO<sub>2</sub> koncentrationerne i de 3 skoleklasser<sup>45</sup>, viste at lokalerne havde koncentrationer imellem 1.000-1.500 ppm i 33 % af tiden og over 1.500 ppm i 12 % af tiden jf. Figur 49. Det er interessant at sammenligne disse observationer med målingen foretaget og indrapporteret under ”masseeksperimentet” i 3a. som lå på 2400 ppm.

I de 3 skoleklasser på sogneskolen lå kun 9 målinger ud af 2128 lå over 2.400 ppm, hvilke sammenlagt rundt regnet svarer til 1 lektion hver 6 skoleuge<sup>46</sup>. Velopmærket for alle 3 klasser lagt sammen.

Det giver anledning til genovervejelse af hvordan resultaterne fra andre undersøgelser eks. masseeksperimentet tolkes og anvendes i den offentlige debat. Der er nok ikke nogen tvivl om at forskerne selv godt er klar over begrænsningerne ift. sammenligning af resultater fra forskellige undersøgelser. Eksempelvis har ”Enhedslisten” på baggrund af masseeksperimentet, og en række andre undersøgelser fremlagt et lovforslag om indeklimarenovering af folkeskolerne.

### **Behov for mere nuancerede indeklimaundersøgelser af folkeskoleklasserne**

På baggrund af disse resultater, mener jeg at der er behov for flere og mere nuancerede målinger af folkeskolernes CO<sub>2</sub> koncentrationer. Hvis resultaterne skal anvendes til generalisering af hvordan det står til i de danske skoler, samt i vurdering af hvor meget indlæring de danske skolelever teoretisk set går glip af.

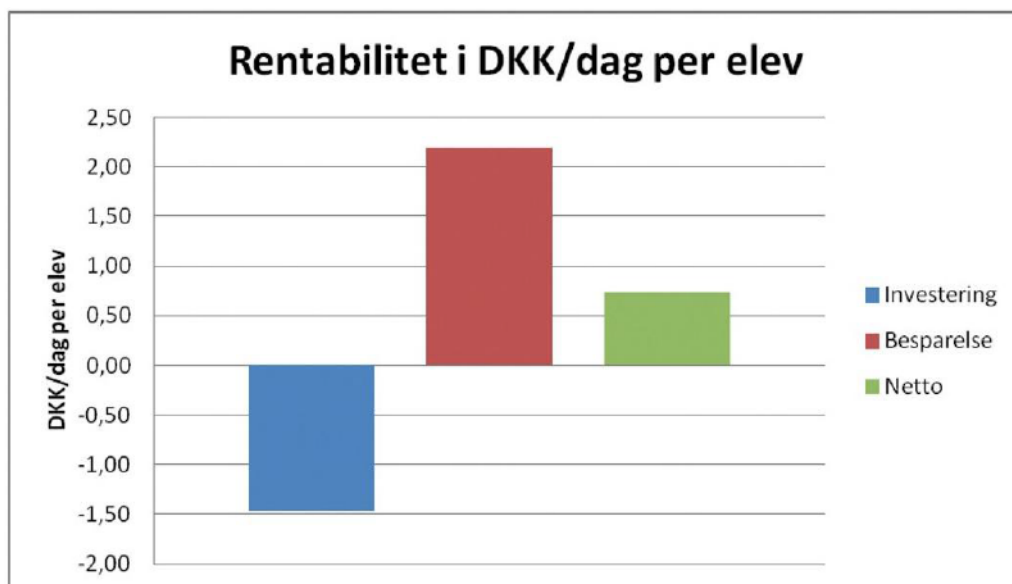
### **Kombiner indeklimaprojekter med energiprojekter**

Ved kombineret af indeklima og renoveringsprojekter kommer begrebet rentabilitet i den traditionelle energimæssige forstand til kort, fordi udregning af rentabilitet på forbedring af indeklimaet generelt er en svær størrelse. Der er flere bud på beregning af rentabiliteten ved kombinerede indeklima- og energiprojekter. Eksempelvis fremgår det af et beregningseksempel i artiklen ”Hvad koster et godt indeklima på folkeskoler”. At nettoresultatet bliver positivt, hvis effekten af indlæringsforbedringerne og lærernes velbefindende medtages i kalkulationen. Andre beregninger trækker dog mere i retning af at udgifterne nok er omkring det samme som man sparer.

---

<sup>45</sup> I den tid der formodentlig var personer tilstede.

<sup>46</sup> 8 lektioner om dagen = ca. 29 dage.



**Figur 54 – Beregnet rentabilitet af energibesparende foranstaltninger og indlæringsforbedringer:**  
Kilde: "Hvad koster et godt indeklima på folkeskoler"

## 13 ANVENDT LITTERATUR

### **Bøger & udgivelser:**

"Indeklima i skoler – Status og konsekvenser" FOA - Fag og arbejde.

"Bekendtgørelse af lov om folkeskolen" - § 17

"Bekendtgørelse om energimærkning af bygninger"

"energibesparelser i bygninger i den offentlige sektor", BYG DTU 2008, Henrik Tommerup, Jakob B. Laustsen.

"Den lille Blå om ventilation" Dansk energi, Claus M. Hvenegaard, 2 udgave 2007

"Skolernes arkitektur igennem 200 år" udgivet af "skole i 200 år" og Trygfonden, skrevet af Anne Katrine Gjerløff.

"Sunde skoler, indeklimaforhold i undervisningsrum og institutioner for børn" - by og byg resultater 015

"SBI Meddelse 130 - vurdering af ventilationsbehov" Niels C. Bergsøe

"Wargocki Pawel" "The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children" American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. 2007;13(2):165-191

"Wargocki Pawel, Wyon" D. "The effects of outdoor air supply rate and supply air filter condition in classrooms on the performance of schoolwork by children. American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. 2005;15:27-32

"Hvad koster et godt indeklima på folkeskoler", Christoffer Marxen og Rene B. Knorborg, DTU studerende, samt Adjunkt Christian Anker Hviid, DTO/Alectia og lektor Pawel Wargocki, publiceret i HVAC, nr. 9 september 2011

Dancey, C., & Reidy, J. (2004). Statistics without Maths for Psychology: using SPSS for Windows, London: Prentice Hall.

"Velfungerende løsning til ventilationssystemer i skoleklasser", Alectia, Christian A.Hviid

Zapera: Kampagne præmåling, august 2007, Zapera. Undersøgelsen kan hentes på:

[http://mst.dk/media/mst/67340/Zapera\\_Rapport.pdf](http://mst.dk/media/mst/67340/Zapera_Rapport.pdf)



## **Hjemmesider:**

<http://www.uvm.dk/Uddannelser/Folkeskolen/Spoergsmaal-og-svar-om-folkeskolen>

Bygning reglement 31-12-2014:

<http://bygningsreglementet.dk/br10/0/42>

<http://www.dlf.org/media/47353/FagligRapportMasseX2009.pdf>

[www.sbi.dk/miljo-og-energi/energibesparelser/meget-at-spare-ved-renovering-af-skoler](http://www.sbi.dk/miljo-og-energi/energibesparelser/meget-at-spare-ved-renovering-af-skoler)

<http://www.dlf.org/arbejdsliv/arbejdsmiljoe/fysisk-arbejdsmiljoe/normalklasserum>

Beregnet VS. Faktisk forbrug:

[http://eksempelsamling.bygningsreglementet.dk/beregnet\\_faktisk\\_eforbrug](http://eksempelsamling.bygningsreglementet.dk/beregnet_faktisk_eforbrug)

Kommunernes digitale bygningsarkiv:

[www.weblager.dk](http://www.weblager.dk)

<http://uvm.dk/Aktuelt/~UVM-DK/Content/News/Udd/Folke/2014/Jun/140623-Planlagte-undervisningstimer-i-folkeskolen-2013-2014>

”Forslag til folketingsbeslutning om bedre indeklima i folkeskolen” Fremsat den 20. november 2014 af Lars Dohn (EL) og Rosa Lund (EL)

[http://www.ft.dk/samling/20141/beslutningsforslag/b34/html\\_som\\_fremsat.htm](http://www.ft.dk/samling/20141/beslutningsforslag/b34/html_som_fremsat.htm)

## 14 BILAGSFORTEGNELSE.

- Bilag 1** – Masseeksperiment 2014 - Registreringsskema
- Bilag 2** - Masseeksperiment 2014 - Lærervejledning
- Bilag 3** – Masseeksperiment 2014 - Indeklima i klasselokaler - resultater
- Bilag 4** - Angivelse af numeriske værdier
- Bilag 5** - Beregning af co2 koncentration med fortyndingsligning
- Bilag 6** - Beregning af co2 xxxxx
- Bilag 7** - Beregning af luftskifte\_Tirsdag uge 21, 6a
- Bilag 8** – Klasseskemaer og ringetider
- Bilag 9** - Resultatgrafer fra indeklimaundersøgelse sogneskolen
- Bilag 10**- Beregning af luftskifte\_Torsdag uge 19, 6a
- Bilag 11** - Ændringer navne og data (Excel-format)
- Bilag 12** - beregningsforudsætning for original energimærkningsfil
- Bilag 13** - beregningsforudsætning for sænkning af temperatur i energimærkningsfil
- Bilag 14** – Data udleveret fra ”masseeksperiment” (Excel-format)
- Bilag 15** - Dataliste over energimærkede bygninger fra Energistyrelsen(Excel-format)
- Bilag 16** – Data fra masseeksperimentet, energimærker, efterbearbejdet (Excel-format)
- Bilag 17** - Data fra IC-meter måleudstyr fra Sogneskolen (Excel-format)
- Bilag 18** - Data fra indeklimaundersøgelser på Sogneskolen efterbearbejdet (Excel-format)