



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

Aalborg Universitet København
A. C. Meyers Vænge 15
2450 København SV
Danmark

Sekretær: Lene Wenstrøm Jørgensen
Telefon: 99 40 97 34
Lene Wenstrøm Jørgensen

Studenterrapport

Uddannelse:

Master i Bygningsfysik

Semester:

4. Semester

Titel på projekt:

Indeklimarenovering af folkeskole –
Er de opnåede resultater af renoveringen
acceptable?

Projektperiode:

01-02-2024/06-06-2024

Vejleder:

Seniorforsker, Ernst Jan de Place Hansen

Bivejleder:

Seniorrådgiver, Nanet Mathiasen

Udarbejdet af:

Rasmus Florczak

Antal normalsider: 65

Afleveringsdato:

06-06-2024

Resumé: Formålet med dette masterprojekt er at undersøge, om Nyborg kommune har forbedret det termiske, atmosfæriske, akustiske og visuelle indeklima for at øge læringspotentialet og trivslen hos skolebørn på en udvalgt folkeskole. Projektet fokuserer også på kendte PCB-problematikker i bygningskonstruktioner, afhjælpningsmetoder og resultaterne af PCB-saneringer. Projektet tager udgangspunkt i renoveringen af Vibeskolen afd. Ullerslev, opført i 1965, hvor der blev konstateret problemer med høje CO₂-koncentrationer, høje temperaturer, dårlig belysning og akustiske udfordringer. Skolen havde også PCB i konstruktionerne. Under renoveringen blev der anvendt to saneringsmetoder, fysisk fjernelse af PCB-kilder og forsegling.

Renoveringen og de valgte løsninger for indeklimaforbedringer undersøges, herunder måling og simulering af temperatur, CO₂, fugt og belysningsniveauer. Resultaterne sammenholdes med forundersøgelser og grænseværdier fra 'Branchevejledning for indeklima i skoler' for at vurdere, om ønskede forbedringer er opnået. Projektet evaluerer også, om andre tiltag kunne have givet bedre resultater. For PCB-problematikken benyttes luftprøver, som sammenlignes med tidligere resultater for at vurdere effekten af de benyttede saneringsmetoder og belyse fordele og ulemper ved disse metoder.

Resultaterne af undersøgelserne og simuleringerne af indeklimaet efter renoveringen viser at kommunen er lykkedes med at forbedre indeklimaet for alle de fire indeklimaområder med de valgte løsninger der er benyttet i forbindelse med renoveringen. Resultaterne for renoveringen sammenholdt med kravene til branchevejledningen for indeklima i folkeskolars standard+ klasse viser at for de fleste parametre er kravene opfyldt, for det atmosfæriske indeklima ligger CO₂ koncentrationerne en smule over kravet på 1000 ppm men ved enkelte finjusteringer for ventilationen er det eftervist at kunne overholde kravet hertil.

For PCB saneringerne er det ikke lykkedes at opfylde kravet til sundhedsstyrelsens nedre aktionsværdi på 300 ng/m³ som var målet, dette gælder for både metoden med fysisk fjernelse og forseglingsmetoden. Der er flere faktorer som formodes at kunne være årsag til de stadig for høje PCB koncentrationer i indeklufte, der bør derfor iværksættes afværgeforanstaltninger der kan nedbringe PCB koncentrationerne, her foreslås løsninger med øget ventilationsrate og højere rengøringsniveau i undervisningslokalerne.



Indeklimarenovering af folkeskole

Er de opnåede resultater af renoveringen acceptable?



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

Resumé

Formålet med dette masterprojekt er at undersøge, om kommunen har forbedret det termiske, atmosfæriske, akustiske og visuelle indeklima for at øge læringspotentialet og trivslen hos skolebørn på en udvalgt folkeskole. Projektet fokuserer også på kendte PCB-problematikker i bygningskonstruktioner, afhjælpningsmetoder og resultaterne af PCB-saneringer.

Projektet tager udgangspunkt i renoveringen af Vibeskolen afd. Ullerslev, opført i 1965, hvor der blev konstateret problemer med høje CO₂-koncentrationer, høje temperaturer, dårlig belysning og akustiske udfordringer. Skolen havde også PCB i konstruktionerne. Under renoveringen blev der anvendt to saneringsmetoder, "fysisk fjernelse" af PCB-kilder og "forsegling".

Renoveringen og de valgte løsninger for indeklimaforbedringer undersøges, herunder måling og simulering af temperatur, CO₂, fugt og belysningsniveauer. Resultaterne sammenholdes med forundersøgelser og grænseværdier fra 'Branchevejledning for indeklima i skoler' (Vorre, 2021) for at vurdere, om ønskede forbedringer er opnået. Projektet evaluerer også om andre tiltag kunne have givet bedre resultater. For PCB-problematikken benyttes luftprøver som sammenlignes med tidligere resultater for, at vurdere effekten af de benyttede saneringsmetoder og belyse fordele og ulemper ved disse metoder.

Resultaterne af undersøgelserne og simuleringerne af indeklimaet efter renoveringen viser, at kommunen er lykkedes med at forbedre indeklimaet for alle de fire indeklimaområder med de valgte løsninger der er benyttet i forbindelse med renoveringen. Resultaterne for renoveringen sammenholdt med kravene til branchevejledningen for indeklima i folkeskolars standard+ klasse viser, at for de fleste parametre er kravene opfyldt, for det atmosfæriske indeklima ligger CO₂ koncentrationerne en smule over kravet på 1000 ppm, men ved enkelte finjusteringer for ventilationen er det eftervist at kunne overholde kravet hertil.

For PCB saneringerne er det ikke lykkedes at opfylde kravet til sundhedsstyrelsens nedre aktionsværdi på 300 ng/m³ som var målet. Dette gælder for både metoden med fysisk fjernelse og forseglingsmetoden. Der er flere faktorer som formodes at kunne være årsag til de stadig for høje PCB koncentrationer i indeklufften, der bør derfor iværksættes afværgeforanstaltninger der kan nedbringe PCB koncentrationerne, her foreslås løsninger med øget ventilationsrate og højere rengøringsniveau i undervisningslokalerne.

Abstract

The purpose of this master's project is to investigate whether the municipality has improved the thermal, atmospheric, acoustic and visual indoor climate in order to increase the learning potential, and well-being of school children at a selected primary school. The project also focuses on known PCB problems in building constructions, remedial methods and the results of PCB remediation.

The project is based on the renovation of Vibe School, Ullerslev, built in 1965, where problems with high CO₂ concentrations, high temperatures, poor lighting and acoustic challenges were identified. The school also had PCBs in the structures. During the renovation, two remediation methods were used, "physical removal" of PCB sources and "sealing".

The renovation and the chosen solutions for indoor climate improvements are examined, including measurement and simulation of temperature, CO₂, humidity and lighting levels. The results are compared with preliminary studies and limit values from 'Industry guidance for indoor climate in schools' to assess whether desired improvements have been achieved. The project also evaluates whether other measures could have produced better results. For the PCB problem, air samples are used, which are compared with previous results in order to assess the effect of the remediation methods used and highlight the advantages and disadvantages of these methods.

The results of the studies and simulations of the indoor climate after the renovation, shows that the municipality has succeeded in improving the indoor climate for all four indoor climate areas, with the chosen solutions used in connection with the renovation. The results of the renovation compared with the requirements from for the "industry guidelines for indoor climate in primary schools" standard+ class, shows that for most parameters the requirements are met. For the atmospheric indoor climate, the CO₂ concentrations are slightly above the requirement of 1000 ppm, but with individual fine-tuning for the ventilation it has been proven to be able to comply the requirement for this.

For the PCB remediation, it has not been possible to meet the requirement for the Danish Health Authority's lower action value of 300 ng/m³, which was the target, this applies to both the method of physical removal and the sealing method. There are several factors which are believed to be the cause of the still too high PCB concentrations in the interior, therefore preventive measures should be implemented that can reduce the PCB concentrations. The solutions are proposed with increased ventilation rate and higher level of cleaning in the classrooms.

Indholdsfortegnelse

Resumé	1
Abstract	2
1. Indledning	4
1.1 Problemformulering	5
1.2 Afgræsning	5
2. Teori	6
2.1 De fire indeklimaområder	6
2.2 indeklimaets udfordringer	8
2.3 Termisk Indeklima	9
2.4 Atmosfærisk Indeklima	10
2.5 Akustisk Indeklima	12
2.6 Visuelt Indeklima	13
2.7 Hvad er et godt indeklima?	15
2.8 Branchevejledning for indeklima i folkeskoler	18
2.9 Krav og grænseværdier for indeklimaet	18
3. Bygnings case	21
3.1 Bygningsbeskrivelse	21
3.2 Bygningskonstruktioner	22
3.3 Forundersøgelser af indeklimaet og screeningsundersøgelse PCB	24
3.4 PCB's anvendelse og ageren	25
3.6 Renoveringsforløb	28
4. Undersøgelser og prøvetagningsmetoder	38
4.1 Termisk indeklima	39
4.2 Atmosfærisk indeklima	41
4.3. Visuelt indeklima	42
4.4 Akustisk indeklima	46
5. Resultater	48
5.1 Resultater fra forundersøgelser og de nye undersøgelser	48
5.2 Resultater holdes op mod Branchevejledningen for indeklima i folkeskolars grænseværdier	69
6. Diskussion	71
7. Konklusion	82
8. Bibliografi	84
9. Bilagsfortegnelse	86

1. Indledning

Skolernes primære opgave er at skabe de bedste rammer for børns læring. Mange faktorer spiller en rolle i denne sammenhæng, herunder lærernes kompetencer, undervisningsmetoder og elevernes sociale baggrund. Videnskabelige studier har imidlertid også vist, at der er en tæt forbindelse mellem indeklimaet i skolerne og elevernes indlæring. Et dårligt indeklima kan forringe elevernes præstationer og deres evne til at tilegne sig ny viden.

Flere landsdækkende undersøgelser har dokumenteret, at indeklimaet i flertallet af de danske skoler er utilstrækkelig i forhold til gældende regler. Der bygges kun få nye skoler i Danmark, hvilket understreger at der er brug for effektive metoder til at opnå de ønskede forbedringer via renovering af eksisterende bygninger og deres installationer. Dertil kræves detaljeret viden om de bygningsmæssige faktorer og ikke mindst brugeradfærd, der er forbundet med det gode indeklima (Jensen, 2021). Opgørelser over den samlede bygningsmasse, der udgør de danske folkeskoler, viser, at ca. 50 % af bygningerne er opført mellem 1960 og 1980, hvor kravene til energiforbrug og indeklima var betydeligt mere lempelige. I samme periode blev der anvendt byggematerialer, som vi i dag ved er skadelige for mennesker, såsom bly, PCB og asbest. Derfor er forbedring af indeklimakvaliteten en vigtig faktor for både elevernes indlæring og sundhed samt de ansattes trivsel.

Hensigten med nærværende projekt er at redegøre for indeklimaets tilstand, og dets udfordringer på Vibeskolen afd. Ullerslev, der er opført i 1965 og dermed repræsenterer en stor del af de danske skoler der er opført i denne periode. Projektet vil også have til formål at vurdere den pågåede indeklimarenovering af skolen ud fra valgte løsningsmetoder og resultaterne af disse. For Vibeskolen er det kendt, at flere bygningskonstruktioner er opført med PCB holdige byggematerialer, og skoler er derfor PCB saneret i forbindelse med indeklimarenoveringen. I forbindelse med PCB saneringen er der benyttet to forskellige metoder "Fysisk fjernelse" og "forsegling". Der bliver i projektet undersøgt om det er lykkedes at nedbringe PCB koncentrationerne i indeluften i undervisningslokalerne, og hvilke af de benyttede saneringsmetoder der efter udførelsen har givet det bedste resultat. Redegørelsen omfatter fysiske målinger på skolen samt en række simuleringer som er udført for at kunne vurdere resultaterne af renoveringen.

For det termiske indeklima er der udført temperaturmålinger ude på skolen ved hjælp af IC-meter målere, det sammen gør sig gældende for det atmosfæriske indeklima. For det visuelle indeklima er der udført simuleringer for at kunne eftervise belysningsniveauerne i undervisningslokalerne, dette gælder for både den elektriske belysning samt dagslyset. For det akustiske indeklima er der udført akustiske simulering for efterklangstiden i undervisningslokalerne. Til vurdering af PCB saneringerne er der udtaget luftprøver i flere undervisningslokaler som er analyseret på laboratorie. Disse vil kunne give svar på om det er lykkedes at nedbringe PCB koncentrationen og kunne opfylde grænseværdierne for sundhedsstyrelsens nedre aktionsværdier.

1.1 Problemformulering

Er Nyborg kommune kommet i mål med at forbedre indeklimaet på Vibeskolen afd. Ullerslev efter indeklimateoveringen? og er det lykkedes at nedbringe PCB koncentrationen i indeluften efter sanering som blevet lavet i forbindelse indeklimateoveringen?

1.2 Afgrænsning

Projektet, der ligger til grund for nærværende rapport, afgrænses ved, at der kun foretages undersøgelser, udføres simuleringer og analyseres på en enkelt skole. Afgrænsningen gøres for, at der kan beregnes og analyseres mere grundigt i projektperioden, end hvis beregninger og analyser skulle dække et større antal skoler. I forhold til indeklimatemessige udfordringer beregnes eller simuleres der for alle fire indeklimate områder, dog kun i enkelte udvalgte undervisningslokaler, da disse danner grundlag for de resterende undervisningslokaler.

Ved sammenligning af resultater fra projektet med grænseværdier fra branchevejledningen for indeklimate i folkeskolars standard+ klasse er der foretaget nogle afgrænsninger i forhold til de udvalgte parametre. Det har ikke været muligt at inkludere alle parametre, som er opstillet i branchevejledningen for indeklimate i folkeskoler. Derfor er der fokuseret på de parametre, der er vurderet som mest relevante for dette projekt. De udvalgte parametre fra vejledningen, som bruges som sammenligningsgrundlag, fremgår af afsnit 2.9 "Krav og grænseværdier for indeklimate".

2. Teori

I dette afsnit præsenteres den teoretiske ramme, der danner grundlaget for projektet. Projektet trækker på centrale begreber inden for indeklima og teorier fra relevant litteratur, som skal hjælpe til at give en god forståelse af emnet og de teorier emnet indeklima i folkeskoler arbejder ud fra.

2.1 De fire indeklimaområder

Indeklima er et vidt begreb og et begreb der bruges i flæng. Indeklimaet kan deles op i fire områder, 'det termiske indeklima', 'det atmosfæriske indeklima', 'det visuelle indeklima' og til sidste 'det akustiske indeklima'. Det oplevede indeklima beskrives ved den samlede påvirkning fra forskellige parametre, der har betydning for det enkelte individs komfort. Følsomheden over for de forskellige indeklimaparametre er individuel og vil være påvirket af den situation, personen befinder sig i. Det optimale indeklima skaber komfort for flest mulige personer, men på grund af forskelle i individuelle præferencer vil man aldrig kunne gøre alle fuldt ud tilfredse samtidig. Indeklimaet i en bygning dækker det termiske, det akustiske, det atmosfæriske og det visuelle indeklima. Herunder beskrives de fire områder og deres betydning for indeklimaet (Vorre, 2021).



Figur 1, Illustration af de fire indeklima områder projektet beskæftiger sig med

2.1.1 Termisk indeklima

Termisk indeklima dækker de forhold, der har indflydelse på, om en person føler sig kold eller varm. Det kan både være for kroppen som helhed eller for dele af kroppen. Termisk indeklima har stor indflydelse på personers komfort og præstationsevne.

Parametrene 'lufttemperatur', 'strålingstemperatur' og 'luftfugtigheder/træk' har som regel størst betydning. Den samlede påvirkning fra lufttemperatur og strålingstemperaturer udtrykkes ved operativ temperatur, og det er denne der refereres til i relation til termisk indeklima i normer og standarder (Vorre, 2021).

En persons oplevelse af termisk komfort afhænger også af deres påklædning og aktivitetsniveau. Om sommeren, hvor vi normalt har mindre eller lettere tøj på, er den ønskede temperatur typisk højere sammenlignet med om vinteren. Træk opstår, når kropsdele nedkøles på grund

af luftstrømme, og denne oplevelse forværres ved øget lufthastighed og lavere temperaturer. 'Den relative luftfugtighed' spiller også en rolle i både det termiske og atmosfæriske indeklima. Lav luftfugtighed kan føre til irritation som tørhed i hænder, øjne og slimhinder, men det kan også skabe en følelse af friskhed i luften. Omvendt kan høj relativ luftfugtighed give en fornemmelse af tung luft og få et varmt rum til at virke endnu varmere (Vorre, 2021).

I skolelokaler og lignende fællesrum er problemer med lav relativ luftfugtighed sjældne, da den naturlige fugtafgivelse fra personer normalt opretholder en relativ luftfugtighed typisk over 20%, og der ofte er rigelig luftudskiftning ved hjælp fra ventilation til at holde den under 60%, hvilket anses for et behageligt niveau (Vorre, 2021).

2.1.2 Atmosfærisk indeklima

'Det atmosfæriske indeklima', også kendt som luftkvalitet, er afgørende for et behageligt og sundt miljø. Luftkvaliteten påvirkes af flere faktorer, herunder iltindhold, fugtighed, lugtstoffer samt forureninger fra mennesker, inventar og byggematerialer. Luftudskiftning og dermed fortynding og bortventilering af de atmosfæriske belastninger som CO₂, PCB, asbest og andre miljøfremmede stoffer er vigtigt for at sikre det atmosfæriske indeklima. I bygninger, hvor forureningen primært stammer fra mennesker, kan CO₂-koncentrationen fungere som en pålidelig indikator for bioeffluenter, som er de stoffer der forurener luften fra personers udånding (Vorre, 2021).

2.1.3 Akustisk indeklima

Akustikken i skolers indeklima omfatter både reduktion af støj i lokalet og udenfor, samt sikring af klar taleforståelse. (Vorre, 2021) påpeger, at det er vigtigt at opretholde den rette balance, hvor rummet reducerer uønsket støj fra eksterne kilder, som installationer og trafik, samtidig med at det ikke dæmper lyden så meget, at taleforståelsen forringes. Ved renovering eller nybyggeri er det essentielt at vurdere de akustiske forhold, både indenfor bygningen og dens omgivelser, og planlægge de relevante akustiske tiltag.

2.1.4 Visuelt indeklima

'Det visuelle indeklima' fokuserer primært på aspekter som dagslysmængde, fordeling af lys, udsyn til omgivelserne, elektrisk belysning og blænding. Dagslysets tilstedeværelse, udsynets kvalitet og den elektriske belysnings design har en afgørende indflydelse på vores daglige rytme, sundhed og præstationsevne (Vorre, 2021). Når det kommer til dagslys, er mængden og fordelingen af lys på arbejdsfladen af største betydning. Derfor bør vinduer være placeret så de sikrer et god lysindfald på de vigtigste områder som skoleborde og tavler, dog med hensyn til, at selv de mindste elever stadig kan nyde udsigten. Den elektriske belysning træder til, når dagslyset ikke er tilstrækkeligt. Bygningsreglementet stiller krav om dagslysstyring på

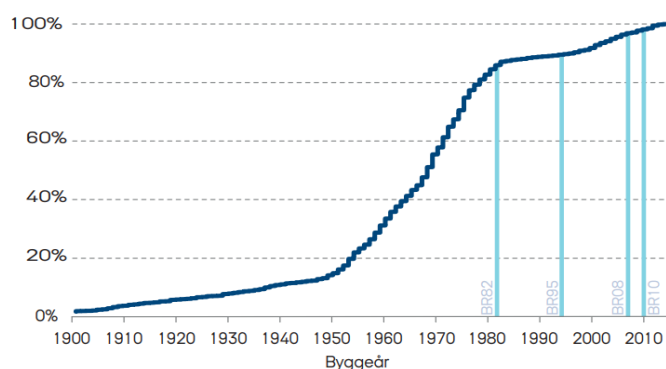
nye anlæg og ved udskiftning af eksisterende belysningsanlæg. Desuden kan justering af farvetemperaturen bidrage til at efterligne dagslysets variationer, hvilket hjælper med at opretholde en sund døgnrytme (Vorre, 2021).

Lysets fordeling i klasselokalet og muligheden for at skabe forskellige belysningsscenarier kan støtte undervisningsmetoder ved at skabe forskellige atmosfærer og guide eleverne til, hvor de skal rette deres opmærksomhed hen.

2.2 indeklimaets udfordringer

Indeklimaet har det dårligt på de danske skoler og noget tyder på, at størstedelen af de danske folkeskolars bygningsmasse er forældet i henhold til nutidens krav. Undersøgelser viser, at i størstedelen af klasseværelserne i hele landet bliver grænseværdierne for især CO₂ og støj overskredet i store dele af undervisningstiden, ligesom der ofte er utilstrækkeligt lys. Det påvirker børnenes indlæring og trivsel. Et usundt indeklima resulterer i tabt udbytte af undervisningen (Jensen, 2021). Faktiske tal fra (Jensen, 2021) viser, at 90% af landets folkeskoler er bygget før 1995, hvor der ingen krav var om ventilation, og at 91% af klasseværelsernes i de danske folkeskoler oplever, at CO₂-niveauet dagligt overstiger grænseværdien på 1.000 ppm. i 47% af brugstiden i klasseværelserne. Undersøgelserne viser, at eleverne i 63% af brugstiden opholder sig i et lydtrykniveau over 63 dB, og at der i 49% af klasseværelserne i brugstiden er et belysningsniveau lavere end grænseværdien 300 lux.

Fordelingen for opførelsen af de danske folkeskoler strækker sig fra før 1800-tallet til i dag. Nedenstående Figur 2 viser den kumulative areal-andel af skolebygningerne efter alder. Figur 2 viser også i hvilke år de forskellige bygningsreglementer trådte i kraft. Ca. 50% af skolebygningerne blev bygget i 1960'erne og 1970'erne, og ca. 10% af bygningerne er blevet bygget efter at der for første gang optrådte krav til ventilation i lokaler i Bygningsreglementet fra 1995, BR95, og under 5% af skolebygningerne er opført herefter (Jensen, 2021). Størstedelen af skolebygningerne er forældede i forhold til nutidens standarder og det er her udfordringen ligger. Der er således et behov for opgradering af skolerne på de områder som har indflydelse på indeklimaet for, at kunne bringe skolernes indeklima op på et acceptabelt niveau og sikre gode rammer for landets folkeskoleelever (Vorre, 2021).



Figur 2, Akkumuleret areal over folkeskolebygninger i Danmark (Vorre, 2021)

2.3 Termisk Indeklima

I det følgende afsnit redegøres der for, hvorfor børn og unge er særligt udsatte ved påvirkning af dårligt termisk indeklima, samt hvilke konsekvenser det kan have for deres sundhed, trivsel og evne til at tilegne sig ny viden i skolen.

2.3.1 Børn er særligt udsat ved påvirkning af dårligt termisk indeklima

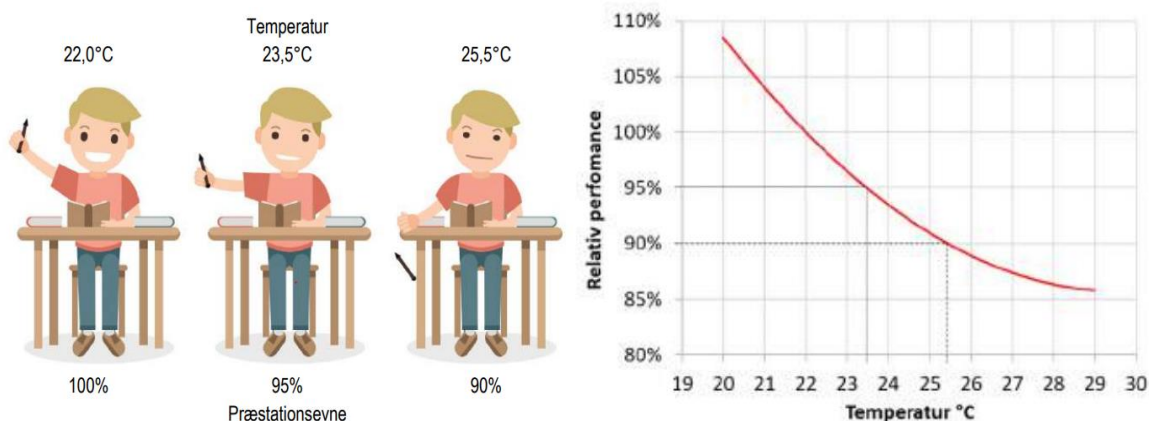
Børn har ofte forskellige termiske behov og tolerance i forhold til voksne. Dette skyldes primært forskelle i kropsstørrelse, stofskiftehastighed og evne til at regulere kropstemperaturen (Pawel Wargocki D. P., 2017). Børn har normalt en større overflade-til-volumen-forhold end voksne, hvilket betyder at de kan føle sig koldere hurtigere i kølige omgivelser og varmere hurtigere i varme omgivelser. Derudover har børn en højere stofskiftehastighed, hvilket betyder at de genererer mere varme, men de har også en mindre evne til at regulere deres kropstemperatur sammenlignet med voksne.

Det siges ofte at børn er mere tilbøjelige til at blive syge af træk end voksne. Dette skyldes primært, at børns immunsystem stadig er under udvikling, hvilket gør dem mere sårbare over for luftbårne patogener. Desuden kan børns kropsvarme forsvinder hurtigere i trækfulde omgivelser på grund af deres mindre størrelse og højere overflade-til-volumen-forhold, hvilket kan resultere i en opfattelse af kulde og øget risiko for at blive syge. Dog er det vigtigt at bemærke, at træk i sig selv ikke direkte forårsager sygdom. Sygdom opstår, når en person udsættes for patogener, og deres immunsystem ikke kan bekæmpe dem effektivt (Pawel Wargocki D. P., 2017).

2.3.2 Indlæringsmæssige konsekvenser af dårligt termisk indeklima

Skolebørn, der udsættes for dårligt termisk indeklima, kæmper ofte med at bevare deres koncentration og opmærksomhed i klasseværelset, hvilket kan resultere i både nedsat indlæring og dårligere akademisk præstation. Denne manglende evne til at fokusere kan føre til distraheret og irriteret adfærd hos børnene, hvilket igen kan forstyrre undervisningen og påvirke både deres egen og deres klassekammeraters læring negativt. Studier viser (Vorre, 2021), at hvis temperaturen i lokalet stiger fra 22°C til 23,5°C falder elevernes præstation til 95%, og kommer temperaturen op på 25,5°C er præstationsevnen faldet til 90%. Sænkes temperaturen i klasselokalerne omvendt til knap 20,7°C vil præstationsevnen forøges til 105%. I studiet af (Wargocki, 2019) bemærkes det, at den optimale temperatur for børn ligger lavere end for voksne. Børn befinder sig ofte godt ved 20-21°C, hvilket af de fleste voksne vil blive opfattet som koldt og derfor vil der være en afvejning mellem hensynet til eleverne og læreren.

Nedenstående figur illustrere sammenhængen mellem temperatur i et undervisningslokale og præstationsevnen for skoleelever.



Figur 3, Præstationsevnen for skoleelever falder ved stigende temperatur. Der ses et fald i præstationsevne på 5% når temperaturen stiger fra 22,0°C til 23,5°C og på 10% når den stiger til 25,5°C (Vorre, 2021)

2.4 Atmosfærisk Indeklima

I det følgende afsnit redegøres der for, hvorfor børn og unge er særligt udsatte ved påvirkning af dårligt atmosfærisk indeklima, samt hvilke konsekvenser det kan have for deres sundhed, trivsel og evne til at tilegne sig ny viden i skolen.

2.4.1 Børn er særligt udsat ved påvirkning af dårligt atmosfærisk indeklima

Hvis man kigger på børn der er udsat for forhøjede koncentrationer af miljøfremmede stoffer i luften, så er børn mere følsomme sammenlignet med voksne. Børn har generelt en højere respirationsfrekvens end voksne, hvilket betyder, at de indånder og udånder mere luft i forhold til deres kropsvægt. Hvis der er høje niveauer af CO₂, PCB eller andre miljøfremmede stoffer i luften, vil børn derfor indånde større mængder af dette end voksne i samme miljø, og påvirkningen af de forhøjede koncentrationer vil have en større procentuel effekt på deres systemer sammenlignet med voksne. Samtidig med at børn har en generelt højere respirationsfrekvens end voksne (Jensen, 2021).

Børn har ofte en tendens til at være mere aktive og udforskende end voksne ved eksempelvis lege på gulve, røre ved overfaldere og nærmere interaktion med omgivelserne, hvilket kan øge deres eksponering for forurenende stoffer i miljøet. De kan også være mindre opmærksomme på hygiejnepraksis, hvilket kan øge risikoen for infektioner og sygdomme i et dårligt indeklima, da børns immunsystemer stadig er under udvikling. Dette gør dem mere sårbare over for sygdomme og allergiske reaktioner forårsaget af eksempelvis skimmel, asbest, PCB og andre forurenende stoffer, der kan findes i dårligt indeklima. Børn tilbringer også typisk mere tid indendørs i skoler og institutioner end voksne gør på arbejdspladser. Børn er grundet dette betragteligt mere eksponeret for dårligt indeklima end voksne. De sundhedsmæssige

konsekvenser denne eksponering kan have hos børn, er øget forekomst af allergier, astma, luftvejsinfektioner og andre åndedrætsrelaterede lidelser (Jensen, 2021).

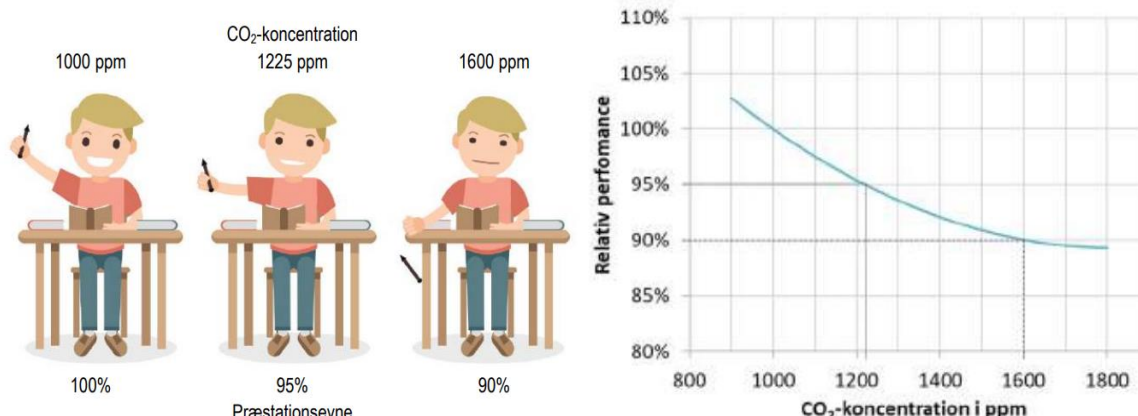
Det er påvist at høje niveauer af CO₂ i luften kan påvirke børns kognitive funktioner som koncentration, opmærksomhed og præstation. Dette kan have en større indvirkning på børns evne til at lære og huske information, da deres hjerner stadig udvikler sig. Hos børn der opholder sig i dårlige atmosfæriskindeklimaforhold, vil konsekvenserne udmærke sig som generel ubehag, træthed, hyppigere sygdomshændelser og øget fravær fra skolen. Dette kan påvirke deres sociale interaktioner, humør og resulterer i nedsat indlæringssevne og lavere akademiske præstationer (Vorre, 2021).

2.4.2 Indlæringsmæssige konsekvenser af dårligt atmosfærisk indeklima

Dårligt atmosfærisk indeklima kan have betydelige konsekvenser for skolebørn og deres indlæring. Skolebørn der udsættes for dårlig luftkvalitet kan opleve vanskeligheder med at opretholde koncentrationen og opmærksomheden i klasseværelset, hvilket fører til hyppige afbrydelser i deres læring og en forringelse af deres evne til at absorbere og forstå ny information. Desuden kan utilstrækkelig ventilation og tilstedeværelsen af skadelige stoffer i luften resultere i, at skolebørn føler sig trætte og døsig i løbet af skoledagen. Denne træthed og døsigheid kan gøre dem mindre engagerede og produktive i deres skolearbejde, hvilket igen kan påvirke deres evne til at lære og tilegne sig ny viden. Udover disse effekter kan dårlig luftkvalitet også føre til generelt ubehag blandt skolebørn, såsom hovedpine, irritation af øjne, næse og hals samt generel utilpashed. Dette kan resultere i et ugunstigt læringsmiljø, hvor børnene har svært ved at trives og yde deres bedste (Pawel Wargocki D. P., 2017).

Studier viser et fald fra 100% til 95% i præstationsevne, hvis CO₂-koncentrationen stiger fra 1000 ppm til 1220 ppm, mens præstationsevnen falder til 90% ved CO₂-koncentration på 1600 ppm. Ved at sænke CO₂-koncentrationen til 900 ppm opnås en præstationsevne på 103%. (Vorre, 2021) Der er altså solid forskningsbaseret dokumentation for, at flygtige stoffer i et klasselokal er ansvarlig for de observerede negative virkninger på den kognitive præstation. Emissioner fra mennesker såvel som emissioner fra byggematerialer og inventar har en negativ indvirkning på den kognitive præstation. Derfor er tilstrækkelig ventilation med udeluft, der fjerner og reducerer koncentrationen af luftbårne forureninger, foreløbigt den bedste tilgang til at opretholde præstationsniveauet.

Nedenstående Figur 4 viser, at præstationsevnen for skoleelever falder ved stigende CO₂-koncentration. Der ses et fald i præstationsevne på 5% når CO₂-koncentrationen stiger fra 1000 ppm til 1225 ppm og på 10% når den stiger til 1600 ppm (Pawel Wargocki D. P., 2017).



Figur 4, Præstationsevnen for skoleelever falder ved stigende CO₂-koncentration. Der ses et fald i præstations- evne på 5% når CO₂-koncentrationen stiger fra 1000 ppm til 1225 ppm og på 10% når den stiger til 1600 ppm (Vorre, 2021)

2.5 Akustisk Indeklima

I det følgende afsnit redegøres der for, hvorfor børn og unge er særligt udsatte ved påvirkning af dårligt akustisk indeklima, samt hvilke konsekvenser det kan have for deres sundhed, trivsel og evne til at tilegne sig ny viden i skolen.

2.5.1 Børn er særligt udsat ved påvirkning af dårligt akustisk indeklima

Der er solid forskningsmæssig dokumentation for, at et højt støjniveau er endnu mere generende for børn end for voksne. Forskningen tyder nemlig på, at især små børn tager alt ind, og at børn er dårligere til at adskille lydssignaler fra hinanden. Det resulterer i, at de har svært ved at skele en stemme blandt andre der snakker og kan ikke holde opmærksomheden på netop den stemme der er vigtig for samtalen eller undervisningen. Det medfører, at støj svækker børns evne til at koncentrere sig, da de vil have svært ved at holde fokus i undervisningen (Donald G. Jamieson, 2004)

Børns manglende erfaring med sproget gør, at de har sværere ved at gætte sig til endelser, manglende ord og betydningen af det der bliver sagt ud fra sammenhængen. Dette skyldes, at de ikke mestrer sproget så godt som voksne. Børn har et mindre ordforråd og er dårligere til at trække på deres sproglige viden end voksne. (Donald G. Jamieson, 2004)

Forskningen viser, at to-sprogede børn er dobbelt ramt, fordi de har ikke behersker dansk så godt. Og dansk er svært grundet, at vi det danske sprog har rigtig mange vokaler, og vi udtaler vores ord utydeligt (Maria Klatte, 2013).

2.5.2 Indlæringsmæssige konsekvenser af dårligt akustisk indeklima

Støj i klasselokalet har negativ betydning for taleforståelighed, generel forståelse og hukommelse, men der findes kun sparsom dokumentation for, at det påvirker ikke-verbale opgaver som læsning, skrivning eller matematik (Arianna Astolfi, 2012). Børns evne til at forstå mundtlig information bliver mindre, når der er støj i klasselokalet. Støj, der distraherer opmærksomheden, såsom trafik, flystøj eller baggrundstale, kan have negative virkninger, selv ved lave dB-niveauer. Da børns interaktion med lærerne primært er verbal er det indlysende, at taleforståeligheden påvirker undervisningens kvalitet og dermed udbyttet af undervisningen.

(Donald G. Jamieson, 2004) har påpeget, at yngre børn er mere påvirkede end ældre børn og voksne. Studier har vist, at støj i klasselokalet har større negative virkninger på taleforståelsen hos yngre børn. Dette skyldes, at ældre børn og voksne har et højere sprogligt niveau, hvilket gør dem i stand til at gætte, hvad uforståelige ord kunne have betydet. Deres kommunikation påvirkes derfor ikke i så høj grad af støjen i klasselokalet, hvilket gør dem mindre følsomme over for dens virkning.

Børn med hørenedsættelse eller særlige behov samt tosprogede børn, påvirkes i højere grad negativt (Geffner, 1996). Børn der har vanskeligheder med at høre andres tale eller af andre årsager skal fokusere på at lytte eller forstå det talte sprog, præsterer dårligere end andre under påvirkning af støj i klasselokalet. Det er påvist, at vedvarende høje støjniveauer fører til ringere læsefærdigheder over tid.

Længere efterklangstid i undervisningslokaler forværrer de negative effekter ved forhøjede støjniveauer (Klatte, 2010). Børns sprogforståelse forringes jo længere klasseværelsets efterklangstid er (Pawel Wargocki D. P., 2021).

2.6 Visuelt indeklima

I det følgende afsnit redegøres der for, hvorfor børn og unge er særligt udsatte ved påvirkning af dårligt visuelt indeklima, samt hvilke konsekvenser det kan have for deres sundhed, trivsel og evne til at tilegne sig ny viden i skolen.

2.6.1 Børn er særligt udsat ved påvirkning af dårligt visuelt indeklima

Lys er en af de vigtigste betingelser for liv og vækst. For børn er det essentielt at der skabes optimale lysforhold helt fra starten. Børns aktiviteter, som er synskrævende, er lyskrævende. Den valgte belysningsløsning kan have betydning for, om barnet udvikler sig optimalt. (Anne Jacobsen, 2020).

Lys spiller en afgørende rolle i menneskers daglige liv og har en betydelig indvirkning på vores humør, præstationer, indlæring og generelle sundhed. Det er blevet anerkendt gennem årtier af forskning, at belysning ikke kun tjener et praktisk formål med at oplyse vores omgivelser, men også har dybtgående psykologiske og fysiologiske effekter på os (Rasmus Juul, 2013).

Børn er en særlig sårbar gruppe når det kommer til lys, og dets påvirkning på deres velbefindende. Deres visuelle system og synsfunktion er ikke fuldt udviklet ved fødslen og gennemgår betydelige ændringer gennem barndommen og teenageårene. Faktisk er børns syn først fuldt udviklet omkring 14-årsalderen, hvilket betyder, at de opfatter og reagerer anderledes på lys end voksne (Rasmus Juul, 2013).

Nyere forskning og studier understreger, at børn er langt mere følsomme og påvirkelige over for lys end voksne. Deres øjne og visuelle system er mere modtagelige over for ændringer i lysintensitet, farve og retning.

Det er derfor afgørende at tage hensyn til børns særlige behov og følsomhed over for lys, når man planlægger belysning i børnevenlige omgivelser som skoler, børnehaver og legeområder. Ved at forstå og tilpasse belysningen til børns unikke behov kan vi sikre, at de trives, udvikler sig optimalt og får en positiv oplevelse i deres daglige aktiviteter (Rasmus Juul, 2013).

2.6.2 Indlæringsmæssige konsekvenser af dårligt visuelt indeklima

Dårlig kunstig belysning kan have en række udfordringer og konsekvenser for børn, især når de tilbringer mange timer i skolen. I Danmark hvor mængden af dagslys skifter meget i forbindelse med forskellige årstider, er det vigtigt at kunne regulere kunstlysets styrke.

Belysningen anses generelt for at være skadelig for børn i skolealderen, når den er utilstrækkelig til at støtte deres læring og trivsel. Dette kan omfatte belysning, der er for svag, for dæmpet eller for ujævn med et dårligt udstrålmønster. Det kan også være belysning der er for kraftig, som blænder, belysning der skaber skygger eller lys med forkert farvetemperatur.

Nogle af de konsekvenser der ses ved generel dårlig kunstigbelysning hos børn er, at utilstrækkelig belysning kan medføre flere udfordringer for øjnene og påvirke deres visuelle komfort og præstationer. Manglende kontrast mellem tekst og baggrund kan gøre det være svært for øjnene at skelne detaljer, hvilket kan føre til overanstrengelse af øjenmusklerne. Dette kan yderligere forværres af øget blænding, især ved skarpe kontraster mellem lyse og mørke områder, som kan forårsage ubehag og irritation i øjnene (Michael Mott, 2012).

Derudover kan utilstrækkelig belysning resultere i forringet synsskarphe, hvor øjnene skal anstrenge sig mere for at se klart, hvilket kan føre til træthed over tid. Dette kan også medføre nedsat synskomfort, hvor øjnene oplever generel ubehag og irritation på grund af mangel på tilstrækkelig belysning. Symptomer som hovedpine, tørre øjne og generel ubehag kan opstå i sådanne situationer (Michael Mott, 2012).

Endvidere kan øjenbelastning forårsaget af dårlig belysning påvirke læsehastigheden og forståelsen af det læste materiale. Når øjnene bliver trætte og irriterede kan det være svært at opretholde fokus og forstå det læste materiale effektivt. Studier viser, at børn i en testgruppe lavede 20,8% færre fejl i en koncentrationstest under høj belysningsstyrke (>1000 lux) sammenlignet med dem under "standard" belysning på 300 lux (Claus Barkmann, 2012). En anden undersøgelse viste, at "fokus" belysning med 1000 lux øgede evnen til at læse en tekst højt

med 36%, sammenlignet med 17% under normal belysning (500 lux) (Michael Mott, 2012). Både en stigning i belysningsstyrken og belysningens farvetemperatur bidrog til bedre læse-udbytte.

De omtalte udfordringer understreger vigtigheden af at have tilstrækkelig og passende belysning for at opretholde øjenkomfort og optimere visuel præstation. For at undgå disse problemer bør skoler og institutioner sørge for at have tilstrækkelig og passende belysning i klasseværelser og andre områder, hvor børn tilbringer tid. Dette kan omfatte tilstrækkeligt dagslys, kunstigt lys af høj kvalitet og justerbare lysindstillinger for at imødekomme børns behov gennem dagen.

2.7 Hvad er et godt indeklima?

I afsnit 2.7 vil de teoretiske forståelser for et godt indeklima i undervisningslokaler blive redegjort, hvilket omfatter de centrale principper og anbefalinger for at sikre et sundt og produktivt læringsmiljø i undervisningslokalerne.

2.7.1 Termisk indeklima

I undervisningslokalet er både temperatur og luftfugtighed nøje kontrolleret og opretholdt på niveauer, der er behagelige for stillesiddende aktiviteter. Dette skaber en komfortabel atmosfære, der er velegnet til forskellige former for arbejde eller afslapning, hvor eleverne ikke bliver forstyrret af ekstreme temperaturer eller tør luft.

For at sikre, at temperaturen i undervisningslokalerne forbliver jævn og behagelig, er vinduer og facader designet til ikke at forårsage kuldnedfald eller have kolde overflader. Samtidig er vinduerne tæt lukkede, og ventilationssystemet er omhyggeligt designet for at undgå generende træk, der kan påvirke brugernes komfort. Dette skaber et behageligt miljø uden ubehagelige luftstrømme, hvilket er ideelt for langvarigt ophold eller koncentration.

Derudover er der mulighed for solafskærmning eller på anden måde at kunne kontrollere dagslysindfaldet, hvilket giver brugerne kontrol over mængden af sollys, der kommer ind i rummet. Dette er særligt vigtigt for at undgå overophedning og for at skabe en behagelig atmosfære, hvor lyset er behageligt og ikke blændende. Denne omhyggelige håndtering af sollys sikrer, at rummet forbliver behageligt og funktionelt under forskellige lysforhold og tidspunkter på dagen (Jensen, 2021).

2.7.2 Atmosfærisk indeklima

Luftkvaliteten i et lokale anses for at være af høj standard, hvis CO₂-niveauet opretholdes på et lavt niveau ved hjælp af god ventilation og et højt luftskifte. Dette bidrager til en behagelig og sund atmosfære ved at sikre, at indåndingsluften er frisk og rig på ilt. Samtidig er partikel-forurening næsten ikke eksisterende, hvilket betyder at luften er fri for små partikler, der potentielt kan forårsage sundhedsmæssige problemer og nedsætte luftkvaliteten. Dette opnås ved effektiv ventilation og filtreringssystemer der sikrer, at partikler holdes på et minimum. Det er dog vigtigt, at ventilationen ikke forårsager gener som træk, kuldenedfald eller unødigt støj.

Desuden er mængderne af afdampede kemiske stoffer til luften og kemikalier bundet til støvpartikler holdt på et minimumsniveau. Dette er afgørende for at sikre, at luften ikke indeholder skadelige kemikalier, der kan påvirke brugernes sundhed og trivsel. Ved at minimere disse kilder til forurening opretholdes en ren og sikker luftkvalitet.

Endelig er luften også fri for svamp, hvilket er afgørende for at undgå problemer som skimmelsvamp og andre mikrobielle vækster, der kan forringe luftkvaliteten og forårsage allergiske reaktioner eller andre sundhedsmæssige problemer. Denne omhyggelige vedligeholdelse af luftens renhed skaber et behageligt og sundt miljø for alle, der opholder sig i rummet (Jensen, 2021).

2.7.3 Akustisk indeklima

I undervisningslokalet er lydmiljøet nøje tilpasset rummets funktion for at sikre den bedste mulige akustik. Dette opnås blandt andet ved at tilpasse efterklangstiden, hvilket er afgørende for at skabe et behageligt og funktionelt lydmiljø. Ved at justere efterklangstiden kan man kontrollere, hvor længe lyden forbliver i rummet efter at have ramt overfladerne, hvilket kan have stor indflydelse på lydens klarhed og forståelighed.

Desuden er der i rummet et lavt maksimalt lydtryksniveau, hvilket betyder at lyden ikke når skadelige niveauer, der kan forstyrre brugernes komfort eller forårsage høreskader. Dette er afgørende for at skabe et sikkert og behageligt miljø, hvor lydniveauet forbliver inden for acceptable grænser.

Endvidere er der også taget hensyn til støjniveauet udefra og fra eventuelle installationer i undervisningslokalet. Ved at minimere udefrakommende støj og støj fra interne systemer sikres det, at eleverne ikke bliver forstyrret af unødvendig støj, hvilket bidrager til et mere behageligt og produktivt miljø. Denne omhyggelige håndtering af lydmiljøet er med til at skabe et optimalt arbejds- eller opholdsmiljø, hvor lyd-kvaliteten er i harmoni med rummets funktion og brugernes behov.

2.7.4 Visuelt indeklima

I undervisningslokalet er belysningen omhyggeligt designet for at sikre en behagelig og funktionel atmosfære. For det første er der tilstrækkeligt dagslys, hvilket ikke kun skaber en lys og indbydende atmosfære, men også bidrager til elevernes trivsel og sundhed ved at give naturligt lys. Desuden er der opnået et ensartet lysniveau uden blænding. Dette sikrer, at lyset er jævnt fordelt i rummet og ikke forårsager ubehagelig blænding, hvilket kan forstyrre brugernes syn og aktiviteter.

Rummets elektriske belysning er nøje udvalgt for at give både generel belysning og koncentrationsskabende arbejdslys af høj kvalitet. Dette skaber et behageligt og funktionelt miljø, der er velegnet til forskellige aktiviteter fra afslapning til koncentreret arbejde. Endvidere er der taget hensyn til lysbehovene ved placeringen af forskellige aktiviteter i rummet, hvilket sikrer at lyset er optimalt tilpasset elevernes behov og aktiviteter. Den omhyggelige tilgang til belysning skaber en behagelig og funktionel atmosfære der fremmer trivsel, produktivitet og komfort for alle, der opholder sig i rummet.

2.7.5 Undervisningslokalet

Et undervisningslokale er omhyggeligt designet med hensyn til både funktionalitet og æstetik, hvilket afspejles i de valgte materialer og overflader, der både er hensigtsmæssige og indbydende. Dette omhyggelige valg af materialer og overflader bidrager til at skabe en behagelig og indbydende atmosfære, der imødekommer elevernes behov og skaber en positiv oplevelse af rummet. Desuden fremstår undervisningslokalet velholdt, rent og ryddeligt, hvilket er afgørende for at skabe et behageligt og professionelt miljø. Denne opmærksomhed på vedligeholdelse og rengøring bidrager til brugernes trivsel og komfort og skaber et indbydende miljø, der indbyder til brug.

Rummets størrelse og fleksibilitet er tilpasset antallet af brugere, hvilket sikrer, at der er tilstrækkelig plads og mulighed for at tilpasse lokalet efter forskellige behov og aktiviteter. Dette skaber en funktionel og tilpasningsdygtig ramme, der imødekommer brugernes skiftende krav og behov. Inventaret er nøje udvalgt for at understøtte de pædagogiske målsætninger, hvilket betyder, at det støtter op omkring undervisningens formål og målsætninger. Dette skaber et læringsmiljø, der er optimalt tilpasset til de planlagte aktiviteter og understøtter brugernes læring og udvikling. Endelig er lokalet placeret hensigtsmæssigt i forhold til øvrige faciliteter, hvilket sikrer nem adgang og samspil med andre områder og ressourcer. Denne placering bidrager til en effektiv og sammenhængende brugeroplevelse og skaber et rum, der integreres sømløst i den overordnede kontekst.

Samlet set er lokalet nøje designet og tilrettelagt for at imødekomme brugernes behov og skabe en funktionel, indbydende og veltilpasset ramme for diverse aktiviteter. Disse hensyn er afgørende for at sikre, at lokalerne kan fungere optimalt både med få og relativt mange personer til stede, hvilket understreger deres alsidighed og anvendelighed (Jensen, 2021).

2.8 Branchevejledning for indeklima i folkeskoler

Teknologisk Institut udgav i 2021 en Branchevejledning til indeklimaer i folkeskoler (Vorre, 2021). Formålet med Branchevejledningen er at forbedre indeklimaet i de danske skoler. Den beskriver og argumenterer for, hvorfor et fokus på indeklima i skoler er vigtigt og adresserer og håndterer forskellige aspekter af indeklimaet i skolebygninger med anvisning til bedste praksis for at sikre et sundt, behageligt og produktivt miljø for elever, lærere og ansatte. Branchevejledningen beskriver, hvilke specifikationer indeklimaet skal dimensioneres efter herunder ventilation, temperatur, luftfugtighed, belysning og akustik. Branchevejledningen 2021 fokuserer på indeklimaet i skolernes klasselokaler og områder til gruppearbejde. Vejledningens formål er at give aktørerne, der er involveret i skolebyggeri, et konkret værktøj at arbejde ud fra med et sæt retningslinjer og anbefalinger, der er udviklet til at sikre et sundt og behageligt indeklima i folkeskoler.

2.9 Krav og grænseværdier for indeklimaet

I bygningsreglementet BR18 indgår en række krav til indeklimaet i skoler både i forhold til termisk, atmosfærisk, akustisk og visuelt indeklima. Derudover indeholder bygningsreglementet krav til bl.a. energiforbrug og energieffektivitet, som kan påvirke løsningsmulighederne i forhold til etableringen af indeklimaet. Indeklimakravene i bygningsreglementet vil altid være gældende i forbindelse med nybyggeri, men vil også være gældende for de forhold der berøres i forbindelse med renovering af eksisterende byggeri. Udover bygningsreglementet opstiller Arbejdstilsynets bekendtgørelser (Arbejdstilsynet, u.d.) og vejledninger en række indeklimakrav.

Relationen mellem krav i bygningsreglementet og arbejdstilsynets bekendtgørelser og vejledninger kan være vanskelig. I det omfang byggeriet er omfattet af bygningsreglementet og lever op til kravene på opførelstidspunktet, så stiller arbejdstilsynet som udgangspunkt ikke krav udover bygningsreglementet krav på opførelstidspunktet. Dog kan der i eksisterende bygge-rier være forhold der er så langt fra nutidssvarende eller deciderede sundhedsskadelige, at Arbejdstilsynet alligevel går ind og opstiller påbud med udgangspunkt i deres bekendtgørelser og vejledninger. Det kunne eksempelvis være skolebygning med høje niveauer af miljøfremmestoffer i indeluften som PCB eller asbest.

Branchevejledningen for indeklima i folkeskoler (Vorre, 2021) opstiller forslag til kravspecifikationer til gavn for indeklimaet, alle de opstillede krav overholder de gældende krav i den danske lovgivning. Branchevejledning går længere end lovgivningen på flere parametre og er delt op i tre grupper, Br18, standard og standard+. I dette masterprojekt sammenholdes resultaterne fra renovering af Vibeskolen med de kravspecifikationer branchevejledningen opstiller, ved at sammenligne resultaterne med vejledningens krav vil det være muligt at få en indikation om, hvorvidt Nyborg kommune er endt med et acceptabelt resultat af renovering med udgangspunkt i at forbedre indeklimaet og indlæring miljøerne på skolen (Vorre, 2021). Der er dog gjort nogle afgrænsninger i forhold til antallet af parametre, som er udvalgt for dette projekt, da det ikke har været muligt at indeholde alle de opstillede parametre fra branchevejledningen for

indeklima i folkeskoler i projektet. Der er valgt at fokusere på de parametre som er vurderet mest relevante for netop dette projekt, de udvalgte parametre fremgår i tabel 1 herunder.

Tabel 1, Udvalgte kravspecifikationer fra Branchevejledning for indeklima i folkeskoler, disse kravspecifikationer benyttet som sammenligningsgrundlag i dette projekt (Mette Havgaard Vorre, 2021)

Klasselokaler

Indeklimaklasse	Standard+	Standard	BR18-krav	Minimum	Noter
Termisk indeklima					
Operativ temperatur i °C			≤ 261		
- sommer (maj – september)	22,0 – 25,5	22,0 – 26,0		22,0 – 26,5*	
- overgang (april og oktober)	21,0 – 25,5	21,0 – 26,0		21,0 – 26,5	
- vinter (november – marts)	21,0 – 24,5	21,0 – 24,5			
Atmosfærisk indeklima					
CO ₂ -koncentration i ppm	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1200*	Ved udeniveau på 400 ppm
Akustisk indeklima					
Efterklangstid i sekunder	≤ 0,4	≤ 0,6	≤ 0,6		
Visuelt indeklima					
Dagslys					
Korrigeret glas/gulv i % eller belysningsstyrke i lux	≥ 12 ≥ 300	≥ 10	≥ 10 ≥ 300	≥ 8	Glas under 55 cm over gulv tælles ikke med. Ved mindst halvdelen af det relevante gulvareal i mindst halvdelen af dagslystimerne jf BR18
Elektrisk belysning					
Belysningsstyrke i lux	≥ 500	≥ 300	≥ 300		Bør kunne justeres op til 500, hvis lokalet benyttes til aften eller voksenundervisning
Farvegengivelse for belysning, Ra-værdi	> 90	> 90	≥ 80	≥ 80	
Bygningens indretning					
Areal og rumindhold i normal-klasserum			6 m ³ pr. person		Br18 § 229

2.9.1 PCB

Sundhedsstyrelsen har fastsat klare retningslinjer for PCB-niveauer i bygninger for at beskytte brugernes sundhed. På grund af PCB sundhedsskadelige effekter har Sundhedsstyrelsen sat grænseværdier for, hvor meget PCB der må være i indendørs miljøer (Sundhedsstyrelsens, 2013).

Tabel 2, Sundhedsstyrelsens aktionsværdier for PCB (Sundhedsstyrelsens, 2013)

Forureningsgrad (beregnet som 5 x PCB7)	Anbefalet handling
Over 3.000 ng PCB/m ³ i indeklimaet	Det vurderes, at ophold i længere tid kan være forbundet med en betydende helbredsrisiko, og det må i de fleste sammenhænge betragtes som en nærliggende sundhedsfare. Det anbefales, at der gribes ind med kildefjernelse og/eller forsegling uden unødigt forsinkelse, også i bygninger, som kun anvendes dele af døgnet. Midlertidige afværgeforanstaltninger bør umiddelbart iværksættes. Disse vil sædvanligvis omfatte optimering af ventilation, temperaturregulering og intensiveret rengøring, afpasset efter det aktuelle rengøringsniveau og bygningens brug.
300 – 3.000 ng PCB/m ³ i indeklimaet	Det må antages, at ophold i længere tid kan medvirke til sundhedsskader. Det anbefales, at der umiddelbart iværksættes midlertidige afværgeforanstaltninger. De midlertidige foranstaltninger vil kun ved lette forureninger kunne forventes at nedbringe niveauet til under 300 ng/m ³ , hvorfor kildefjernelse og/eller indkapsling ofte vil være påkrævet. I prioriteringen af indsatsen bør følgende indgå: • Bygninger, som bruges af børn og yngre, prioriteres. • Bygningernes anvendelsesgrad og grad af forurening med PCB i intervallet 300-3000 ng/m ³ kan indgå. Bygninger, som kun anvendes en del af døgnet, bidrager kun til den enkelte PCB-belastning svarende til opholdstiden. • Bygninger, som anvendes af mange forskellige personer, men i de fleste tilfælde i kort tid for hver enkelt person (f.eks. gangareal og faglokaler i en skole), giver lavere belastning for den enkelte.
Under 300 ng PCB/m ³ i indeklimaet	Der er PCB i bygningen, men udsættelsen vurderes ikke at medføre en betydende forøget helbredsrisiko.

3. Bygnings case

I det følgende afsnit behandles bygningscasen for dette projekt, der tages udgangspunkt i indeklimarenoveringen af Vibeskolen i Ullerslev. Afsnittet beskæftiger sig med beskrivelser af den udvalgte skole og den konstruktionsopbygning, forundersøgelser for indeklimaet inkl. PCB og renoveringsforløbet og de valgte løsning der blev truffet i forbindelse med renoveringen.

3.1 Bygningsbeskrivelse

I det følgende afsnit beskrives bygnings indretning og funktioner.

Bygningens opførelses år: 1965

Samlet bygningsareal i m²: 10732 m²

Bygningens anvendelse: Grundskole

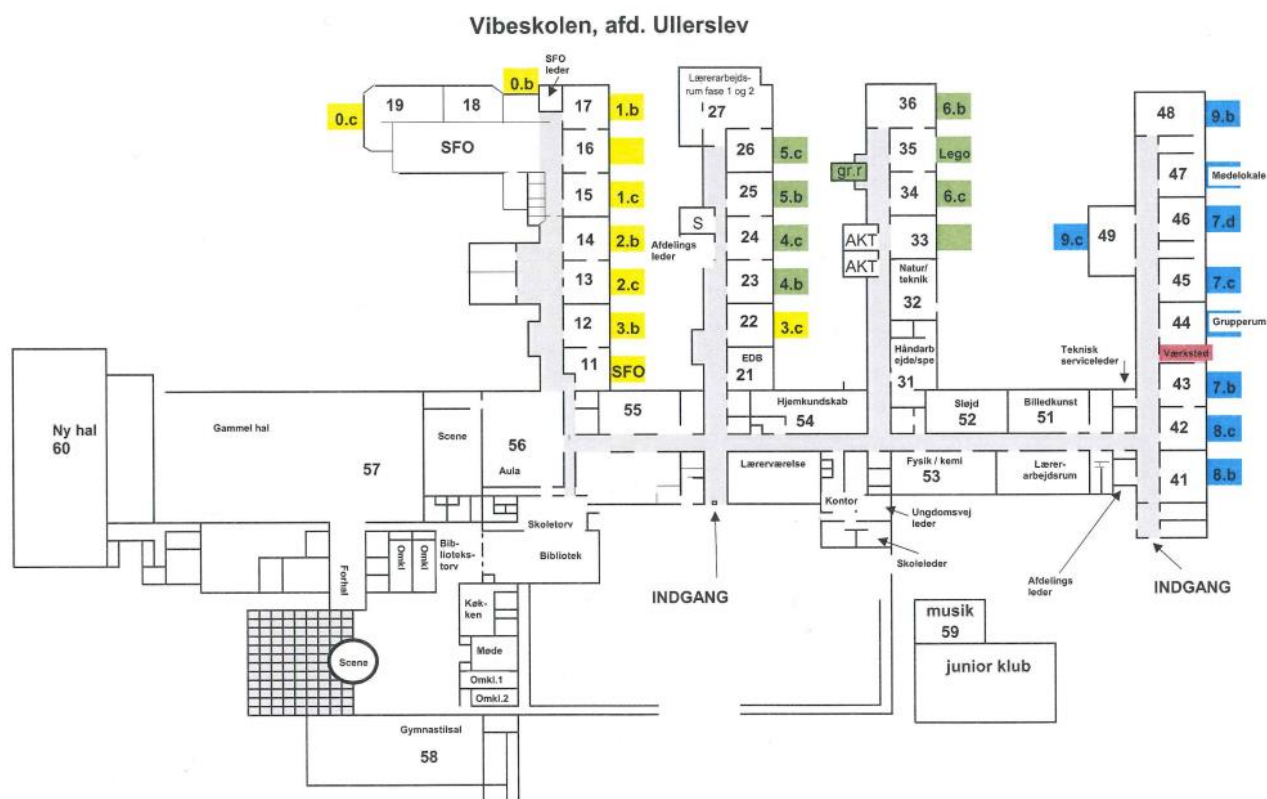
Energimærke: C

Vibeskolen i Ullerslev er en af otte folkeskoler i Nyborg kommune. Skolen er beliggende på skolevej 2, 5540 i Ullerslev. Skolen er centralt placeret i lokalsamfundet og ligger i forlængelse af Ullerslev idræts- og kulturcenter, Ullerslev Kulturhus indeholder to idrætshaller, motionscenter, bibliotek, cafeteria, møde- og klublokaler, m.m.

Ejendommen er 10723 m², hvor skolen råder over 5915 m² af disse. Ejendommen er opført i 1965 som skole og er senere blevet udbygget i 1980 til den størrelse den har i dag med idræts, kultur og biblioteket. Skolen har 430 elever i klassetrin 0-9 klasse, som er fordelt på fire undervisnings kamme 1,2,3 og 4, som alle er mere eller mindre ens. Det fremgår på nedenstående figur 5. Kam 1 er dog inklusiv SFO som udgør den største forskel på de fire kamme. Kam 1 huser de mindste elever som er klassetrin 0-3, kam 2 huser klassetrin 3-5, kam 3 huser klassetrin 5 og faglokaler og kam 4 huser klassetrin 7-9. Udover de fire undervisningskammer, så er der en hovedfordelingskam som fordeler ud til alle undervisningskammene og som inkluderer lærerværelse og læreforberedelse, flere faglokaler, kontorområde og pedelværksted.

Alle undervisningslokaler ligger på stribe med orientering mod syd/øst, den syd/øst vendte facade er bygget op med store glasfacadepartier som sikrer et godt dagslysindfald. Mod nord/vest ligger hver kams fordelingsgang som indeholder gode fællesområder og kroge til gruppearbejde.

Den resterende bygningsmasse er Ullerslev Kulturhus, som indeholder to idrætshaller, motionscenter, bibliotek, cafeteria, møde- og klublokaler, m.m.



Figur 5, Oversigtsplan for Vibeskolen afd. Ullerslev

3.2 Bygningskonstruktioner

Tagkonstruktionen

Tagkonstruktionen på Vibeskolen er udført som flade tage og er isoleret svarende til 100 mm mineraluld. Konstruktions- og isoleringsforhold er et skøn oplyst af bygherre, da der efter opførelsen har pågået en tagrenovering med ekstraisolering og ny tagpap.

Ydervægge

Gavlydervægge er udført som 35 cm hulmur. Vægge består udvendigt af tegl og indvendigt af letbeton. Hulrummet er isoleret ved opførelsen. Konstruktions- og isoleringsforhold er skønnet ud fra opførelsestidspunktet. Facadeydervæggene er udført som sandwichelementer med afsluttende udvendig overflade af søsten. Elementerne er isoleret med 50mm mineraluld. Samlingen mellem betonelementerne er udført som elastisk fuge, som var almindelig praksis på opførelsestidspunktet. Da skolen er opført i 1965, var det typisk, at de anvendte fuger indeholdt PCB, da den formodede primærperiode for anvendelse af PCB-holdige byggematerialer og byggevarer i byggeriet i Danmark var perioden 1950-1977.

Indervægge

De indvendige skillevægge er opført som betonelementer. Løsningen med betonelementer var en effektiv løsning til projektet, da der krævede stor styrke, holdbarhed og funktionel ydeevne grundet de store spændvidder fra den flade tagkonstruktion. Samlingen mellem betonelementerne er udført som elastisk fuge, som var almindelig praksis på opførelstidspunktet. Da skolen er opført i 1965, var det typisk, at de anvendte fuger indeholdt PCB, da den formodede primærperiode for anvendelse af PCB-holdige byggematerialer og byggevarer i byggeriet i Danmark var perioden 1950-1977.

Terrændæk

Terrændæk er udført af beton med slidlagsgulv. Gulvet er isoleret med 50 mm mineraluld/polystyrenplader under betonen. Konstruktions- og isoleringsforhold er skønnet ud fra opførelsestidspunktet.

Vinduer

Faste og oplukkelige vinduer med et eller flere fag. Vinduerne er monteret med tolags energirude med varm kant. Faste og oplukkelige vinduer med flere fag. Vinduerne er monteret med tolags energirude med kold kant.

Yderdøre

Facadepartier med glasdør, monteret med tolags energiruder med varm kant. Yderdøre med enkeltfagsvinduer, monteret med tolags energiruder med kold kant.

Ventilation

Skolen er opført med naturlig ventilation, luftskifte anslået til 0,6 l/s/m² bygningens tæthed anses som værende normal tæt.

Fjernvarme

Bygningen opvarmes med fjernvarme. Anlægget er udført som direkte fjernvarmeanlæg, med fjernvarmevand i fordelingsnettet. Anlægget er placeret ved hovedkam og Kam 4.

Varmefordeling

Den primære opvarmning af ejendommen sker via radiatorer i opvarmede rum. Varmefordelingsrør er udført som to-strengs anlæg.

Automatik

Til regulering af varmeanlæg er monteret automatik for central styring fra Fyns Energiteknik, hvor styringen er placeret i teknikrummet. Der er monteret urstyring til natsænkning af rumtemperaturen. Der er monteret termostatventiler på alle radiatorer til regulering af korrekt rumtemperatur.

3.3 Forundersøgelser af indeklimaet og screeningsundersøgelse PCB

Nyborg kommune blev i 2018 opmærksom på problemer med indeklimaet i kommunens folkeskoler.

Indeklimaet fik derfor stor politisk bevågenhed og der blev i budgetaftalen 2019 afsat midler med ønske om undersøgelse af indeklimaet i folkeskolerne i Nyborg Kommune. Politikernes ønske var et samlet overblik over indeklimaet, herunder en vurdering over, hvilke løsnings tiltag der kunne bringes i spil samt en vurdering af eventuelt fremtidige investeringer. De pågældende undersøgelser havde de fire indeklimaområder i fokus det 'termiske', 'atmosfæriske', 'akustiske' og det 'visuelle indeklima', som der er redegjort for i ovenstående afsnit.

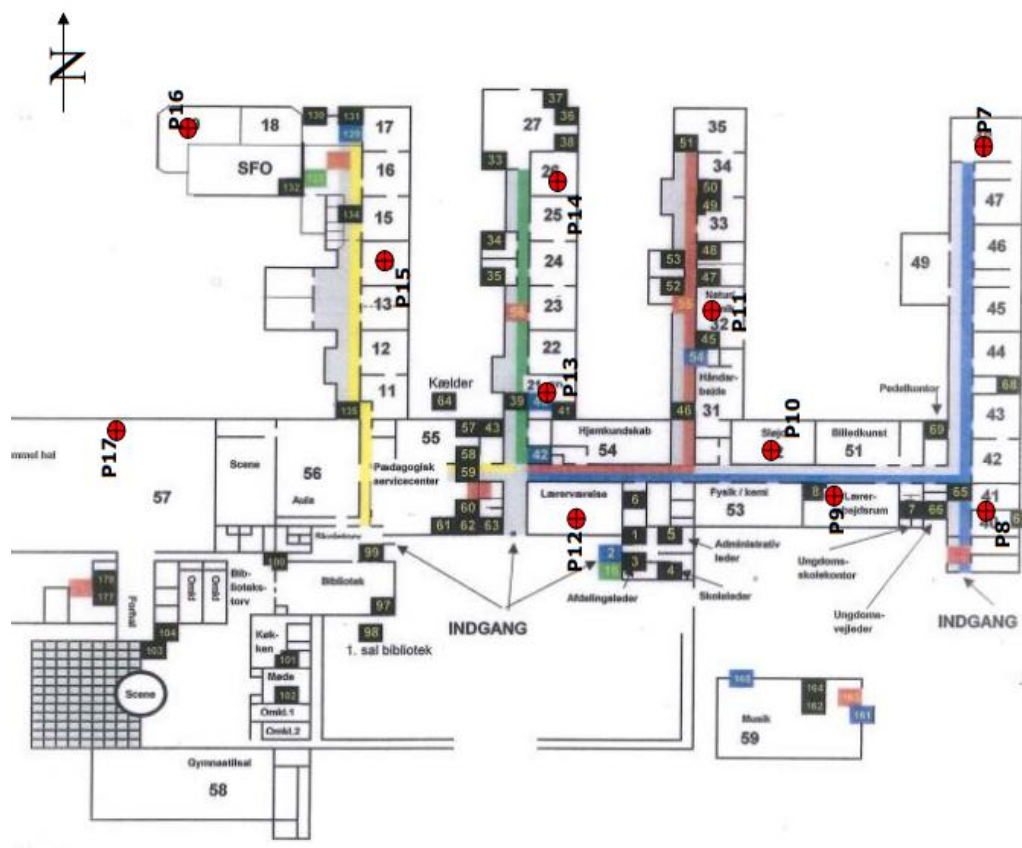
Forundersøgelserne på Vibeskolen afd. Ullerslev viste, at der på flere områder var væsentlige problemer med indeklimaet. Bygningsmassen var ikke opdateret til nutidig standard og levede derfor ikke op til hverken til vejledende grænseværdier eller krav der er på områderne, som de er i dag.

En af de mest fremtrædende bekymringer var utilstrækkelig ventilation, hvilket førte til høje niveauer af CO₂ i luften. Den naturlige ventilation skolen er opført med er ikke effektiv nok til den personbelastning undervisningslokalerne er underlagt. Desuden nåede temperaturen i lokalerne ofte høje niveauer i lange perioder i løbet af skoledagen. De mange elever i klasserne har en stor andel i de høje temperaturer, da de mange elever afgiver meget varme i relative små lokaler. Også de store vinduespartier spiller en afgørende rolle og da der ingen mulighed er for at regulere for solindstråling ved eksempelvis solafskærmning, er der svært at undgå perioder med høje temperaturer.

En anden væsentlig udfordring på folkeskolerne var den manglende kvalitet af den elektriske belysning. Lux-niveauet var konsekvent under de anbefalede 300 lux, undervisningslokalerne er dog hjulpet godt på vej af gode store vinduespartier som lukker meget dagslys ind. Det vil dog stadig være problematisk i de mørke månederne af året eller på overskyede dage, hvor der ikke er meget dagslys til stede. Derudover blev der også fundet problemer med støjniveauet i lokalerne af både skolens ledelse og medudvalget. Der var ved opførelse af skolen indtænkt akustik ved materialevalget af loftbeklædning, da de originale lofter er ståltrapezlofter med bagvedliggende mineraluld. Det kan dog konstateres, at de tiltag der er gjort for at opnå et godt akustisk indeklima ikke er tilstrækkeligt.

Nyborg kommune fik i 2014 udarbejdet en screeningsundersøgelse for PCB på Vibeskolen afd. Ullerslev, hvor ejendommen blev udvalgt på baggrund af opførelsesperiode og konstruktionsprincipper. Der var ikke tidligere undersøgt for indhold af PCB i hverken byggematerialer eller indeklimaet i ejendommen. Formålet med screeningen var indledningsvist at undersøge, om der kunne påvises indhold af PCB i indeluften i bygningen. I lokalerne, hvor prøverne blev udtaget, var der malede overflader i form af vægge, lofter og træværk (døre, vinduer, lister mv.), samt bløde gulvmaterialer. Derudover er der i hovedparten af lokalerne konstateret bløde

fuger mellem vægelementerne. I bl.a. disse materialetyper kan der tidligere være anvendt PCB, hvorfor der potentielt er risiko for afgasning af PCB fra disse til indeklimaet. Der blev udtaget 11 luftprøver, P7 til P17, i undervisningslokaler på skolen. Prøvetagningsstederne er angivet på situationsskitsen herunder på figur 6.



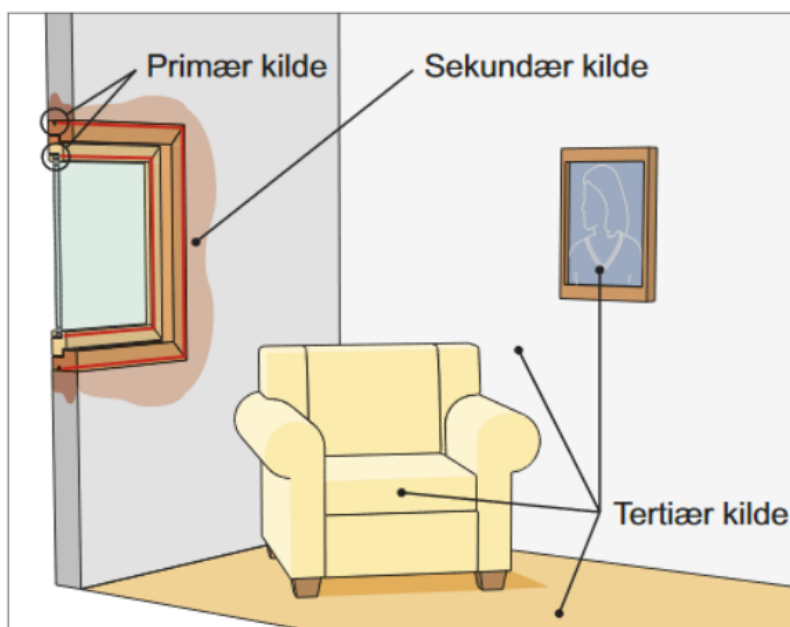
Figur 6, Oversigtsplan over placering af tidligere udførte PCB prøver

3.4 PCB's anvendelse og ageren

PCB er en blanding af i alt 209 forskellige kongener med 1 til 10 chloratomer på et skelet af to forbundne phenylringe. De enkelte kongener benævnes med et nummer, der stiger efter antallet af chloratomer og deres placering i molekylet. PCB 1, PCB 2 og PCB 3 er således betegnelserne for de tre letteste kongener, med kun et chloratom. De adskiller sig fra hinanden ved, at chloratomet sidder på forskellige steder i molekylet. PCB 209 er med ti chloratomer det tungeste PCB. Ved analyse af materialer for indhold af PCB analyserer man for 7 kongener: 28, 52, 101, 118, 138, 153 og 180. Mængden af disse syv kongener benævnes PCB7. Den samlede koncentration af alle 209 kongener, betegnet PCBTotal beregnes i tertiære forureninger som 5 gange koncentrationen af PCB7.

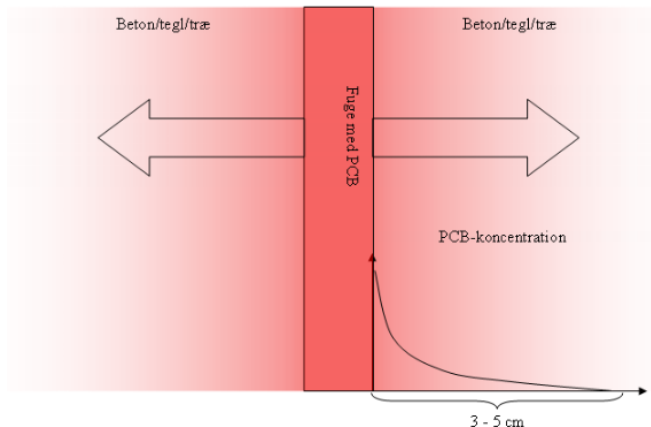
PCB har været anvendt som bl.a. blødgørere og brandhæmmere i en række byggematerialer fra ca. 1950 til 1. januar 1977 (Niels Trap, 2006).

I 1977 blev PCB forbudt i såkaldt åbne anvendelser. Med 'åbne anvendelser' menes anvendelser, hvor der er mere eller mindre direkte adgang til de PCB-holdige materialer som ved f.eks. forseglingslim i termoruder, elastiske fugemasser, lim, maling mv. (Andersen, Undersøgelse og vurdering af PCB i bygninger, Sbi 241, 2015). Frem til 1986 var det tilladt at anvende PCB i lukkede anvendelser i bl.a. transformatorer og kondensatorer (Miljøbeskyttelse, 2015). Man skelner mellem tre kategorier af PCB-holdige materialer, kaldet kilder; primære, sekundære og tertiære. 'Primære kilder' er materialer der fra starten har indeholdt PCB. Det kan være elastiske fuger, forseglingslim, maling, kondensatorer m.m. Primære kilder er karakteriserede ved en jævn fordeling af PCB i hele emnet. Koncentrationerne varierer meget fra 1000 – 5000 mg/kg i vindueskit omkring termruder til op til mellem 200.000 og 400.000 mg/kg (20 og 40 %) i elastiske fuger.



Figur 7, Illustration over de tre PCB kildetyper, primær kilde, sekundær kilder og tertiær kilde og hvor de eksempelvis kan finde i byggerier med PCB

'Sekundære kilder' er materialer der har været i direkte fysisk kontakt med primære kilder og er blevet forurenet med PCB via kontaktdiffusion. Typiske materialer er beton, tegl og karmtræ til døre og vinduer. Sekundære kilder er karakteriserede ved en kraftigt faldende koncentration af PCB fra kontaktfladen med den primære kilde. De højeste koncentrationer i sekundære kilder overstiger sjældent 1000 – 2000 mg/kg.



Figur 8, Skematisk fremstilling af dannelsen af sekundært forurenede kilder via kontaktdiffusion fra den primære kilde i form af en PCB-holdig fuge

I beton, kalksandsten og tegl aftager koncentrationen typisk til under 0,1 mg/kg inden for en afstand af 5 cm fra den primære kilde.

'Tertiære kilder' er materialer der er blevet forurenede med PCB via luften. Tertiære kilder er karakteriserede ved overfladenære forureninger med koncentrationer, der sjældent overskrider 100-200 mg/kg. Typisk aftager koncentrationen til under 0,1 mg/kg inden for en afstand på 5 mm fra den eksponerede overflade (Thomas Hougaard, 2014).

PCB fordampes langsomt fra de materialer, hvori PCB findes, og jo højere temperaturen er, jo større er fordampningen. PCB-koncentrationen i indeluften stiger med stigende temperatur, idet congenernes damptryk stiger. Studiet af (Hosomi, 2005) finder, at afdampningen stiger med ca. tre gange for hver 10 OC temperaturen stiger. Dette gælder for fordampning fra både kondensatorer med flydende opløsning af PCB og fra fugematerialer, hvor der er tale om en faststofopløsning.

Studier fra Birkhøjterrasserne i Farum Midtpunkt 2014 viser, at fordampningens temperaturafhængigheden kan forklare 67 procent af variationerne i indeluftmålingerne. Baseret på temperaturenafhængigheden der fandt sted i studiet, kan det forudsiges, at en PCB-koncentration i indeluften på ca. 700 ng PCB/m³ ved 18 °C vil stige til 925 ng PCB/m³ ved 20 °C og 1.600 ng/m³ ved 24 °C. PCB-koncentrationen i indeluften fordobles således, når temperaturen stiger fra 18 til 24 °C. Der ses derfor en sammenhæng mellem PCB-koncentrationen i luften, når temperaturen stiger (Andersen, Undersøgelse og vurdering af PCB i bygninger, Sbi 241, 2015).

Fordampningen af PCB fra et materiale er omtrent proportional med koncentrationen og falder med tiden efterhånden som koncentrationen i materialet falder. Faldet i både fordampning og tilbageværende koncentration som funktion af tiden er eksponentielt. Halveringstiden for naturlig afdampning af PCB fra primære kilder ligger i størrelsesordenen 10 –1000 år, mens den for sekundært og tertiært forurenede materialer typisk vil være 1 – 10 år, påpeger (Thomas Hougaard, 2014). Ved et startindhold på 50 mg PCB/kg skal koncentrationen halveres 9 gange, før den tilbageværende koncentration er nede på renhedskriteriet for PCB på 0,1 mg/kg, se figur 9

Antal halveringstider	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tilbageværende koncentration i %	100	50	25	12,5	6,25	3,13	1,56	0,78	0,39	0,2

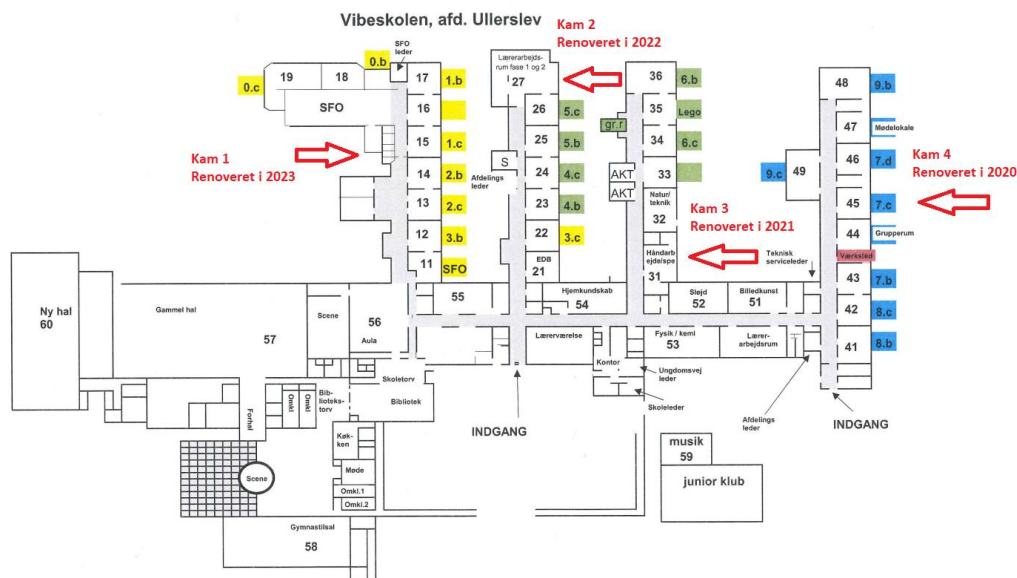
Tilbageværende koncentration i mg/kg ved startkoncentration på 50 mg/kg	50	25	12,5	6,25	3,13	1,56	0,78	0,39	0,20	0,10
---	----	----	------	------	------	------	------	------	------	------

Figur 9, Sammenhæng mellem antal halveringstider for et førsteordens henfald og den tilbageværende koncentration i forhold til udgangskoncentrationen.

3.6 Renoveringsforløb

Renovering af skolemiljøer er afgørende for at sikre en sund og inspirerende læringsoplevelse for eleverne. Selvom der i dag er et stort fokus på at forbedre indeklimaet i skoler for at fremme elevernes trivsel, sundhed og indlæring, vokser bevidstheden om behovet for at tænke bæredygtighed og energieffektivitet ind i renoveringsprojekter for at reducere den miljømæssige belastning og opnå langsigtede økonomiske besparelser.

Renoveringen af Vibeskolen afdeling Ullerslev var en omhyggelig og ambitiøs proces, der strakte sig over en fireårig periode. Som nævnt i afsnittet omkring bygningsbeskrivelsen, så består skolen af fire undervisningskamme, hvor der hvert år blev planlagt renovering af en undervisningskam. Projektet strakte sig derfor over en fireårig periode. Renovering pågik hvert år i sommerferien, hvilket krævede et grundigt fokus og omhyggelig planlægning for hvert trin i processen. For at kunne gennemføre så omfattende renovering på en så stram tidsperiode som dette projekt var underlagt, er det vigtigt at alle elementer og faser i byggeriet er tænkt ind. Grundlaget for at renoveringsperioden for alle etaper skulle ligge i skolens sommerferie var, at dette gav mulighed for at undervisningen kunne pågå uhindret indtil skolens eleverne gik på sommerferie, og skolen lukkede ned. Dette var afgørende for elevernes trivsel og læring samt det økonomiske aspekt i, at der ikke skulle afholdes omkostninger til genhusning af eleverne i den periode renovering stod på. Nedenstående figur 10 viser renoverings forløbet af Vibeskolen med årstal for renovering for hver enkelt undervisningskam.



Figur 10, Oversigt for renoveringstidspunkter for undervisningskammene på Vibeskolen afd. Ullerslev

Centrale aspekter af renoveringsprojektet omfattede implementeringen af et nyt og effektivt ventilationsanlæg for at forbedre indeklimaet og sikre optimal luftkvalitet i de renoverede lokaler. Derudover var der fokus på at installere akustiklofter af høj kvalitet for at reducere støjniveauet og skabe et mere behageligt læringsmiljø. Samtidig blev den gamle belysning udskiftet med avanceret kunstig belysning, som ikke blot ville optimere lysforholdene, men også bidrage til at skabe en stimulerende og inspirerende atmosfære i rummene.

En betydelig udfordring i projektet var håndteringen af den velkendte PCB-problematik, der krævede omhyggelig opmærksomhed og korrekt håndtering for at sikre en sikker og miljøvenlig fjernelse/indkapsling af PCB-holdige materialer. Dette blev koordineret med passende ekspertise og i overensstemmelse med gældende miljømæssige standarder og forskrifter.

Det var af afgørende betydning for bygherren, at renoveringsprojektet blev udført med et stærkt fokus på energieffektivitet. Derfor blev der nøje udvalgt løsninger og materialer, der ikke blot opfyldte de krævede funktionelle behov, men også var miljømæssigt ansvarlige og ressourceeffektive. Dette omfattede valg af energieffektive apparater, som skulle kunne bidrage til at reducere det samlede energiforbrug og minimere miljøpåvirkningen på lang sigt. Ved at handle bæredygtigt i renoveringsprocessen blev der skabt et sundere og mere fremtidssikret skolemiljø, der både kunne gavne de nuværende og kommende generationer af elever og undervisere.

Alle de fire renoveringsetaper var udliciteret som fagentrepriser til udvalgte entreprenører, som bygherre var bekendt med, og som de vidste kunne løfte opgaven, både når det kom til det faglige, den stramme tidsplan og koordineringen med de andre fag imellem.

3.6.1 Renoveringsforløb Indeklima

A - Flytningsentreprise

I flytningsentreprisen var det vigtigt, at alle elementer og inventar fra hver klasse tydeligt blev markeret med deres oprindelige lokation og placering for at sikre korrekt geninstallation.

B - Nedbrydningsentreprise

Nedbrydningsentreprisen omfattede håndtering af PCB-forurenede materialer, herunder nedhængte loftssystemer, isolerede brystninger og andre specifikke elementer. Der var stort fokus på afdækning af områder og forsvarlig håndtering af affaldet.

C - Tømrentreprise

Tømrentreprisen indebar opbygning af platforme til ventilationssystemet samt installation af nye loftssystemer og isolering af brystninger under vinduerne.

I udbudsmaterialet var det indskrevet, at loftbeklædning skulle Loftplader som Rockfon Sonar A24 i Lydabsorptionsklasse A. Den vindende entreprenør valgte at gå med denne model, som hedder 'Rockfon Sonar A24/A15'. Loftpladerne har mange gode kvaliteter såsom brandklasse A1, lydabsorptionsklasse A og formstabil selv ved en luftfugtighed på op til 100%.

Kant	Tykkelse	Nedstropningshøjde	Praktisk lydabsorptionskoefficient (α_p)						Lydabsorptionsklasse	α_{av}	NRC
			125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz			
B, C, D, G, Z, D/AEX, M	20mm	20mm	0,05	0,25	0,70	1,00	1,00	1,00	D	0,55	0,75
D, Z, D/AEX, M	20/25mm	200mm	0,50	0,85	0,90	0,95	1,00	1,00	A	0,95	0,95
X	22/25mm	200mm	0,55	0,80	0,90	0,95	1,00	1,00	A	0,95	0,95
A24, A15	20mm	200mm	0,55	0,95	1,00	0,90	1,00	1,00	A	1,00	1,00
E15, E24	20mm	200mm	0,50	0,90	1,00	0,90	1,00	1,00	A	1,00	1,00

Figur 11, Data for lydabsorptionskoefficient for ny loftløsning

D - Malerentreprise

Malerentreprisen omfattede PCB-forsegling af vægge og loft samt generel malerbehandling af vægge og nybyggede gipsvægge og installationskasser. Der var særlig opmærksomhed på korrekt forsegling og malerbehandling for at sikre en ensartet og holdbar overflade ved forsegling af PCB.

E - Ventilationsentreprise

Ventilationsentreprisen indebar demontering af eksisterende ventilationsanlæg og installation af et nyt system herunder kanaler, armaturer og reguleringssystemer. Det anlæg som i dette afsnit beskrives er anlæg VE01 på Kam 1, og er sammenlignelig med de andre anlæg der er monteret på skolen under renoveringen. De projekterede luftmængder, der er indskrevet i udbudsmaterialet for renoveringen, er beregnet ud fra DS 447:2021 (Standard, Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer, 2021).

Anlæg: Geniox Core 12 – Tag

Producent: Systemair A/S

Betjeningsområde: Klasselokaler og gang

Placering: Tag

Ydelse: 4200 m³/h

Beskrivelse: Behovstyret rumventilation, 100% udeluft med varmegenvinding og variabel luftmængde. Luften tages gennem indtag via kanal og lyddæmper til anlægget, hvor luften behandles og føres videre via kanalsystem med lyddæmper og spjæld til indblæsningsarmatur i klasseværelser. Den forurenede luft udsuges gennem udsugningsarmatur med sug over loftet. Herefter føres luften via kanalsystem med lyddæmper og spjæld til aggregatet. Her passerer luften gennem roterende varmeveksler, som indirekte afgiver varme til udeluften. Herefter føres luft via kanalsystem og lyddæmper ud i det fri.

Indblæsning i klasselokaler udføres med trykfordelingsboks som Lindab MBC og armatur som Lindab PCA el. PKA. I gang udføres indblæsning med KIR-ventil.

Udsugning i klasselokaler er udført med sug over loft suppleret med udsugningsplade i nedhængt loft. I gang og toiletter udføres udsugning med KSU-ventil.

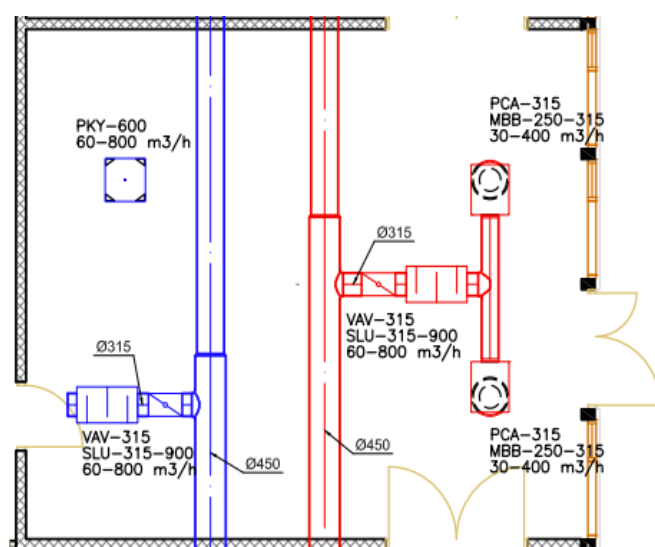
Kanaler udført som Lindab Safe SR-rør med lyddæmpere. Udvendige kanaler udføres med vejrbestandig isolerede rør isoleret iht. norm.

Variabel volumentrømsregulator udført som Komponenttype VAV – Type Optima LV Optima-S

Aggregat			
Aggregatfarve Isolering Hygiejne	ZincMagnesium 60 mm mineral uld / Massefylde 60 kg/m ³ Standard		
Automatik	Uden automatiksystem		
Strømforsyning Aggregat	L1 + L2 + L3 + N + PE (3x400V) 50 Hz / 9.5 A		
Omgivelser Tilluft	59 dB(A) 81 dB(A)		
Tilluft Luft-ventilator data	Luftdensitet 1.205 kg/m ³		
Luftydelse Fronthastighed Ext. Δp	4200 m ³ /h 1.84 m/s 200 Pa		
Tilluft, Vinter Sommer	23.0°C / RH 30% 27.3°C / RH 59%		
Filter Stadier	F7 - ePM1 60 %		
Ventilator Spænding Strøm, mærket o/min	2.40 kW 3x400 V 3.80 A 2905 o/min		
Varmer, vand Væske	9.7 kW ; 16.1/23.0°C Væske 60/30°C ; 5.7 kPa ; 0.08 l/s ; Ø 3/4" / 3/4"		
Fraluft Luft-ventilator data	Luftdensitet 1.205 kg/m ³		
Luftydelse Fronthastighed Ext. Δp	4200 m ³ /h 1.84 m/s 200 Pa		
Filter Stadier	M5 - ePM10 60 %		
Ventilator Spænding Strøm, mærket o/min	1.30 kW 1x230 V 5.65 A 2819 o/min		
Energi	Dimensionering	Gennemsnit	Ventilatorer [8760 timer]
Varmegenvinding EN308 (Tør)	81.6 % 81.6 %	81.6 % 81.6 %	
SFPv *)	1.73 kW/(m ³ /s)	1.73 kW/(m ³ /s)	17663 kWh
Ecodesign godkendt (2018)	Ja		
Stedet, hvor aggregatet er placeret	Københavns Kastrup, Danmark		
	(t _{dry} - bulb 26.2 °C, t _{dew} - point 14.1 °C, t _{dry} - bulbW -5.2 °C)		

*) Værdier inkluderer hastighedsregulering; SFPv = ren - og SFPe = dimensioneret filtertryktab

Figur 12, Data for nye behovstyrede ventilationsanlæg (VAV)



Sag		Indbuds/udbud	
Adresse		Tilluft	
Skolevej 2 5540 Ullerslev		Udført af	
Aggregat placering		LPE	
På tag		Udført dato	
Betjeningsområde		26-03-2021	
KAM 1		Tegning nr	
Instrumenttype		V-X-6-57	
KIMO MP 210 / tragt KIMO 25		Instrument nr	
		2P200411884	

Rum nr	nr	m²	Projekteret m³/h	Pla	m/s	Malt	Faktor	Resultat m³/h	%
11			400			276	1,00	276	69
12			800			557	1,00	557	70
13			800			556	1,00	556	70
14			800			559	1,00	559	70
15			800			554	1,00	554	69
16			800			560	1,00	560	70
17			800			557	1,00	557	70
Indgang 18			300			204	1,00	204	68
Krea 1. 19			250			173	1,00	173	69
Krea 2. 20			250			174	1,00	174	70
Sum			6000			4170		4.170	70

Figur 13, Principtegning for kanalsystem inkl. VAV spjæld, trykfordelingsbokse, armaturer og indreguleringsskema for undervisningslokaler

De nye ventilationsanlæg der er opsat i forbindelse med renoveringen af vibeskolen er alle koblet op til kommunens CTS system. CTS står for 'central tilstandskontrol og styring', og er en integreret teknisk platform der anvendes til at styre og overvåge forskellige tekniske installationer i en bygning. Når en bygherre vælger at implementere CTS-styring på deres ventilationsanlæg, åbner det en række fordele.

For det første giver CTS-styring bygherren mulighed for at opretholde en optimal drift af ventilationsanlægget. Ved at kunne centralt overvåge og justere ventilationsindstillingerne kan bygherren sikre, at ventilationsanlægget fungerer effektivt og leverer den nødvendige luftkvalitet til bygningens brugere.

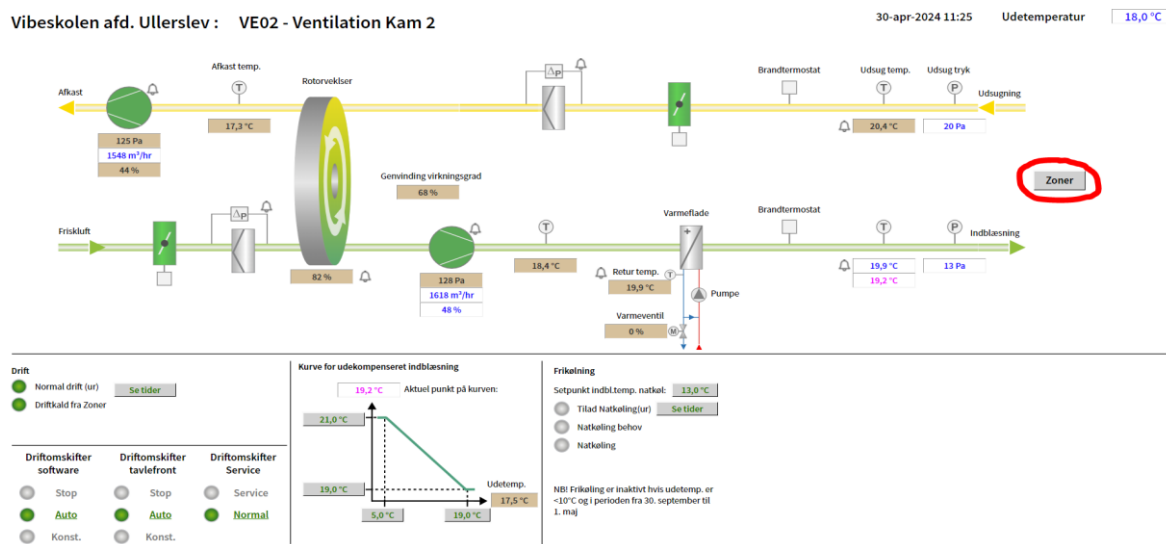
Derudover giver CTS-styring mulighed for at øge energieffektiviteten i ventilationsanlægget. Ved at implementere intelligente styringsmekanismer kan bygherren optimere ventilationsdriften i forhold til bygningens aktuelle behov og belastning. Dette kan føre til betydelige energibesparelser og reducere driftsomkostningerne på lang sigt. Ventilationsanlægget kan styres af CO₂ og temperaturfølere i hvert lokale, dette sikrer at driftspersonalet har de mest optimale forhold for at kunne finjustere helt ned på rumniveau.

Yderligere fordele ved CTS-styring af ventilationsanlæg inkluderer muligheden for at identificere og reagere på eventuelle driftsproblemer eller fejl i realtid. Ved at modtage advarsler eller alarmer fra CTS-systemet kan bygherren og driftspersonale hurtigt foretage nødvendige vedligeholdelses- eller reparationstiltag, hvilket kan reducere tid anlæg ikke er i drift og undgå unødvendige omkostninger.

Endelig kan CTS-styring af ventilationsanlægget bidrage til at forbedre sikkerheden i bygningen. Ved at integrere ventilationsstyringen med andre sikkerhedssystemer, såsom brandalarmer eller adgangskontrol, kan bygherren hurtigt reagere på nødsituationer og sikre, at brugerne evakueres sikkert fra bygningen.

Samlet set giver CTS-styring af ventilationsanlægget bygherren mulighed for at opnå en effektiv, energieffektiv, pålidelig og sikker drift af ventilationsanlægget, hvilket resulterer i øget komfort og kan reducere driftsomkostninger.

Herunder, i figur 14, ses udklip fra CTS platformen IQvision for, hvordan ventilationsanlægget for Kam 2 er opbygget med de justeringsmuligheder, der er opsat på Vibeskolens ventilationsanlæg. Det viste anlæg er sammenligneligt med de resterende anlæg for Vibeskolen.



Figur 14, Oversigtsbillede over ventilationsanlæg fra CTS system

Figur 15 herunder, er udklip fra CTS platformen, som man kan tilgå ved at trykke på zoner som markeret med rød cirkel på billedet ovenfor, figur 14. Her kommer man ned på rumniveau for den pågældende undervisningskam hvor man herfra kan se de fastsatte værdier som ventilationsanlægget skal drifte efter, blandt andet max rum temp., som er sat til 24 °C, og max rum CO₂, som er sat til 1000 ppm. Ydermere kan man aflæse de faktiske nutidige værdier i tabellen for at få et øjebliksbillede af, hvordan anlægget drifter på et givent tidspunkt.

Lokale	Rum 21	Rum 22	Rum 23	Rum 24	Rum 25	Rum 26	Rum 27.1	Rum 27.2
Drift tider - varme	Set tider							
Rumtemperatur	22,1 °C	21,6 °C	21,4 °C	20,8 °C	20,8 °C	20,7 °C	21,1 °C	22,8 °C
Setpunkt rumtemp. dag	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	
Setpunkt rumtemp. nat	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	
Radiator ventiler	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
Max rum temp.	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C
Max rum CO2 niveau	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm
Rum CO2 niveau	703 ppm	664 ppm	437 ppm	493 ppm	597 ppm	500 ppm	548 ppm	546 ppm
VAV spjæld indbl.	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr
VAV spjæld udsug.	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr
VAV spjæld Flow SP	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr	0 m³/hr
Max mulig flow Ind/Ud	800 m³/H	800 m³/H	800 m³/H	800 m³/H	800 m³/H	800 m³/H	225 m³/H	225 m³/H
Aktuel spjæld indbl. position	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Aktuel spjæld udsug. position	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
VAV spjæld SP fra reulator	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Figur 15, Oversigtsbillede for indstilling/justeringsmuligheder fra CTS system

F – El-entreprise

El entreprisen inkluderede demontering og geninstallation af elinstallationer samt installation af ny belysning og elforsyning til det nye ventilationsanlæg. For det nye belysningsanlæg var der sat strenge krav til performancen for, at sikre høj effektivitet og kvalitet i det nye lys. De generelle krav nævnes herunder.

Belysningsstyrke på bord min. 400 lux med stor ensartethed. Der laves lysberegning på ét klasselokale for overholdelse af krav til belysningsstyrke.

Generelle krav:

- Belysning skal være med zoneopdelt dagslysstyring i alle rum.
- Belysning skal være med bevægelses-/tilstedeværelsessensor.
- Tænd/sluk skal være med auto samt manuel on/off.
- Dæmpbar.
- Flickerfri.
- Lysfarve: 4000 K
- Blænding: UGR <19
- Ensartethed: Mac Adams <3
- Lysspredning: min 120°
- Farvegengivelse: RA > 80
- Levetid: min 50.000 timer.
- For lysberegningerne anvendes lysrefleksion for vægge svarende til farve RAL 4311 glans 25, for lofter lysrefleksion på 85% (hvid) og for gulve lysrefleksion på 50% (farve NCS S 2010-Y20R).

Det nye belysningsanlæg anlæg, som i dette afsnit beskrives, er fra Kam 1 og er sammenligneligt med de andre belysningsanlæg, der er monteret på resten skolen under renoveringen. Det er en beskrivelse af det færdige produkt med data fra producenten.

Producent: Team Tronic

Betjeningsområde: Klasselokaler og gangarealer

Tabel 3, Data for nyt belysningsarmatur

Model:	T-LED
Størrelse (LxHxB):	595 x 30 x 595 mm
mA/W:	Standard - 30W / 35W / 40W
Optik:	Microprismatisk / Opal afskærmning Back-light
Ra/Kelvin:	Ra80/90 - 3000K / 4000K
Montering:	Indbyg - loftsystem m. synlige skinner
IP:	40
Maling:	RAL9016

Tilslutning:	Direkte / 5pol Winsta
Styring:	On/Off / DALI / EasyAir / 1-10V / BLE-Sensor
IEC62717 (L80B10):	>50.000h ved ta 25 grader
Materiale:	Aluminium
Vægt kg:	3.5 kg
Sikring C10:	36 pr. sikring
Lysstrøm:	125lm/W ved 4000K - 35W
Ensartethed:	Mac Adams 3
Lysspredning:	125°
LED driver levetid	Levetid >70.000h

(Tronic, 2023)

Armaturets certificering er under CIE EN 60598 1-2 & herunder EN550 15/EMC

3.6.2 Renoveringsforløb PCB

For PCB-undersøgelserne er der udvalgte 2 lokaler i kam 4. I kam 4 blev PCB saneringen delt i to etaper, for hver etape blev der benyttet forskellige afhjælpningsmetoder af PCB-forurening. I den ene ende af kammen blev der udført en PCB-sanering, hvor man benyttede metoden med fysisk fjernelse af forureningskilderne.

I den modsatte ende af kammen blev der anvendt en metode, hvor PCB'en blev forseglet. Denne metode indebærer, at PCB-forureningen ikke fjernes, men i stedet bliver indkapslet og forseglet, så den ikke skulle udgøre en risiko for spredning. Dette bør sikre en effektiv kontrol af PCB-forureningen uden, at fjerne det forurenede materiale.

I det følgende beskrives etaperne for PCB renoveringen ud fra de anvendte saneringsmetoder, der bliver sat fokus på saneringsmetodernes virkemåde, hvilke kildetyper metoden egner sig til, erfaringer med metoderne og tidsperspektivet for saneringsmetoderne.

Etape 1, fysisk fjernelse af forureningskilderne:

Virkemåde

Den fysisk fjernelse af forureningskilden giver en permanent reduktion i emissionen og dermed en mulighed for en permanent reduktion af koncentrationen af PCB i indeluften. Effekten af fjernelsen af kilder vil afhænge af håndteringen af tilbageværende kilder. Det kan tage tid at opnå en tilfredsstillende PCB-koncentration i indeluften, da enhver håndtering af PCB-holdige materialer kan medføre spredning af PCB-holdigt støv og øget fordampning fra blottede overflader, der kan kontaminere de resterende materialer (Andersen, Renovering af bygninger med PCB, Sbi 242, 2013). Det er derfor meget vigtigt at undgå spredning under arbejdet.

Kildetyper, der kan fjernes

Alle kildetyper kan i princippet fjernes, men i praksis kan der være bygningskonstruktive forhold der gør det umuligt eller meget kostbart. Under saneringen på Vibeskolen afd. Ullerslev blev der fjernet PCB-holdige fuger, maling og loftplader, sandblæsning af betonvægge og udskæring af betonvægge 5 cm fra primærkilden.

Erfaringer med fysisk fjernelse

Erfaringer fra Tyskland (Bonner, 2013) viser, at en PCB-renovering med vedvarende succes indebærer, at de primære kilder fjernes fuldstændigt, som det var tilfældet på Vibeskolen. Her blev også sekundære kilder forsøgt fjernet.

Sikkerheds- og sundhedsforhold

Ved at fjerne PCB fjernes sundhedsrisikoen. Dog er det næppe praktisk muligt at fjerne alt PCB, og den resulterende koncentration af PCB i indeluften vil afhænge af håndteringen af de tilbageværende kilder. Fjernelse kan foregå med eller uden brug af elektrisk værktøj. Manuelle metoder vil være at foretrække, fordi de typisk genererer mindre støv og affaldsrester. Dermed er det lettere at undgå spredning af PCB.

Bygningens anvendelse

De berørte undervisningslokaler blev tømt for alt inventar, der blev opbygget støvvægge til tilstødende lokaler og oprettet sluser med undertryk.

Tidsperspektiv og robusthed

Denne metode med fysisk fjernelse af PCB-holdige kilder er en omfangsrig proces som både er bekostelig og tidskrævende. Det betyder, at håndteringen under renoveringsprocessen og håndteringen af de tilbageblivende kilder bliver afgørende for resultatet på langt sigt. På Vibeskolen blev der monteret mekanisk ventilation, som kunne hjælpe til at fjerne tilbageblivende kilder.

Etape 2, forsegling:

Virkemåde

Ved indkapsling forsegles PCB-holdige materialer med en membran, der er diffusionstæt eller diffusionsbegrænsende over for PCB. Det forhindrer eller hæmmer fordampningen af PCB til indeluften. På projektet på Vibeskolen blev Remmers PCB Spærrer anvendt (Remmers, 2002).

Kildetyper, der kan behandles

Indkapsling kan anvendes fortrinsvis på sekundære og tertiære PCB-kilder, men kan også benyttes direkte på fuger (Andersen, Renovering af bygninger med PCB, Sbi 242, 2013). Forseglingen har selvfølgelig også sine begrænsninger, da denne ikke kan anvendes på glas, kondensatorer i køleskabe og lysarmaturer.

Erfaringer

I Danmark er der anvendt indkapsling i en del PCB-forurenede bygninger. Metoden er især anvendt, hvor de målte PCB-koncentrationer i indeluften ikke har ligget meget over Sundhedsstyrelsens vejledende lave aktionsværdi på 300 ng/m³. Erfaringsmæssigt er det svært at komme med en entydig vejledning på, hvordan forseglingsmetoden bør benyttes, flere studier kommer også med meget forskellige resultater. For at opnå en god effekt af forseglingen er der flere parametre der bør tages højde for blandt andet, hvilket produkt der anvendes, og hvordan binderen og tætheden i produktet er, hvilke kilder forsegleren påføres, og hvor høje koncentrationer kilden har (Andersen, Renovering af bygninger med PCB, Sbi 242, 2013).

Sikkerheds- og sundhedsforhold

Påføring af visse overfladebehandlinger kræver særlige arbejdsmiljømæssige hensyn. Indkapsles elastiske og plastiske fuger, skal man være opmærksom på risiko for revnedannelse eller brud på forseglingen, særlig ved fuger med bevægelse. Det er vigtigt, at ejer eller driftspersonale er bekendt med PCB-renoveringen af bygningen for overholdelse af retningslinjer for at sikre holdbarheden af PCB-membranerne, og at disse ikke beskadiges ved vedligeholdelsesarbejder, ombygninger eller renoveringer. (Andersen, Renovering af bygninger med PCB, Sbi 242, 2013)

Bygningsanvendelse

Forseglingsmetoden er en relativ enkel løsning, og bygninger kan ofte være i brug mens renovering pågår, og brugerne vil opleve mindre gener. På Vibeskolen var bygningerne tomme under forseglingen grundet den igangværende renovering.

Tidsperspektiv og robusthed

Der findes ikke meget materiale på området i forhold effektivitet på løsningen eller holdbarhed i forhold til brugernes adfærd og bevægelser i konstruktionen.

4. Undersøgelses og prøvetagningsmetoder

Dette afsnit redegør for projektets metodiske ramme. Det vil ske ved at beskrive de undersøgelses- og prøvetagningsmetoder, som projektet anvender til at undersøge problemstillingen. Projektet tager udgangspunkt i det ovenstående teoretiske afsnit, hvor forståelserne beskrevet i afsnit 3 (teori) anvendes som grundlag for at redegøre for projektets metoder. Ved at integrere teoretiske perspektiver og praktiske metoder sikres der en grundig og velunderbygget tilgang til undersøgelsen.

De udvalgte undersøgelsesmetoder og prøvetagningsmetoder der benyttes i projektet, er de samme som er blevet brugt under forundersøgelserne og PCB-screeningen, som beskrevet i ovenstående afsnit 3.3. Det er valgt at benytte de samme metoder til efterundersøgelserne, da dette vil give det mest retvisende og korrekte grundlag for resultaterne.

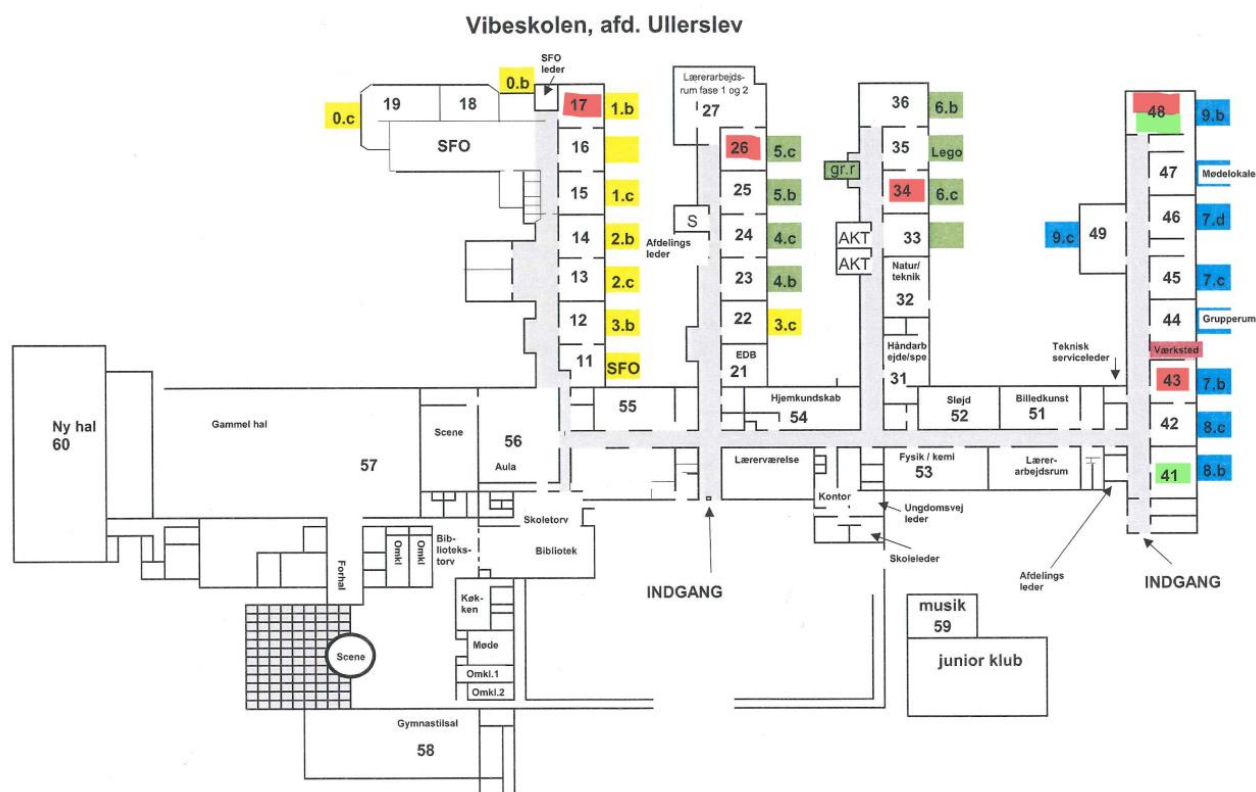
Der blev udvalgt 5 lokaler til undersøgelsen for det termisk og atmosfæriske indeklima. Lokalerne er udvalgt på baggrund af, at man ønskede en god fordeling over hele skolen, så man fik et godt overblik både, hvad angår de fire undervisningskammer og bygningsmassen, men også grundet personbelastninger som svinger fra de helt små elever til afgangsklasserne. De udvalgte lokaler er 17, 26, 34, 43 og 48, hvis placering forekommer på figur 16.

For det akustiske indeklima blev der taget udgangspunkt i lokale 43. Lokalet er udvalgt, da det danner grundlag for resten af lokalerne ved at have samme størrelse og rumfang som de andre lokaler, dog med undtagelse af lokale 27, 38 og 48, da disse tre endelokaler er større.

For det visuelle indeklima blev simuleringsmetoder valgt til, til at afdække dette område. For den elektriske belysning er der benyttet et program der hedder 'DiaLux' til, at simulere på det gamle lys der sad i lokalerne inden renovering og på det nye lys, der er monteret under renoveringen. På den måde kan der opnås et præcist før og efter resultat af belysnings niveauet der er i undervisningslokalerne og med god mulighed for at analysere på de valgte løsninger. For beregningerne er der taget udgangspunkt i lokale 15, og det er dette lokale der danner grundlag for beregningerne både før og efter renoveringen.

For simulering dagslysindfaldet i undervisningslokalerne er der benyttet 'Velux Daylight Visualizer'. Der er opbygget en model af skolen og udvalgt tre lokaler, som er udvalgt på baggrund af deres placering i bygningen. Der er simuleret på det lokale med det bedste lysindfald, og det lokale der vurderes på forhånd at have det værste dagslysindfald. På den måde er det muligt, at sammenholde disse lokaler og se forskelle på de faktorer der har indvirkning på dagslysindfaldet.

For PCB-undersøgelserne er der udvalgt 2 lokaler i kam 4. I kam 4 er der som tidligere nævnt benyttet to forskellige afhjælpningsmetoder til PCB-problematikken. Dette projekt skal forsøge at afklare, hvilken af metoderne der har givet det bedste resultat. De 2 lokaler som er udvalgt til prøvetagning, er lokale 41 og 48, som der tidligere er udtaget prøver fra. Det fremgår af nedenstående figur 16.



Figur 16, Oversigtsplan for lokaler, hvor undersøgelser af termisk og atmosfærisk indeklimate samt PCB luftprøver er udtaget

4.1 Termisk indeklimate

Til undersøgelse af det termiske indeklimate i dette projekt er det valgt at benytte IC-meter dataloggere.

Der er brugt logningsudstyr kaldet "IC-meter", hvor "IC" står for "Indoor Climate", der er udstyret med et GSM-modul. Enhederne registrerer fugtighed, temperatur og CO₂ i overensstemmelse med de tekniske detaljer vist i tabellen nedenunder. Enhederne logger hver 5. minut og sender data via et GSM-modul og et microsimkort direkte til internettet. De henter vejrdata fra den nærmeste vejrmålestation, leveret af Det norske meteorologiske institut (YR), som inkluderer timemålinger af temperatur, relativ fugtighed, vindhastighed og -retning.

Måleudstyret er placeret efter IC-meters retningslinjer for korrekt installation inden start. Enhederne blev placeret i en højde på omkring 1,5 meter. Placeringen af målerne i de udvalgte lokaler blev forsøgt placeret så identisk som muligt uden, målerne rammes af direkte sollys, da dette kan forstyrre målingerne af temperatur og relativ fugtighed. Det er vigtigt ikke at placere udstyret for tæt på døre eller ventilationsarmaturer, da luftstrømme kan påvirke resultaterne.

Tabel 4, Produktspecifik data for IC-meter enhed

Måleemne:	Enhed:	Sensor:	Usikkerhed:
CO ₂	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

For måleperioden blev der sigtet efter at få så lang en måleperiode som muligt. Den optimale længde på måleperioden er mellem 4-8 uger, da man ved en måleperiode på den længde vil kunne sikre at få et retvisende billede af bygningens brug og lokalernes belastning. For de nye målinger er der foretaget logninger fra 06/03 – 22/04 2024, som giver en måleperiode på 7 uger, dette anses for at være optimalt.

Måleperioden blev dog begrænset, da måleperioden for undersøgelserne, der blev foretaget inden renovering, ikke var så lang og var af varierende længde for flere af målerne. Ydermere var der påskeferie i måleperioderne for begge målinger, hvormed denne uge er taget ud af måleperioden, da den ikke vurderes at være interessant for projektet, da personbelastning i lokalerne er en vigtig faktor i målingerne.

For at få et så nøjagtigt sammenligningsgrundlag for målinger før og efter renovering, er måleperioderne blevet redigeret, så datoer og klokkeslæt matcher hinanden for gammel og ny data.

Tabel 5, Tabel viser lokalnummer og måleperiodens længde for pågældende lokale

Lokale	Måleperiode i dagsintervaller
Lokale 17	15 dage
Lokale 26	8 dage
Lokale 34	11 dage
Lokale 43	11 dage
Lokale 48	13 dage

4.2 Atmosfærisk indeklima

Til undersøgelserne af det atmosfæriske indeklima, er data fra IC-meterne benyttet. IC-meterne måler på CO₂, som er en fremragende indikator for at vurdere det atmosfæriske indeklima i et lokale. Placering og måleperiode er tilsvarende for det termiske indeklima, da det er de samme IC-meter logger der er benyttet til undersøgelser for begge områder.

Som prøvetagningsmetode for PCB er der blevet lavet luftprøver i lokalerne 41 og 48. Her er der udtaget to prøver i hvert undervisningslokale. De to lokaler er udtaget som prøvetagningssted, da de er PCB saneret med to forskellige metoder i lokale 41 er der benyttet løsningen med fysisk fjernelse af PCB-kilder, i lokale 48 er forseglingsmetoden benyttet. For hvert lokale er der udtaget to luftprøver, hvor de første prøver i henholdsvis lokale 42 og 48 er udtaget fredag d. 3 maj, hvor ventilationen er i drift. De to sidste prøver i lokale 41 og 48 er udtaget mandag d. 6 maj, hvor ventilationen har været slukket hen over weekenden. Princippet for at lave luftprøverne på denne måde, er at kunne vurdere ventilationens påvirkning for PCB i indeluften. Ved at udtage prøverne på denne måde giver det mulighed for at kunne sammenholde prøverne med tændt ventilation og uden ventilation, og se forskellen mellem de to prøveresultater for dermed at eftervise, om ventilationen har en effekt på mængden af PCB i indeluften.

Luftprøverne er udtaget ved hjælp af luftpumpe, som suger indeluften igennem et OVS-XADII-rør med filter til opsamling af respirabelt støv. Vejledning for måling af PCB i indeklimaet beskriver, at det samlede prøvevolumen ikke må overstige 5-10 % af det pågældende lokales rumfang. Prøvetagningen gennemføres med et prøvetagningsflow på ca. 3000 L/time og et prøvevolumen på 5000-10000 liter luft, der opsamles over 4 timer. Det aktuelle flow skal underkastes en nærmere specificeret kontrol, og udstyret skal testes for lækage før hver måling. Lufthastigheden i luftindtaget skal være ca. 1,25 m/s. Luftprøverne er udtaget af Dansk Miljørådgivning A/S og sendt til akkrediteret analyse for indhold af PCB hos Højvang Laboratorier A/S.

Ved undersøgelser under normale forhold udvælges målesteder med fokus på PCB-kilderne i de respektive rum. Det anbefales at placere målestedet centralt i en højde mellem 1,0 og 1,5 meter over gulvet og mindst 1 meter fra væggen.

Der er teoretisk 209 forskellige PCB-congenerer, hvor de kommercielle PCB-produkter typisk indeholder omkring 100 forskellige. Dog er det kun en lille gruppe af de mest flygtige kongener, der normalt kan måles i indeluften. Ifølge den tyske standard VDI 2464 (Technologies, 2009) bør kun de seks indikator-PCB'er: PCB 28, 52, 101, 138, 153 og 180 (PCB6) bestemmes og kvantificeres. Koncentrationen af hver af disse seks PCB-congenerer ganges med 5 for at estimere den samlede PCB-mængde. Dette er i overensstemmelse med den mest anvendte metode i tyske undersøgelser af PCB i indeluft, som både de tyske og danske aktionsværdier er baseret på.

I svenske og danske undersøgelser inkluderes normalt også PCB 118. Udenlandske studier har vist, at PCB 118 er en god indikator for den samlede TEQ-værdi (Toksicitetsekivalensmængde) af PCB-congenerer. Derfor anbefales det, at inkludere PCB-118 i beregningen af den samlede PCB-mængde ved at gange PCB7 (inklusive PCB 118) med den samme faktor på 5 som for PCB6. Forskellen mellem resultaterne for PCB6 og PCB7 er normalt minimalt, da koncentrationen af PCB 118 typisk er meget lavere end de andre målte congenerer (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010).

Der er betydelige usikkerheder forbundet med måling og analyse af PCB i luft. Usikkerheden i den kemiske analyse af PCB kan være mere end $\pm 30\%$. Dertil kommer usikkerheder i omregningen til den samlede PCB-mængde. Ifølge tyske eksperter (Thomas Hougaard, 2014) kan usikkerheden for en enkelt PCB-måling i luft variere mellem 50% ved 300 ng PCB/m³ og 30% ved 3000 ng PCB/m³ på årsbasis, da forholdene ændrer sig over året. Aktionsværdier er baseret på årsmedianværdier. Da der typisk udføres enkeltmålinger ved PCB-analyser i indeluft, bør man forvente en usikkerhed på $\pm 50\%$. Dette svarer til et koncentrationsinterval på 150-450 ng PCB/m³ for enkeltmålinger ved den lave aktionsværdi (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010). For målingerne, som er udtaget for dette projekt, er der foretaget enkeltmålinger, og disse skal derfor tillægges $\pm 50\%$. Her er det de høje tal der udgør det endelige resultat, altså resultatet fra enkeltmåling som tillægges +50%. Det er også en mulighed at udtage flere luftprøver samme sted. Resultaterne af disse vil ikke tillægges $\pm 50\%$, men blot divideres op i de antal prøver, som er udtaget, og man vil herefter få et retvisende årsmiddelt resultat ud fra gennemsnittet af luftprøverne.

4.3. Visuelt indeklima

I afsnit 4.3 præsenteres de anvendte simuleringsmetoder, der bruges til at analysere både den elektriske belysning og dagslysets indfald i undervisningslokalerne. Dette afsnit beskriver detaljeret, hvordan simulationerne er udført, herunder de anvendte værktøjer og teknikker samt de parametre og forudsætninger, der er indgået i beregningerne. Formålet med simulationerne er at vurdere belysningsforholdene.

4.3.1 Elektrisk belysningsanlæg

Som undersøgelsesmetode til det visuelle indeklima i forhold til den elektriske belysning, vil der, i dette projekt, blive benyttet lysberegninger, som er udarbejdet af elektrikerens, som vandt belysningsentreprisen for projektet. I afsnit 3.6.1 omhandlende renoveringsforløbet blev det beskrevet, hvilke armaturer der blev valgt til projektet, og hvilke specifikationer de nye armaturer har.

For at kunne vurdere det gamle elektriske lys i undervisningslokalerne er der udarbejdet en lysberegning for samme undervisningslokale, hvor der er taget udgangspunkt i de gamle lysarmaturer og deres placering i lokalet. Lysberegningerne er udarbejdet i programmet

DIALux som er et gratis lysberegningsprogram, udviklet af det tyske firma DIAL GmbH. Programmet giver mulighed for at beregne belysningsniveauet i et givet lokale, og derved om det opfylder kravene i (Standard, DS/EN 12464-1:2011 - Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser, 2011). Programmet kan udover at beregne belysningsniveauer i kontor og undervisningslokaler også bruges til regne på sportsbelysning i haller og udendørs sportsarealer, regne på nød og panikbelysning samt veje og sti belysning udendørs. Programmet findes på både dansk, svensk, tysk, engelsk samt mange andre sprog, og programmet kan frit hentes på firmaets hjemmeside.

Lysberegningerne, som er udarbejdet igennem dette program, vil blive anvendt til at analysere lysfordelingen i rummene. Dette gøres for at sikre en jævn og tilstrækkelig belysning overalt og for at undersøge om placeringen og typen af lyskilder er optimal.

4.3.2 Dagslys

I projektet blev der foretaget simuleringer af dagslys ved hjælp af 'Velux Daylight Visualizer'. Simuleringerne vil blive brugt til at undersøge om dagslysniveauet i bygningen og undervisningslokalerne er tilstrækkeligt. Velux Daylight Visualizer er et specialiseret softwareværktøj udviklet til at simulere og vurdere dagslysforhold i bygninger. Programmet anvender avancerede algoritmer til at simulere dagslysets indfald i bygninger baseret på rummets geometri, placering, orientering og vinduesarealer. Det simulerer, hvordan sollys og dagslys trænger ind i forskellige dele af bygningen på forskellige tidspunkter af dagen og året.

Velux Daylight Visualizer beregner lysfordelingen i rummene for at vurdere, hvordan dagslyset fordeles. Det giver mulighed for at analysere, om der er områder med utilstrækkeligt lys eller områder med for kraftigt lys, som kan føre til blænding. Programmet tilbyder grafisk visualisering af dagslyssimuleringerne. Dette inkluderer 3D-modeller, planvisninger og lysdiagrammer, som gør det nemt at visualisere og forstå dagslysforholdene i bygningen. (Dialux, u.d.)

Brugere kan indtaste og justere forskellige parametre, såsom vinduesstørrelser, solskærmingsløsninger og lysreflekterende overflader, for at tilpasse simuleringerne til specifikke design og krav.

Velux Daylight Visualizer indeholder analytiske værktøjer til at evaluere dagslysforholdene. Det kan beregne og rapportere nøgletal som dagslysforhold (DF), dagslysfaktor og direkte sollysandel (DA), som er vigtige indikatorer for dagslysforholdene i bygningen.

Samlet set er Velux Daylight Visualizer et effektivt værktøj til at designe og evaluere dagslysforholdene i bygninger. Med programmets avancerede simulering- og analytiske funktioner kan det nøjagtigt vurderes, om dagslysforholdene er optimale.

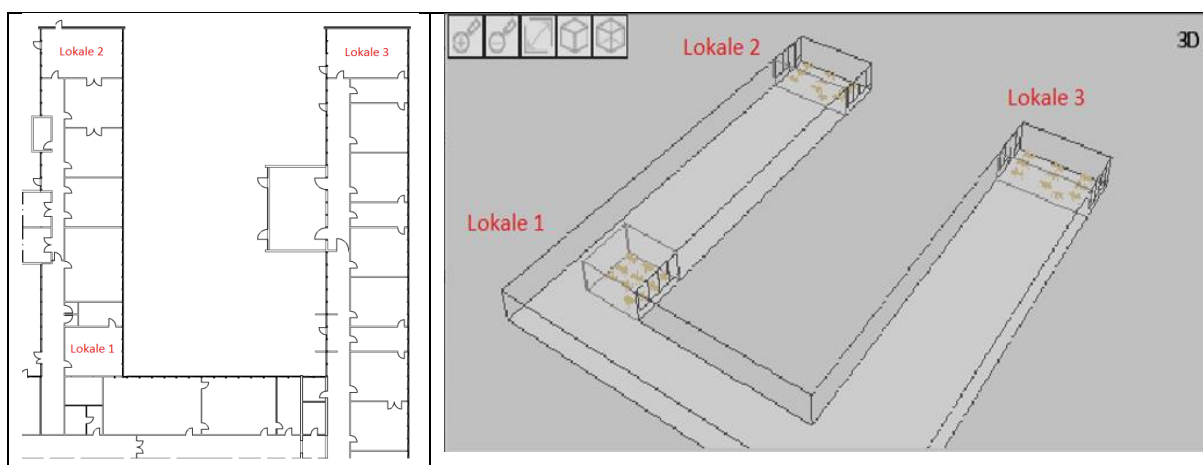
For renoveringsprojektet hos Vibeskolen er der ikke udskiftet udvendige døre og vinduer, men dagslysindfaldet er en relevant faktor for vurdering af det visuelle indeklima på skolen, derfor er der simuleret på dagslysfaktoren.

I Velux Daylight Visualizer modellerer man sin bygning eller rum op, som man gerne vil simulere. Når man beregner dagslysfaktor, er bygningens placering og orientering afgørende faktorer. Bygningens placering på kloden påvirker mængden og intensiteten af sollys, bygningen modtager på forskellige tidspunkter af året. Eksempelvis vil en bygning i den nordlige halvkugle modtage mere direkte sollys fra syd og mindre fra nord, og omvendt for den sydlige halvkugle.

Bygningens orientering i forhold til solen, især dens facadevægge, påvirker hvor meget direkte sollys de elever og lærer modtager i løbet af dagen. En facade, der vender mod syd vil typisk modtage mere sollys end en facade, der vender mod nord. Dette har stor indflydelse på dagslysfaktoren.

Landskabsfunktioner, såsom andre bygninger og træer, kan skygge for sollys og påvirke dagslysfaktoren i et område. Derfor er det vigtigt at tage hensyn til disse faktorer, når man placerer en bygning.

I dette projekt er der valgt at simulere på tre lokaler, hvor disse tre udvalgte lokaler er udvalgt på baggrund af deres placering i bygningen. Den modellerede model, i nedenstående figur 17, er et udsnit af den samlede bygning og skal forestille undervisningskam 3 og 4. Lokale 1 og 2 er placeret i kam 3 og lokale 3 er placeret i kam 4 som er det yderste kam og som vender mod øst. Lokale 1 er umiddelbart det lokale som kunne forventes at have det mindst daglysindfald, da dette lokaler ligger i bunden af den U formede model og som vil opleve skygge fra den resterende bygningsmasse i længere perioder af dagen. Lokale 2 og 3 er valgt, da disse er de to lokaler der umiddelbart er bedst placeret i forholdt til dagslysindfaldet grundet deres yderlige placering på undervisningskammende og derved ligger de mere frit tilgængelig for dagslys og med mindre mulighed for skyggende perioder. Bygningens design og layout, herunder størrelse og placering af vinduer er opmålt og indtastet i de faktiske mål, da disse spiller en vigtig rolle for at kunne simulere dagslysfaktoren.



Figur 17, Oversigtsbillede for placering af de tre lokale der er benyttet til simulering af dagslys inkl. 3D model fra Velux Daylight Visualizer

Location: Copenhagen	Bredde- og længdegrad: Longitude: 12.340 Latitude: 55.400	Orientation: Degrees 340
-------------------------	---	-----------------------------

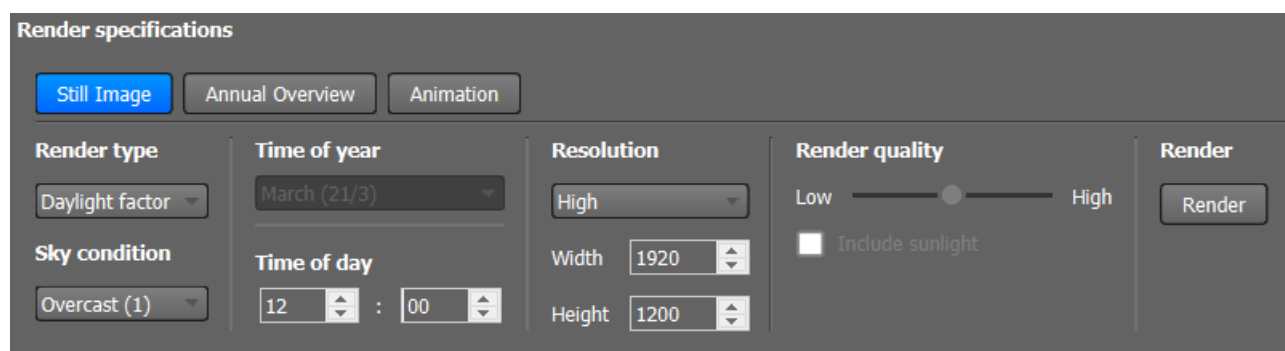
Figur 18, Viser simuleringsbygningens placering, længde og breddegrad samt orientering

I processen med modellering af bygningen skal der vælges, hvilke overfalde og materialer der er i lokalerne. I tabel 6 herunder er det vist, hvilke indata der indtastet, som ligger til grund for simuleringerne. For LT værdi (Lystransmittans) er data for de eksakte glas der er monteret i døre og vinduer på skolen i henhold til (Pilkington, 2021).

Tabel 6, Oversigt over indata der er benyttet i forbindelse med dagslyssimuleringerne

Gulv	Linoleum, beige	Properties Reflectance: 0,479 Roughness: 0,030 Specularity: 0,300
Loft	Rockfon, hvid	Properties Reflectance: 0,840 Roughness: 0,030 Specularity: 0,000
Væg	Beton, hvid	Properties Reflectance: 0,840 Roughness: 0,030 Specularity: 0,100
Tag	Tagpap, sort	Properties Reflectance: 0,000 Roughness: 0,010 Specularity: 0,100
Døre, vinduer	Glas	Properties Transmittance: 0,650

Når bygning er færdigmodelleret, er den klar til at blive simuleret. Dette gøres i fanen render 'specifications' i programmet Velux Daylight Visualizer. Her er der taget stilling til, hvad man vil simulere om det er dagslysfaktor, luminans eller illuminans. For projektet for Vibeskolen simuleres der på dagslysfaktoren og der vælges 'overcast' under fanen 'sky condition' i henhold til forståelser fra (Tools, 2022). For resolution er der for disse simuleringer valgt 'high'.



Figur 19, Oversigt for simuleringens specifikationer i Velux Daylight Visualizer

4.4 Akustisk indeklima

I projekt vil der blive foretaget simuleringer ved hjælp af 'Troldekt Akustisk Beregner' for at undersøge akustikken og efterklangstiden i lokalerne før og efter renovering med nye lofter. Troldekt Akustisk Beregner er et softwareværktøj udviklet af Troldekt til at analysere og simulere akustikken. Programmet bruges til at vurdere, hvordan forskellige akustiske forhold og løsninger påvirker lydmiljøet i rummet. Programmet udfører akustiske beregninger baseret på rummets dimensioner, materialevalg og andre akustiske parametre. Det kan beregne efterklangstiden og lydabsorption.

Troldekt Akustisk Beregner anvender simuleringsalgoritmer til at forudse, hvordan forskellige akustiske løsninger, herunder loftmaterialer og -konstruktioner, vil påvirke det samlede lydmiljø i rummet. Det kan simulere forskellige scenarier for at finde den mest optimale akustiske løsning. Programmet tillader brugerne at indtaste og justere en række parametre, herunder rummets dimensioner, materialeegenskaber og lydkilder, for at tilpasse beregningerne til specifikke projekter og krav. Beregneren tilbyder grafisk visualisering af resultaterne, så brugeren kan se, hvordan efterklangstiden og absorptionsarealet er. Dette gør det lettere at identificere problemområder og evaluere forskellige løsningsforslag. Programmet genererer detaljerede rapporter baseret på de akustiske beregninger og simuleringer. Disse rapporter indeholder grafer, der hjælper med at forstå og tolke resultaterne.

Simuleringerne vil give mulighed for at undersøge, hvordan de nye lofter, som er monteret under renovering, har påvirket akustikken i rummene. Det kan analyseres om efterklangstiden er optimal for undervisningslokalerne og lever op til de akustiske standarder og retningslinjer for et godt indeklima.

Som angivet i DS/EN 12354-6:2004, som omhandler bygningsakustik og beregning af bygningers akustiske egenskaber, så laves beregninger for efterklangstiden både med og uden inventar. For inventar er der registeret på skolen, hvad der er af inventar i lokalerne, som alt sammen er blevet opmålt. Det bliver i beregningerne angivet som ekstra absorbent og angivet i enheden m^2 . For absorptionskoefficienter på inventar er data hentet på henholdsvis (Dampa, 2002), (Nordic, 2009) og (Guldbrand, u.d.).

Herunder ses indata fra beregningsprogrammet fra både før og efter renovering.

Før renoveringen

Tabel 7, Viser benyttet indata til simulering af efterklangstid før renoveringen, i tabellen ses oplyst konstruktioner med tilhørende valg af materiale og dets absorptionskoefficienter. Tabellen viser også de ekstra absorberter der tilføjet med deres

Gulv	58.52 m ²	3) Kork, gummi eller vinyl på beton
	125hz: 0.04 250hz: 0.04 500hz: 0.05 1000hz: 0.05 2000hz: 0.03 4000hz: 0.02	
Ekstra absorberent	12,74 m ²	Bord med fineret træplade og stål ben
	125hz: 0,2 250hz: 0,2 500hz: 0,3 1000hz: 0,4 2000hz: 0,5 4000hz: 0,5	
Ekstra absorberent	3,8 m ²	Træstol
	125hz: 0,1 250hz: 0,1 500hz: 0,1 1000hz: 0,2 2000hz: 0,4 4000hz: 0,5	
Ekstra absorberent	1,3 m ²	Bogreol
	125hz: 0,05 250hz: 0,1 500hz: 0,15 1000hz: 0,25 2000hz: 0,35 4000hz: 0,4	
Væg	76.63 m ²	7) Pudset og malet mursten eller beton
	125hz: 0.01 250hz: 0.01 500hz: 0.01 1000hz: 0.02 2000hz: 0.02 4000hz: 0.02	
Ekstra absorberent	3,6 m ²	Whiteboard
	125hz: 0,3 250hz: 0,2 500hz: 0,15 1000hz: 0,1 2000hz: 0,05 4000hz: 0,05	
Ekstra absorberent	2,4 m ²	Opslagstavle
	125hz: 0,2 250hz: 0,74 500hz: 0,94 1000hz: 0,94 2000hz: 0,94 4000hz: 0,94	
Dør	1.81 m ²	2) Massiv trædør
	125hz: 0.14 250hz: 0.1 500hz: 0.06 1000hz: 0.08 2000hz: 0.1 4000hz: 0.1	
Vindue	5.99 m ²	1) Termoruder 3+12+3 mm
	125hz: 0.25 250hz: 0.2 500hz: 0.1 1000hz: 0.05 2000hz: 0.02 4000hz: 0.02	
Ekstra absorberent	17,675 m ²	Fortræksgardin
	125hz: 0,3 250hz: 0,45 500hz: 0,65 1000hz: 0,56 2000hz: 0,59 4000hz: 0,71	
Loft	58.52 m ²	Trapezprofileret stålplade 0,8mm perforeret, 60mm mineraluld
	125hz: 0,42 250hz: 0,75 500hz: 0,90 1000hz: 0,80 2000hz: 0,37 4000hz: 0,33	

Efter renoveringen

Tabel 8, Viser benyttet indata til simulering af efterklangstid efter renoveringen, i tabellen ses oplyst konstruktioner med tilhørende valg af materiale og dets absorptionskoefficienter. Tabellen viser også de ekstra absorberter der tilføjet med deres

Gulv	58.52 m ²	3) Kork, gummi eller vinyl på beton
	125hz: 0.04 250hz: 0.04 500hz: 0.05 1000hz: 0.05 2000hz: 0.03 4000hz: 0.02	
Ekstra absorberent	12,74 m ²	Bord med fineret træplade og stål ben
	125hz: 0,2 250hz: 0,2 500hz: 0,3 1000hz: 0,4 2000hz: 0,5 4000hz: 0,5	
Ekstra absorberent	3,8 m ²	Træstol
	125hz: 0,1 250hz: 0,1 500hz: 0,1 1000hz: 0,2 2000hz: 0,4 4000hz: 0,5	
Ekstra absorberent	1,3 m ²	Bogreol
	125hz: 0,05 250hz: 0,1 500hz: 0,15 1000hz: 0,25 2000hz: 0,35 4000hz: 0,4	
Væg	76.63 m ²	7) Pudset og malet mursten eller beton
	125hz: 0.01 250hz: 0.01 500hz: 0.01 1000hz: 0.02 2000hz: 0.02 4000hz: 0.02	
Ekstra absorberent	3,6 m ²	Whiteboard
	125hz: 0,3 250hz: 0,2 500hz: 0,15 1000hz: 0,1 2000hz: 0,05 4000hz: 0,05	
Ekstra absorberent	2,4 m ²	Opslagstavle
	125hz: 0,2 250hz: 0,74 500hz: 0,94 1000hz: 0,94 2000hz: 0,94 4000hz: 0,94	
Dør	1.81 m ²	2) Massiv trædør
	125hz: 0.14 250hz: 0.1 500hz: 0.06 1000hz: 0.08 2000hz: 0.1 4000hz: 0.1	
Vindue	5.99 m ²	1) Termoruder 3+12+3 mm
	125hz: 0.25 250hz: 0.2 500hz: 0.1 1000hz: 0.05 2000hz: 0.02 4000hz: 0.02	
Ekstra absorberent	17,675 m ²	Fortræksgardin
	125hz: 0,3 250hz: 0,45 500hz: 0,65 1000hz: 0,56 2000hz: 0,59 4000hz: 0,71	
Loft	58.52 m ²	Rockfon Akustik Sonar A15/24
	125hz: 0,5 250hz: 0,9 500hz: 0,1 1000hz: 0,9 2000hz: 1 4000hz: 1	

5. Resultater

I afsnit 5 præsenteres alle resultater fra de udførte undersøgelser og simuleringer. Resultatafsnittet er opdelt i to dele: Første del omhandler resultaterne af de udførte undersøgelser og simuleringer. I anden del sammenholdes resultaterne med krav og grænseværdier fra Branchevejledningen for indeklime i folkeskoler (Vorre, 2021).

5.1 Resultater fra forundersøgelser og de nye undersøgelser

Nedenstående afsnit præsenterer resultaterne for både de gamle og de nye undersøgelser, der er foretaget før og efter renoveringen af Vibeskolen i Ullerslev, for alle de fire indeklime områder 'Termisk', 'Atmosfærisk' inkl. PCB, 'Visuelt' og 'Akustisk indeklime'. Resultaterne sammenlignes med formålet af at kunne illustrere den potentielle forbedring, der er sket efter renoveringen, og som kan anvendes til at besvare projektets problemformulering med.

Gældende for det termiske og atmosfæriske indeklime er, at der udtrukket dagsmålinger for en given dag efter renoveringen for at få et mere detaljeret indblik i den aktuelle status. Disse udtræk er taget efter gennemførelsen af renoveringsprojektet og vil blive præsenteret og analyseret i det følgende afsnit. Ved at sammenligne resultaterne før og efter renoveringen samt ved at inkludere dagsmålinger efter renoveringen, er det muligt at få et omfattende billede af renoveringens effekt, som skaber grundlag for en mere nuanceret vurdering af forbedringerne på Vibeskolen

5.1.1 Termisk indeklime

Med valget om at montere mekanisk behovstyret ventilation, som er koblet op på kommunens CTS-system, har skolen/driftspersonalet fået flere muligheder for at styre temperaturen i undervisningslokalerne ved hjælp af indblæsning temperaturen fra bygningens ventilationsanlæg eller radiatorsystem. Et centralt element for at sikre, at temperaturen i undervisningslokalerne er optimale, er der flere opsætningsmuligheder i CTS-systemet. I CTS-systemet kan der fastsættes givende temperaturspænd som definerer det interval, hvor temperaturen kan variere inden for en given periode.

Fordelene ved fastsatte temperaturspænd på CTS er mange. For det første bør det sikre en ensartet og behagelig temperatur i bygningerne, hvilket bidrager til trivsel og produktivitet. Derudover hjælper det med at reducere energiforbruget ved at undgå overdreven opvarmning eller køling, hvilket fører til økonomiske besparelser og miljømæssige fordele.

CTS-systemet giver mulighed for at fastsætte driftstider for opvarmning, fastsætte setpunkt for rumtemperaturen om dagen og om natten og sætte en maximal rumtemperatur. Det er også muligt i systemet at se rumtemperatur i realtid og se hvor meget radiatorerne bidrager til rumopvarmningen.

Skolens specifikke opsætning fremgår af figur 20. Setpunkt rumtemp. dag indstillet til 21 °C, hvilket skaber en behagelig og produktiv atmosfære for både elever og undervisere i løbet af dagen. Setpunkt rumtemp. nat er justeret til 19 °C for at tillade en let nedkøling af lokalerne om natten. Desuden er det maksimale temperaturgrænse sat til 24 °C for at forhindre overophedning i undervisningslokalerne. Dette er afgørende for at opretholde et behageligt læringsmiljø og undgå ubehag eller koncentrationsproblemer, som kan opstå ved for høje temperaturer.

Måleperioden, hvor undersøgelserne er taget, har ligget i marts/april måned 2024, hvor den udendørs døgnmiddel temperatur i marts var 5,5°C og højeste målte udetemperatur var 12,7°C. I april var døgnmiddel temperaturen 8,1°C og højeste målte udetemperatur 19,6°C (DMI, 2024).

Lokale	Rum 21	Rum 22	Rum 23	Rum 24	Rum 25	Rum 26	Rum 27.1
Drift tider - varme	Se tider						
Rumtemperatur	20,9 °C	20,0 °C	19,9 °C	19,6 °C	19,9 °C	19,5 °C	20,0 °C
Setpunkt rumtemp. dag	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C	21,0 °C
Setpunkt rumtemp. nat	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C	19,0 °C
Radiator ventiler	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Max rum temp.	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C	24,0 °C

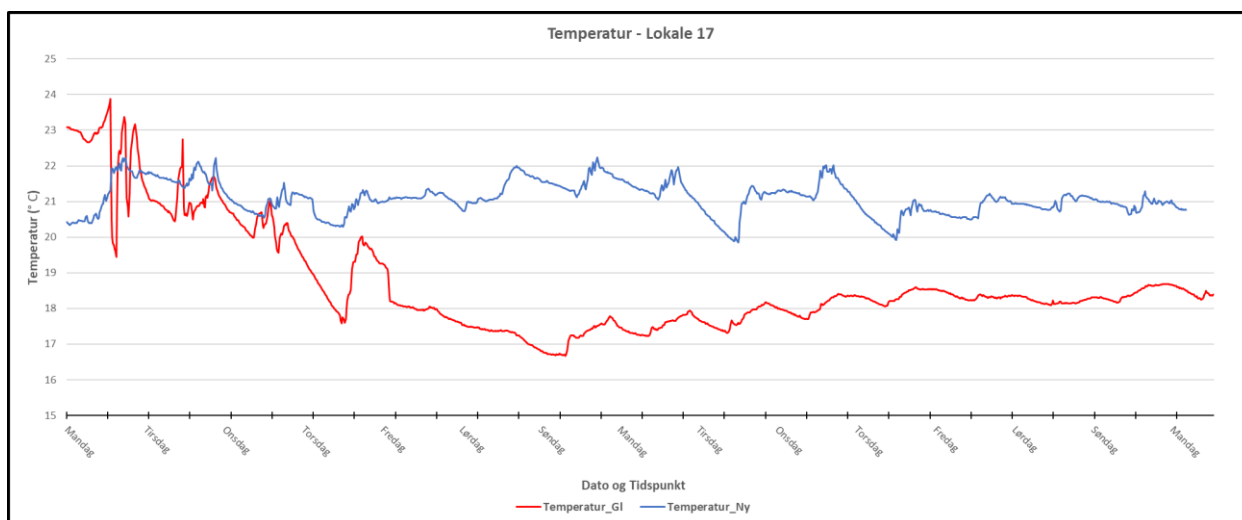
Figur 20, Viser justeringsparametre fra CTS systemet for det termisk indeklima

Lokale 17

Det overordnede resultat for ny og gl. måling

Figur 21 viser temperaturforløbet for de målte værdier fra undersøgelserne, som er pågået inden og efter renovering af vibeskolen. Den røde kurve viser temperaturforløbet for måleperioden inden renovering, og denne kurve viser, at temperaturforløbet er noget svingende i karakter, og temperaturen har et temperaturspænd fra 24 °C i om mandagen til 17 °C i weekenden om søndagen, som er væsentligt under den ønskede nattemp. Det ses også, at der i den efterfølgende uge er lave temperature i lokalet trods tegn på tilstedeværelse af personer, som ses på de små peak på grafen.

Den blå kurve viser de nye målinger efter renoveringen. På grafen viser den blå kurve mere stabilitet sammenholdt med den røde. Her ses et temperaturspænd på mellem 20 °C til 22 °C som er lige imellem den ønskede rumtemp. på 21 °C i dagstimerne, hvor lokalerne er i brug.

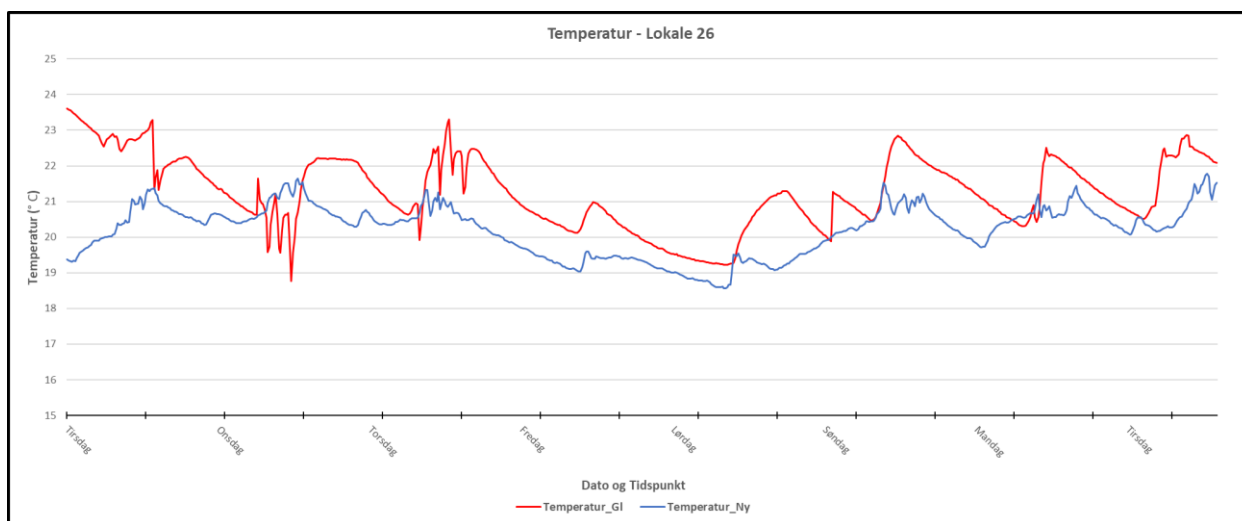


Figur 21, Viser resultatet af temperaturforløbet undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere temperaturforløbet inden renoveringen men den blå kurve indikere temperaturforløbet efter renoveringen

Det overordnede resultat for ny og gl. måling

Figur 22 viser temperaturforløbet for de målte værdier fra undersøgelserne, som er pågået inden og efter renovering af Vibeskolen. Som det fremgår af den røde kurve, så er temperaturforløbet ustabil og af svingende karakter dog i mindre grad end for samme periode i lokale 17. Kurven har et temperaturspænd fra 23,5 °C i om mandagen til 18,8 °C natten mellem onsdag og torsdag, hvor det her må det antages, at nattemperaturen har været 1-1,5 °C koldere end de resterende nætter, da disse ligger meget stabilt omkring 20 °C. I dagstimerne svinger temperaturforløbet mellem 22-23 °C som er inden for det acceptable, men over de ønskede 21 °C.

Den blå kurve ligger væsentligt mere stabilt sammenholdt med den røde og holder sig pænt omkring de 21 °C, som er den ønskede rumtemperatur i dagstimerne. Om natten når den ikke helt den ønskede nattemp. på 19 °C pånær i weekenden, hvor den ligger pænt på 20 °C. De små peaks på grafen tydeliggør personbelastning i lokalerne i løbet af ugen, da der her ses en temperaturstigning kontra weekenden, hvor temperaturen holdes nede.



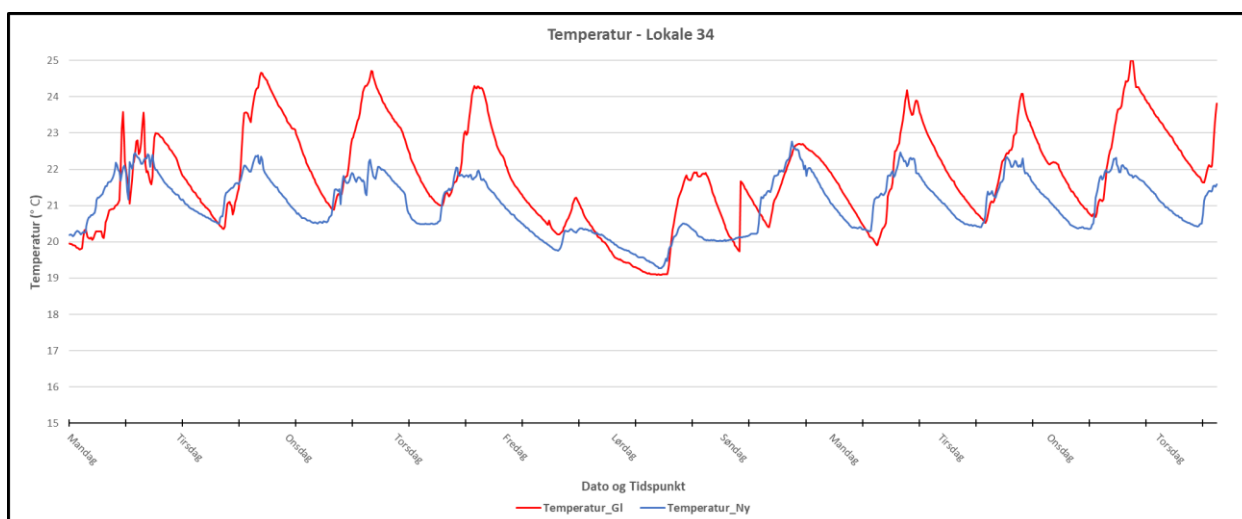
Figur 22, Viser resultatet af temperaturforløbet i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere temperaturforløbet inden renoveringen men den blå kurve indikere temperaturforløbet efter renoveringen

Det overordnede resultat for ny og gl. måling

Figur 23 viser temperaturforløbet for de målte værdier fra undersøgelserne som er pågået inden og efter renovering af Vibeskolen.

Som det fremgår af den røde kurve er temperaturforløbet utrolig svingende hen over ugen, og temperaturforløbet har et temperaturspænd fra 25 °C om dagen den varmeste dag til 19 °C om natten i weekenden mellem lørdag og søndag. På grafen på figur 23 for lokale 34 ses høje temperature alle ugens dage og med peaks i dagstimerne, der ligger helt oppe omkring 25 °C som anses for at være uacceptabelt, da den ønskede temperatur i dagstimerne bør ligge omkring 21 °C. De meget høje dagstemperature formodes at være grundet personbelastningen i lokalerne og muligvis manglende udluftning i løbet af skoledagen.

Den blå kurve har fine udsving henover måleperioden, men den blå kurve ses dog væsentligt mere stabil med et temperaturspænd fra lige over 22,4 °C til 19,2 i weekenden. For den blå kurve bekræftes personbelastningen i lokalerne, da temperaturen stiger i dagstimerne, hvor der er elever i lokalerne, og falder herefter igen om eftermiddagen. Den blå kurve har minimerede temperatur peak kontra den røde, og det må formodes at være grundet den mekaniske ventilation som sikrer, at rumtemperaturen forbliver på et mere acceptabelt niveau henover dagstimerne.



Figur 23, Viser resultatet af temperaturforløbet i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere temperaturforløbet inden renoveringen men den blå kurve indikere temperaturforløbet efter renoveringen

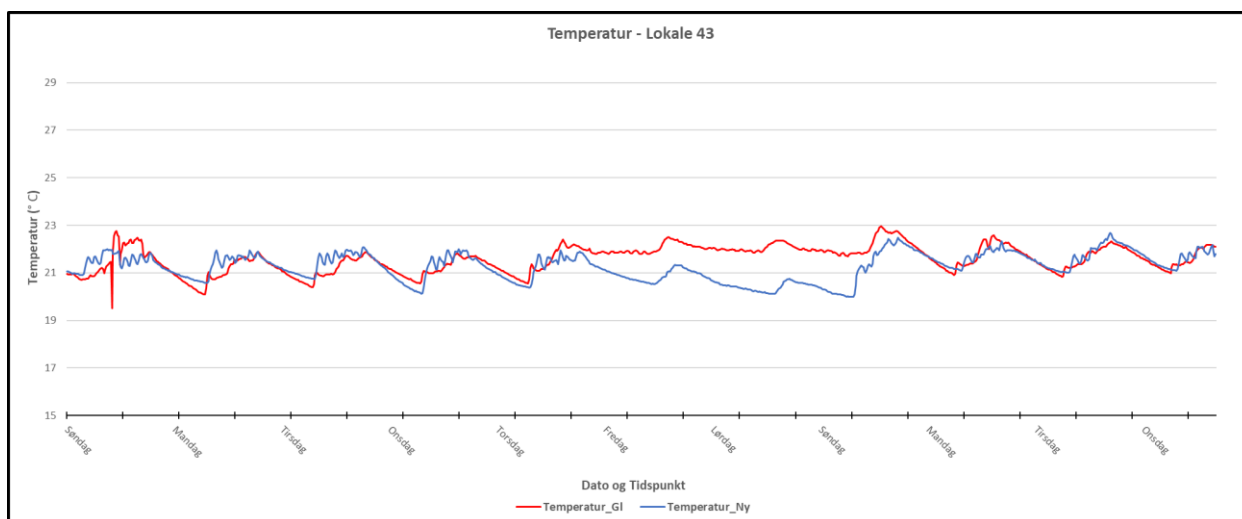
Lokale 43

Det overordnede resultat for ny og gl. måling

Figur 24 viser temperaturforløbet for de målte værdier fra undersøgelse som er pågået inden og efter renovering af Vibeskolen.

Den røde kurve viser temperaturforløbet inden renoveringen. I nedenstående figur fremgår det, at den røde kurve er noget mere stabil end de tidligere grafer fra andre lokaler. Temperaturspændet for lokale 43 er væsentligt mindre end på graferne for de forgangene lokaler og ligger mellem 23 °C og 19,5 °C som dog er en meget kort periode fra natten mellem søndag og mandag i den første uge på grafen. Generelt ses der på grafen små udsving hen over måleperioden og med temperaturer der ligger mellem 21-22 °C i dagstimerne. Disse temperaturer anses ikke som værende uacceptable, da de ligger meget tæt på den ønskede rømtemperatur på 21 °C i dagstimerne. I weekenden ses der heller ikke de store udsving på grafen. Dette formodes at være grundt høje udetemperaturer, da der ikke er tegn på personbelastning af lokalet i weekenden grundet den meget stabile kurve. Generelt følges den blå og røde kurve fint ad for dette lokale.

På den blå kurve ses heller ikke de væsentlige udsving, og de to kurver følges flot ad. Der er enkelte steder, hvor det ses, at den blå kurve, altså kurven der viser temperaturforløbet efter renoveringen, at temperaturen i dagstimerne holdes en smule lavere end på den røde, i spændet omkring 0,5 °C. Den største forskel ses henover weekenden, hvor kurven her formår at ligge nede på et niveau svarende til nattemperaturen mere eller mindre konstant henover weekenden.



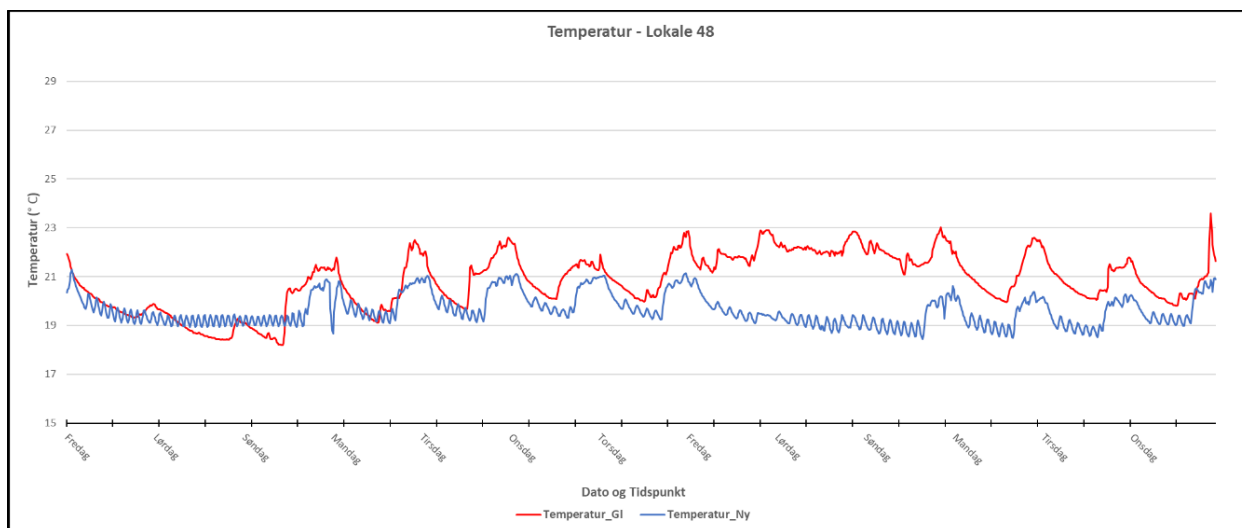
Figur 24, Viser resultatet af temperaturforløbet i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere temperaturforløbet inden renoveringen men den blå kurve indikere temperaturforløbet efter renoveringen

Det overordnede resultat for ny og gl. måling

Figur 25 viser temperaturforløbet for de målte værdier fra undersøgelserne som er pågået inden og efter renovering af vibeskolen.

Som det fremgår af den røde kurve så ses denne af svingende karakter med et temperaturspænd fra 18,2 °C til 23,5°C. Temperaturerne henover den første weekend i måleperioden ligger fint mellem 19,5 og 18,5 som er tæt ved den ønskede temperatur når bygningen ikke er i brug, hvor en temperatur ideelt er på 19 °C. Den efterfølgende ugen ses der udsving i kurven, hvor temperaturen peaker mellem 21,5 og 22,5 i dagstimerne. Det er 1-1,5 °C over den ønskede temperatur på 21 i dagstimerne. Henover anden weekend i måleperioden ses høje temperature hele weekenden uden væsentlig tegn på personbelastning. Derfor formodes der er være høje udendørs temperature der er medvirkende til, at den ønskede nattemperatur ikke nås.

På den blå kurve ses det, at den følger den røde kurve meget fint. Den blå kurve ligger dog igennem hele måleperioden under den røde og opnår ikke de højde peaks som den røde. Faktisk ligger den blå kurve nøjagtigt som ønsket fra kommunens side med dagstemperaturer på 21 °C og nattemperaturer på 19 °C. Også i begge weekender formår temperaturen at blive holdet nede på et rigtig godt niveau som ønsket. Den blå kurve for lokale 48 anses for at være meget acceptable og lige efter bogen.



Figur 25, Viser resultatet af temperaturforløbet i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere temperaturforløbet inden renoveringen men den blå kurve indikere temperaturforløbet efter renoveringen

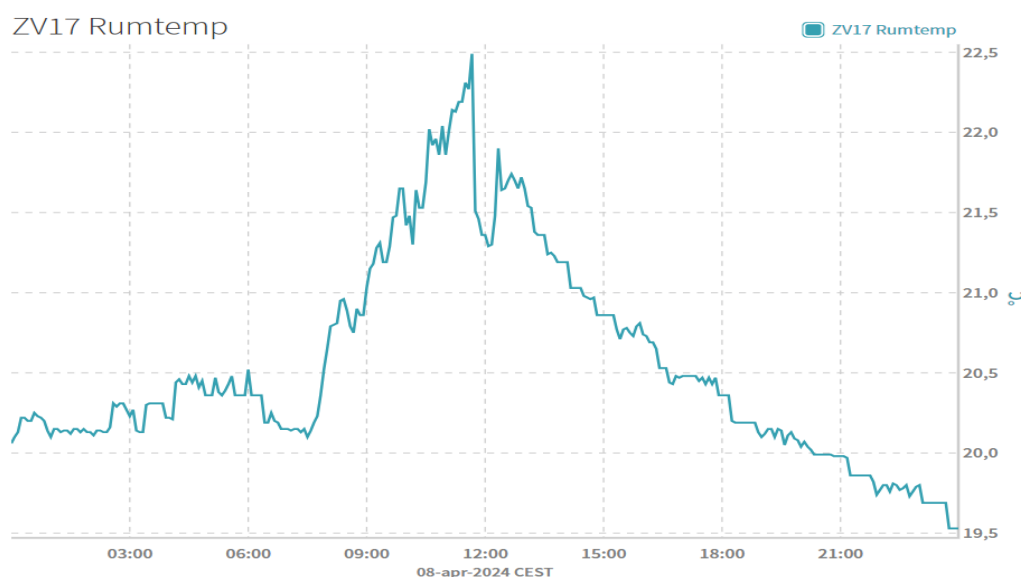
Resultater på dagsbasis

Der er udtaget en dagsgraf for temperaturen i lokale 17 d. 8. april 2024. Dagsgrafen er mere detaljeret og giver et godt overblik over temperaturforløbet hen over dagen. Grafen er tilsvarende den blå kurve fra de tidligere grafer og viser temperaturforløbet efter renovering af skolen.

Som det ses på nedenstående figur 26, er temperaturen hen over natten og de tidlige morgentimer ikke nede omkring den ønskede natsænkningstemperatur som kommunen ønsker på 19 °C, men ligger omkring 20-20,5 °C. Omkring kl. 05.00 ses et lille opsving i kurven som formodes at være rengøringens tilstedeværelse, der påvirker temperaturen der.

Klokken 08.00 begynder kurven at stige voldsomt og er stødt stigende ind til kl. 12.00, hvor temperaturen nr 22,5°C. Der kan være flere forklaringer på dette, men den største faktor til temperaturstigningen må formodes at være fordi elever og undervisere møder ind i lokalet der. En anden faktor der kan spille ind er lokalernes vinduesfacade som er orienteret mod øst og der vil derfor være et stort varmetilskud til lokalet fra solen, hvis vejret har været godt på det givende tidspunkt.

Temperaturen falder ved middagstid til mellem 21-21,5 °C. Det formodes at være grundet spisepause, og fordi lokalet huser de mindste elever som tilbringer frikvarteret udendørs. Ved frikvarterets slutning ses igen et opsving i temperaturen til næsten 22 °C ind til det ud fra grafens forløb ligner, at skolendagen slutter omkring kl. 13.00, hvor temperaturen falder resten af dagen til et nieavu omkring den ønskede natsækningsstemperatur på 19 °C.



Figur 26, Viser resultatet af temperaturforløbet over et døgn for lokale 17 d. 8 april

5.1.2 Atmosfærisk indeklima

Under renovering af Vibeskolen blev der, som beskrevet i afsnit 5.1.1, monteret mekanisk behovstyret ventilation, som er koblet op på kommunens CTS-system. Ventilationssystemet driver efter CO₂ og temperaturfølere i undervisningslokalerne. Dette giver gode indreguleringsmuligheder og kan være behjælpeligt med at opnå et acceptabelt atmosfærisk indeklima. En vigtig faktor for at sikre, at CO₂ niveauet i undervisningslokalerne er optimale er opsætningen i CTS-systemet. I CTS-systemet kan der fastsættes max CO₂ niveauer i undervisningslokalerne som ventilationsanlægget driver efter. Det er også muligt at fastsætte en max flow på både ind og ud. Dette kan hjælpe til eksempelvis at mindste trækgener, som kan opstå ved for høje indblæsningshastigheder.

I CTS-systemet kan man få driftsdata i realtid med overblik over aktuelle CO₂ niveauer, hvor mange m³/h der blæses ind og suges ud samt aktuel spjældposition.

I denne specifikke opsætning, som det fremstår af nedenstående figur 27, som er fra kam 2 på Vibeskolen, er max CO₂ niveau indstillet til 1000 ppm og max mulig flowhastighed 800 m³/h.

Max rum CO2 niveau	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm
Rum CO2 niveau	702 ppm	663 ppm	438 ppm	493 ppm	599 ppm	500 ppm	548 ppm	549 ppm
VAV spjæld indbl.	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr
VAV spjæld udsug.	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr
VAV spjæld Flow SP	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr	0 m ³ /hr
Max mulig flow Ind/Ud	800 m ³ /H	800 m ³ /H	800 m ³ /H	800 m ³ /H	800 m ³ /H	800 m ³ /H	225 m ³ /H	225 m ³ /H
Aktuel spjæld indbl. position	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Aktuel spjæld udsug. position	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
VAV spjæld SP fra reulator	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Figur 27, Viser justeringsparametre fra CTS systemet for det atmosfæriske indeklima

Lokale 17

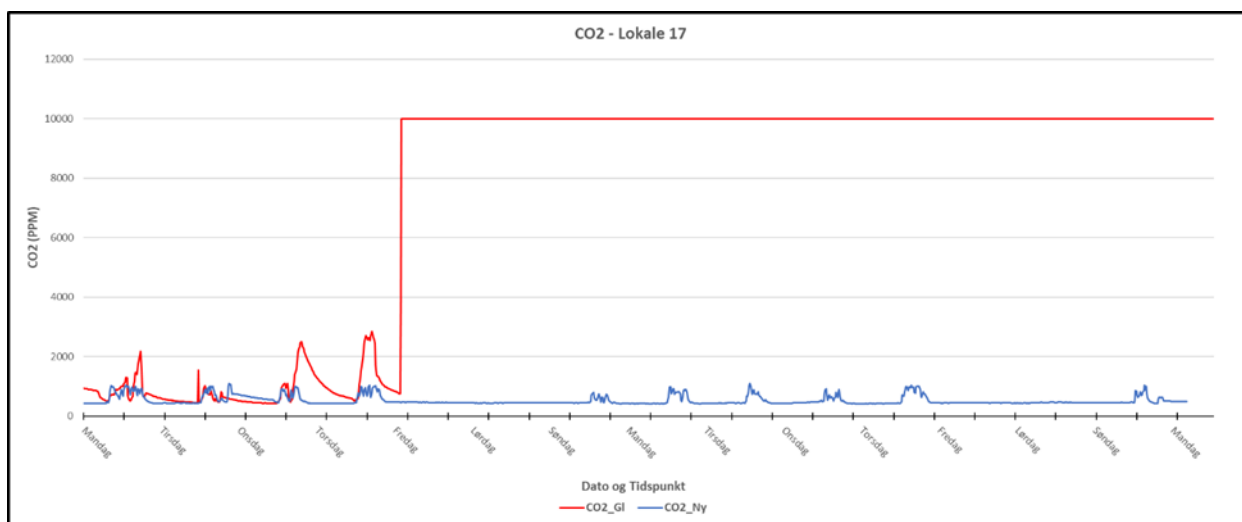
Resultat for ny og gl. måling

Figur 28 viser den målte CO₂ koncentrationen fra undersøgelserne, som er pågået inden og efter renovering af Vibeskolen.

Som det fremgår af den røde kurve som er CO₂ koncentrationen målt inden renoveringen, så har den tydelige peaks i lange perioder af skoledagen og med dage, hvor CO₂ koncentrationen er oppe over 2500 ppm, som er langt over grænseværdien på 1000 ppm. Der ses således en stor stigning første fredag i måleperioden, hvor CO₂ koncentrationen når et niveau på 10.000 ppm. Dette må anslås at være en målerfejl og der bør derfor ses bort fra dette, da det ikke er retvisende.

Nedenstående figur 28 viser en stor forskel mellem den røde og den blå kurve. Den blå kurve markerer, som tidligere nævnt, CO₂ koncentrationen efter renovering. Den blå kurve ligger nemlig under den røde kurve.

På den blå kurve ses en tydelig stigning af CO₂ koncentration i dagstimerne, hvor der er elever i klasserne. CO₂ koncentrationen når et niveau omkring 1000-1200 ppm, når det er højest. I weekenden er CO₂ niveauet lavt, da det ligger på omkring 400-450, som anses for at være CO₂ koncentrationen udendørs. Koncentrationen derfor er stabilt som indikerer, at der ingen personbelastning har været i weekenden.



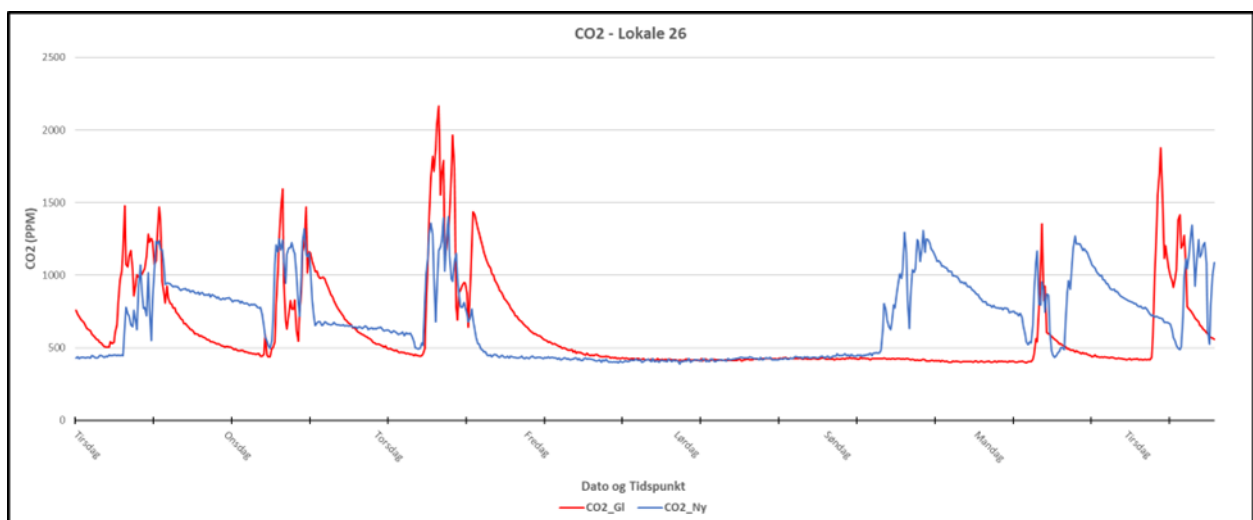
Figur 28, Viser resultatet for CO₂ koncentrationen i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere CO₂ koncentrationen inden renoveringen men den blå kurve indikere CO₂ koncentrationen efter renoveringen

Lokale 26

Resultat for ny og gl. måling

På figur 29 ses der en stigning i CO₂ koncentrationen alle hverdagene i måleperioden. Det fremgår også af figur 29, at der alle de målte dage forekommer en CO₂ koncentration flere gange i løbet af skoledagen, der når over grænseværdien på 1000 ppm. Der ses således en stor stigning i CO₂ koncentrationen ved skolen dagens start kl. 08.00 og igen efter skolens spisefrikvarter. Fælles for begge disse målinger er, at CO₂ koncentrationen når over 1500 ppm og en enkelt dag op over 2100 ppm. Hen over weekenden ligger kurven stabilt, da kurven ligger omkring et niveau på 400 ppm, som svarer til et udendørs niveau.

Den blå kurve følger den røde kurve, hvad angår op og nedsving på grafen. Der ses dog en forskel på, hvor højt CO₂ koncentrationen når op. For den blå kurve ses det, at de højste CO₂ koncentrationer ligger tilsvarende med den røde, men CO₂ koncentrationen ligger omkring 1200 ppm, når den når sit maks.



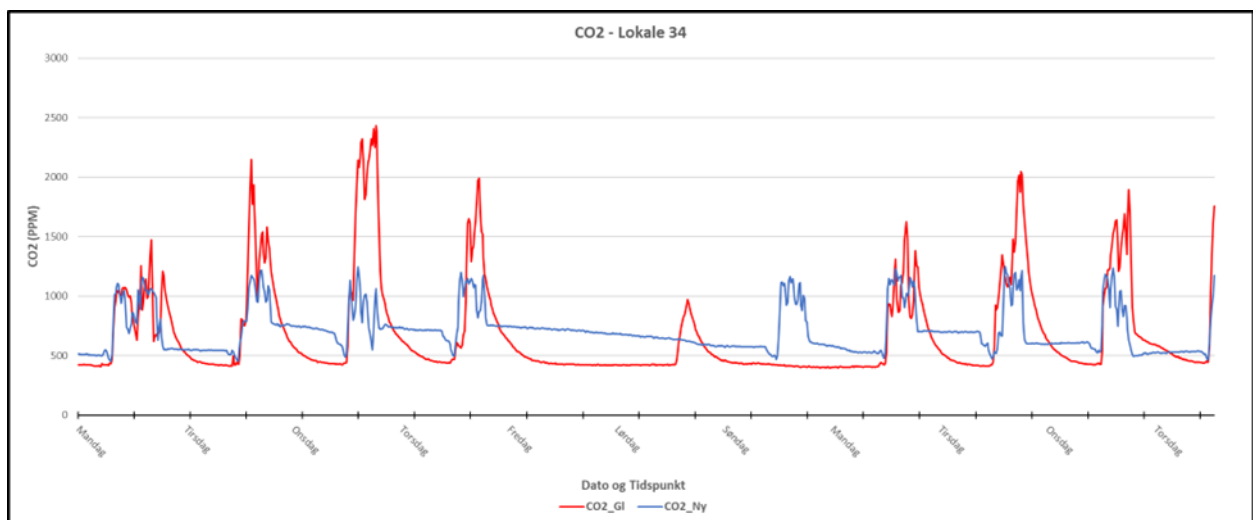
Figur 29, Viser resultatet for CO₂ koncentrationen i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere CO₂ koncentrationen inden renoveringen men den blå kurve indikere CO₂ koncentrationen efter renoveringen

Lokale 34

Resultat for ny og gl. måling

For den røde kurve på figur 30 ses der meget høje peak værdier for CO₂ koncentrationen. Alle hverdage hvor det antages at der er elever i undervisningslokalet, når CO₂ koncentrationen over grænseværdien på 1000 ppm. Som det fremgår af figur 30 så når CO₂ koncentrationen flere af dagene over 2000 ppm og en enkelt dag helt op på 2500 ppm. Om søndagen i weekenden ses der stigning på grafen. Det er uvist hvad denne stigning skyldes, men det kan muligvis være fordi der har været personbelastning i lokalet eller om det skyldes en forskydning i data for måleperioden.

Den blå kurve følger igen fint den røde med tegn på elever i lokalet alle ugens hverdage. Som det fremgår af figur 30 når CO₂ koncentrationen også over grænseværdien på 1000 ppm alle dage, dog er niveauet væsentligt lavere på 1100-1200 ppm når den er højest og der ses derfor stor forskel på før og efter renoveringen.



Figur 30, Viser resultatet for CO₂ koncentrationen i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere CO₂ koncentrationen inden renoveringen men den blå kurve indikere CO₂ koncentrationen efter renoveringen

Lokale 43

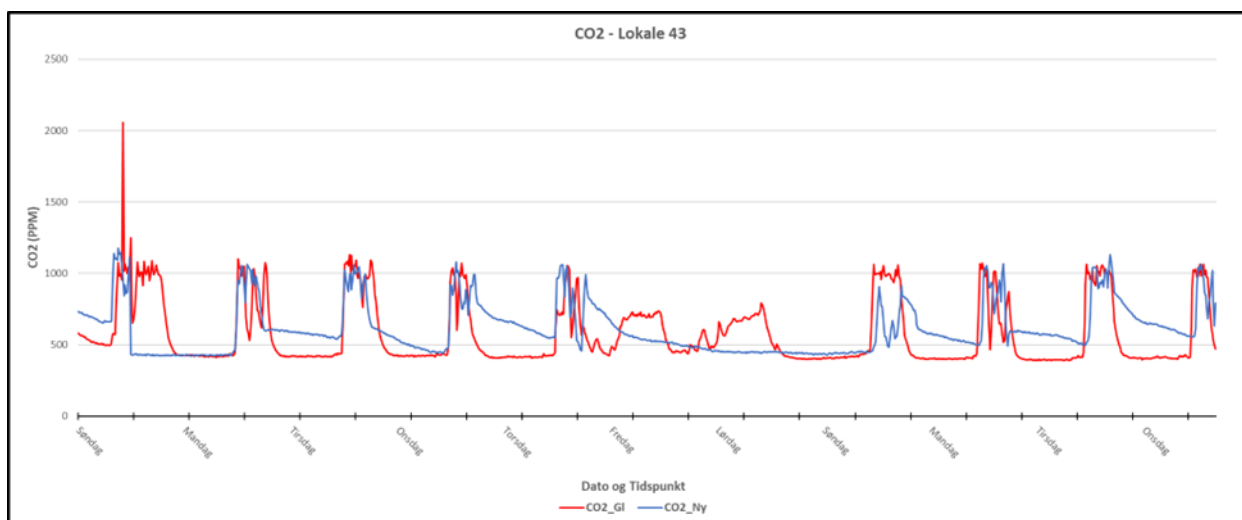
Resultat for ny og gl. måling

Figur 31 for lokale 43 skiller sig lidt ud fra de målinger der er foretaget i de andre undervisningslokaler, da der på denne måling ikke ses de store forskelle mellem den røde og den blå kurve, som det gjorde sig gældende på de foregående målinger.

Det var ikke forventeligt at se, at CO₂ koncentrationen på den røde kurve lå jævnt omkring 1000-1100 ppm, som det højest hen over skoledagene. Det forventede billede var, at CO₂ koncentrationen lå højere, da den røde kurve er CO₂ koncentrationen inden skolens renovering, hvor undervisningslokalerne blev ventileret med naturligventilation.

Ud fra de oplysninger der er kommet fra skolens ledelse og lærere, har lokalerne ikke ændret anvendelse og derfor har samme elevnormering for begge måleperioder. Det er derfor bemærkelsesværdigt, at CO₂ koncentrationen ligger på så lavt et niveau uden mekaniskventilation inden renovering.

For den blå kurve ser grafen mere forventelig ud med CO₂ koncentrationer, som ligger omkring 1000 ppm med enkelte små peaks, hvor koncentrationen kommer over. Grafen for den blå kurve viser, at CO₂ koncentrationen holdes fint nede på et acceptabelt niveau, som overholder grænseværdierne til CO₂ koncentrationen på 1000 ppm.



Figur 31, Viser resultatet for CO₂ koncentrationen i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere CO₂ koncentrationen inden renoveringen men den blå kurve indikere CO₂ koncentrationen efter renoveringen

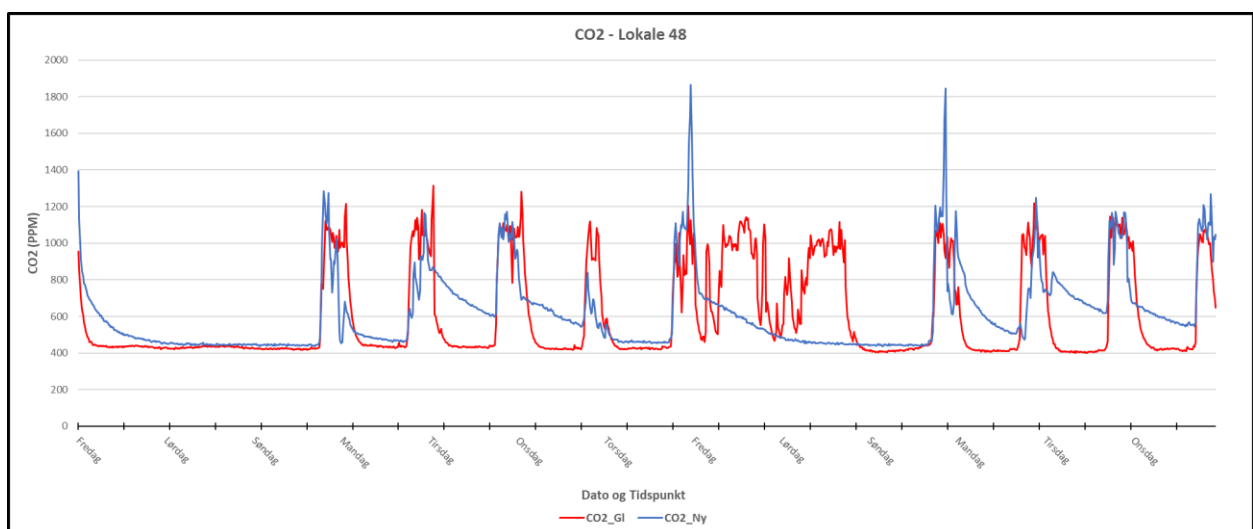
Lokale 48

Resultat for ny og gl. måling

Figur 32 viser et billede, som er meget sammenligneligt med lokale 43. Her ses det også, at de to kurver følger hinanden meget tæt. Igen var dette ikke forventeligt, da forskellen er før og efter renoveringen og der derfor var en forventning til, at CO₂ koncentrationen på den røde kurve inden renovering ville ligge højere end hvad målingerne viser.

Der ses stigninger i CO₂ koncentrationen alle hverdagene, så det indikerer, at der er personbelastning i undervisningslokalet. CO₂ koncentrationen når niveauer omkring 1200 ppm, når koncentrationen er højst, dog er dette i meget korte perioder.

Den blå kurve ligger tilsvarende den røde kurve omkring 1200 ppm, når CO₂ koncentrationen er højst, dog med et par enkelte undtagelser fredag og mandag, hvor CO₂ koncentrationen når over 1800 ppm. Det ser meget mærkværdigt se ud og det kunne tyde på en væsentligt højere personbelastning disse dage, da det tyder på, at ventilationen har været i drift disse dage. Ventilationens anlægget antages derfor at have været i drift, da CO₂ koncentrationen nedbringes relativt hurtigt begge dage.



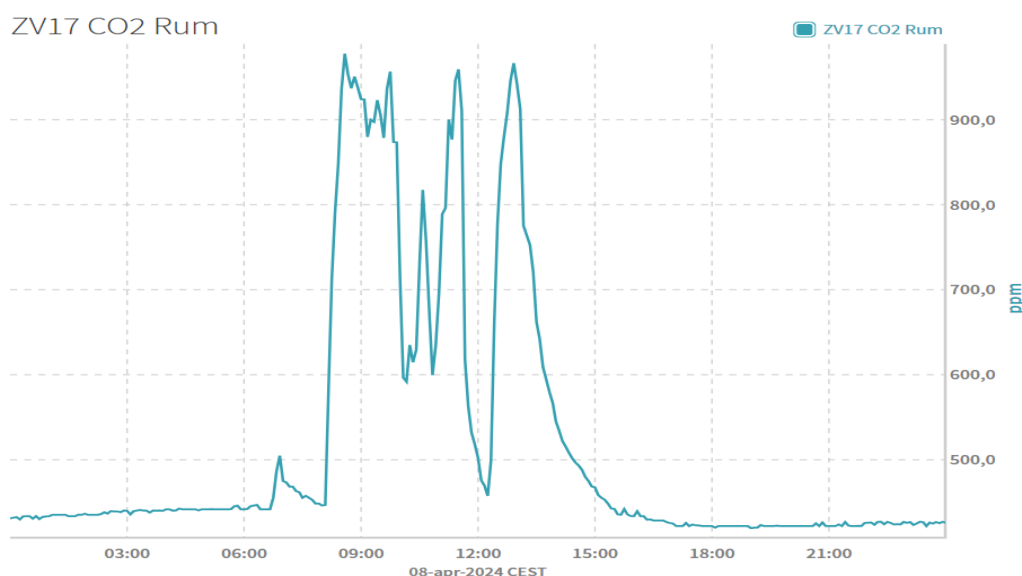
Figur 32, Viser resultatet for CO₂ koncentrationen i undervisningslokalet henover måleperioden for både før og efter renoveringen, rød kurve indikere CO₂ koncentrationen inden renoveringen men den blå kurve indikere CO₂ koncentrationen efter renoveringen

Resultater på dagsbasis

Der er udtaget en dagsgraf for temperaturen i lokale 17 d. 8. april 2024, som fremgår af nedenstående figur 33. Dagsgrafen er mere detaljeret og giver et godt overblik over CO₂ koncentrationen hen over dagen. Grafen er tilsvarende den blå kurve fra de tidligere grafer og viser CO₂ koncentrationen efter renovering af skolen. Som det ses på grafen, ligger CO₂ koncentrationen hen over natten og de tidlige morgentimer fint nede på et niveau omkring 400-450 ppm, som antages for at være tilsvarende CO₂ koncentrationen for en udendørs koncentration. Omkring kl. 07.00 ses en lille stigning på grafen, hvor CO₂ koncentrationen i lokalet stiger til 500 kortvarigt. Dette formodes at være rengøringen, der arbejder i undervisningslokalet. CO₂ koncentrationen bringes herefter ned igen.

Kl. 08.00 ses en stor stigning på grafen, hvor CO₂ koncentrationen stiger fra 450 ppm til 950-1000 ppm inden for meget kort tid. Dette tidspunkt er ved skolestart, og stigningen skyldes formentligt, at eleverne her møder ind. Efter halvanden time ses et større fald i CO₂ koncentrationen som tyder på, at eleverne her har dagens første frikvarter. Her nedbringes CO₂ koncentrationen til 600 ppm. Omkring middagstid kl. 11.45 er CO₂ koncentrationen igen høj og ligger omkring 1000 ppm og holdes derfor lige under grænseværdien på 1000 ppm. Der ses igen et stort fald i CO₂ koncentrationen kl. 12.00 som formentligt skyldes, eleverne forlader undervisningslokalet grundet dagens sidste frikvarter. Mens eleverne holder frikvarter, nedbringes CO₂ koncentrationen til 450 ppm meget hurtigt og effektivt og med stor hjælp fra den mekaniske ventilation.

Efter elevernes frikvarter ses igen en stor stigning på grafen, hvor CO₂ koncentrationen igen når et niveau omkring 950-1000 ppm. Dette for en kort periode inden, CO₂ koncentrationen nedbringes og skolen dagen formodes at være slut omkring kl. 14.00-14.30. Herefter falder CO₂ koncentrationen stille og roligt til den når et niveau tilsvarende udendørskoncentrationen på 400-450 ppm.



Figur 33, Viser resultatet af CO₂ koncentrationen over et døgn for lokale 17 d. 8 april

5.1.3 PCB

For vurdering af PCB renovering af Vibeskolen er der, som beskrevet i afsnit 4.2, udtaget luftprøver i lokale 41 og 48. Der er udtaget luftprøver med det mekaniske ventilationsanlæg i drift og luftprøver, hvor det mekaniske ventilationsanlæg er slukket.

Prøveresultaterne fremgår af tabel 9 herunder. I tabellen ses resultatet for de enkelte målinger. Da luftprøverne er udtaget som enkeltprøver skal disse tillægges $\pm 50\%$, for at få årsmiddelværdien. Af denne skal man tage udgangspunkt i det høje tal (markeret med fed i tabellen), da dette vil være tallet som danner grundlag for det endelige resultat af målingen. Luftprøverne er udtaget af Dansk Miljørådgivning A/S og sendt til akkrediteret analyse for indhold af PCB hos Højvang Laboratorier A/S.

I tabellen fremgår Sundhedsstyrelsens nedre og øvre aktionsværdier, og det er disse aktionsværdier som resultaterne holdes op imod. I afsnit 2.9.1 er Sundhedsstyrelsens aktionsværdier beskrevet herunder hvilke udfordringer der kan være forbundet med et PCB-niveau i indeluften ud fra de forskellige aktionsværdier. Det ønskede resultat af PCB-saneringer var at nedbringe PCB i indeluften til et niveau under den nedre aktionsværdier på 300 ng PCB/m³.

Som det fremgår af resultaterne, så ligger alle de fire prøver over sundhedsstyrelsens nedre aktionsværdi, som var målet med PCB-renoveringen og resultatet af PCB saneringerne kan altså ikke vurderes som acceptable.

De to undervisningslokaler bør have samme udgangspunkt, hvad angår PCB kilder, da de er placeret i samme undervisningskammer og konstrueret på samme måde med samme materialer. Lokale 41 er lokalet som er saneret med metoden, hvor man forsøger at fjerne PCB kilderne fysisk. Resultaterne her viser 470 ng PCB/m³ uden ventilation og 440 ng PCB/m³ med ventilation. I lokale 48 er forseglingsmetoden benyttet, hvor man her forsegl alle overflader direkte på PCB-primærkilder og overfalde som muligvis har optaget PCB med tiden. I lokale 48 er resultaterne 360 ng PCB/m³ uden ventilation og 310 ng PCB/m³ med ventilation. Af de to benyttede saneringsmetoder viser forseglingsmetoden sig i dette tilfælde at være mere effektiv end metoden med fysisk fjernelse af PCB-kilderne.

Resultaterne viser, at ventilationen er medvirkende til at holde PCB niveauet nede i undervisningslokalerne. For lokale 41 er der en procentmæssig forskel på 6,81% mellem luftprøver med og uden ventilation. For lokale 48 er forskellen 16,13%. Det kan derfor konkluderes, at det mekaniske ventilationsanlæg hjælper til med at bortventilere noget af de afdampende PCB, som findes i indeluften.

Tabel 9, Viser resultaterne af de udførte luftprøvemålinger der er fortaget. Resultaterne er for lokale 41 og 48 og både med og uden det mekaniske ventilationsanlæg i drift

Prøvenr.	Prøvetagningssted	PCB _{total} i enkeltmåling ng/m ³	PCB _{total} (ift. årsmiddelværdi) ng/m ³
L1.1	Lokale 41 (sanering med ventilation)	440	220- 660
L1.2	Lokale 48 (forsegling med ventilation)	310	155- 465
L2.1	Lokale 41 (sanering uden ventilation)	470	235- 705
L2.2	Lokale 48 (forsegling uden ventilation)	360	180- 540
Sundhedsstyrelsens anbefalede nedre aktionsværdi /2/			300
Sundhedsstyrelsens anbefalede øvre aktionsværdi /2/			3000

5.1.4 Visuelt indeklima

For at få en forståelse af det visuelle indeklima præsenteres der i det følgende afsnit resultater for både lux-beregninger vedrørende det elektriske belysningsanlæg og dagslysindfaldet i undervisningslokalerne.

Disse data er af afgørende betydning for at evaluere og optimere læringsmiljøets belysningsforhold, da de afspejler både den kunstige belysning og den naturlige lyspåvirkning i lokalerne. Ved at kunne analysere både elektrisk og dagslys giver dette stor værdi i forhold til at kunne vurdere det visuelle indeklima i undervisningslokalerne.

5.1.5 Elektriskbelysning

For det elektriske belysningsanlæg er der, som beskrevet i metode afsnittet, benyttet Dialux som simulering program. Belysningsniveauerne er målt i henhold til (Standard, DS/EN 12464-1:2011 - Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser , 2011) ved en bordhøjde på 0,8m.

På simuleringerne fra før renoveringen ses det, at det beregnede lux niveau på bordhøjde 0,8m er 195 lux, mens resultatet efter renoveringen er 442 lux. Dette udleder en forbedring på 126,67%.

På de grafiske illusioner for lysfordelingen i lokalet som fremgår i tabel 10, ses der også en tydelig forbedring af spredning af belysningen. På de grafiske illusioner for det gamle lys ses det, at der flere steder i yderkanten omkring væggene er et lux niveauet er helt nede omkring 100 lux, for grafen med det nye belysning ligger værdierne i samme område i lokalet omkring 375 lux.

Som det fremgår af illustrationerne herunder, så var der i den gamle lysopsætning 6 armaturer fordelt i undervisningslokalet, hvor der nu efter renovering er 9 armaturer fordelt. Når der kigges på den specifikke tilslutningsværdi i resultatskemaerne fremgår det, at tilslutningsværdien for det gamle lys var 7,89 W/m² med en effekt på 4,05 W/m² pr. 100 lux. For den nye belysning er den specifikke tilslutningsværdi 5,68 W/m² med en effekt på 1,29 W/m² pr. 100 lux. Det er en procentvis forskel på 213,95% for samme effekt pr. 100 lux. Dette kan medføre et stort besparelspotentiale ved opdatering af det elektriske belysningsanlæg.

Tabel 10, Viser resultaterne af de udførte simulering for det nye elektriske belysningsanlæg, simuleringerne er udarbejdet i Dialux. I tabellen fremgår resultaterne af simuleringerne før renoveringen til vestre og resultaterne efter renoveringen til højre

Før renovering

Resultater

	Størrelse	Beregnet	Nominal	Indeks
Belysningsniveau	E_{indret}	195 lx	≥ 400 lx	WP1
	U_0 (g)	0.46	≥ 0.60	WP1
	Specifik tilslutningsværdi	7.89 W/m ²	-	
		4.05 W/m ² /100 lx	-	
Beregning af blænding ⁽¹⁾	$R_{UG, \text{max}}$	18	≤ 19	
Forbrugsværdier ⁽²⁾	Forbrug	[277.97 - 462.84] kWh/a	maks. 2050 kWh/a	
Rum	Specifik tilslutningsværdi	5.96 W/m ²	-	
		3.06 W/m ² /100 lx	-	

(1) Baseret på et rektangulært område på 8.214 m x 7.113 m og SHR af 0.25.
(2) Beregnet ved hjælp af DIN:18599-4.
Anvendelsesprofil: Uddannelsessteder - uddannelsescentre (44.1 Klasseværelse - generelle aktiviteter)

Liste over armaturer

stk.	Fabrikant	Artikel-nr.	Artikelnavn	Rug	P	Φ	Lysudbytte
6	Teamtronic	Armatur T8 - 58W		18	58.0 W	2344 lm	40.4 lm/W

Efter renovering

Resultater

	Størrelse	Beregnet	Nominal	Check	Indeks
Belysningsniveau	E_{indret}	442 lx	≥ 400 lx	✓	WP1
	g_1	0.62	≥ 0.60	✓	WP1
	Specifik tilslutningsværdi	5.68 W/m ²	-		
		1.29 W/m ² /100 lx	-		
Beregning af blænding ⁽¹⁾	$R_{UG, \text{max}}$	18	≤ 19	✓	
Forbrugsværdier ⁽²⁾	Forbrug	368 kWh/a	maks. 2050 kWh/a	✓	
Rum	Specifik tilslutningsværdi	4.81 W/m ²	-		
		1.09 W/m ² /100 lx	-		

(1) Baseret på et rektangulært område på 8.200 m x 7.000 m og SHR af 0.25.
(2) Beregnet ved hjælp af DIN:18599-4.
Anvendelsesprofil: Uddannelsessteder - uddannelsescentre (44.1 Klasseværelse - generelle aktiviteter)

Liste over armaturer

stk.	Fabrikant	Artikel-nr.	Artikelnavn	Rug	P	Φ	Lysudbytte
9	Ikke DIALux-medlem	T-LED_595x595_32W_840_PRM_DA_CY		18	30.7 W	3683 lm	119.8 lm/W

5.1.6 Dagslys

I dette afsnit præsenteres resultaterne af dagslysberegninger, der er udført ved hjælp af Velux Daylight Visualizer. Beregningerne er simuleret i henhold til (Standard, DS/EN 17037:2018 - Dagslys i bygninger, 2018). og er foretaget med henblik på at vurdere dagslysfaktoren i tre forskellige lokaler. Generelt viser resultaterne fra de udførte simuleringer en tilfredsstillende overholdelse af kravene fastsat i standarden. Kravet om en dagslysfaktor på minimum 2.1 er opfyldt for alle tre lokaler, hvilket indikerer et godt dagslysforhold i de simulerede undervisningslokaler.

Lokale 1 opnår en dagslysfaktor på 4,35%, hvilket opfylder minimumskravet. Samtidig viser resultatet fra simuleringen et lux niveau på 618 lux, hvilket indikerer en tilstrækkelig belysningsstyrke i rummet.

I Lokale 2 er der opnået en dagslysfaktor på 6,14%, hvilket ligeledes opfylder kravet i standarden. Resultatet fra simuleringen viser, at der i lokalet er 872 lux, hvilket anses som tilfredsstillende og som videre medvirker til at bekræfte et optimalt dagslysindfald i rummet.

Lokale 3 viser en dagslysfaktor på 6,16%, som også er over det krævede niveau i standarden. Ligesom i de andre lokaler ender resultatet med en høj belysningsstyrke på 875 lux.

Tabel 11, Viser resultaterne af de udførte simulering for det nye dagslysniveauet i undervisningslokalerne, simuleringerne er udarbejdet i af Velux Daylight Visualizer. I tabellen fremgår resultaterne af simuleringerne for lokale 1,2 og 3

Simuleringsværdi	Daylight Visualizer
Iht. EN17037	Calculation on zones Project name: Vibeskolen model Simulation type: Daylight Factor Daylight Visualizer version: 3.0.89 Select Country Denmark Select Report Options ☒ EN17037 ☐ Active House EN 17037 For Denmark the target daylight factor (D_T) is 2.1% and the minimum daylight factor target (D_{TM}) is 0.7%. The standard is available for purchase from the National Standardization Body in your country.

Lokale 1 Resultat: (D_T) 618 lux (D_{TM}) 423 lux	DF% 8.00 7.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 EN17037 F_{plane, %} ≥ 50% (median) D_T 4.35 DF[%] Pass (618 lux) F_{plane, %} ≥ 95% D_{TM} 2.98 DF[%] Pass (423 lux)
Lokale 2 Resultat: (D_T) 872 lux (D_{TM}) 650 lux	DF% 8.00 7.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 EN17037 F_{plane, %} ≥ 50% (median) D_T 6.14 DF[%] Pass (872 lux) F_{plane, %} ≥ 95% D_{TM} 4.58 DF[%] Pass (650 lux)
Lokale 3 Resultat: (D_T) 875 lux (D_{TM}) 653 lux	DF% 8.00 7.00 6.00 5.00 4.00 3.00 2.00 1.00 EN17037 F_{plane, %} ≥ 50% (median) D_T 6.16 DF[%] Pass (875 lux) F_{plane, %} ≥ 95% D_{TM} 4.60 DF[%] Pass (653 lux)

5.1.7 Akustisk indeklima

For at forbedre det akustiske indeklima i undervisningslokalerne blev der fokuseret på valget af loftbeklædning i forbindelse med renoveringen af skolen. I forbindelse med projektet er der udført akustiske simuleringer for at vurdere effekten af udskiftningen af de gamle lofter med de nye. Disse simuleringer omfatter både før og efter resultater for at sammenligne akustiske egenskaber og identificere eventuelle forbedringer.

Resultaterne fra de akustiske simuleringer er præsenteret visuelt i grafen i tabel 12, hvilket giver en klar og letforståelig sammenligning mellem før og efter resultaterne. Grafen gør det muligt at identificere de specifikke områder, hvor der var opnået forbedringer. Det er lokale 43 der danner grundlag for simuleringerne. Nogle af beregningerne er uden absorbenter og andre er med. Ved absorbenter forstås inventar som stole, borde, gardiner og tavler.

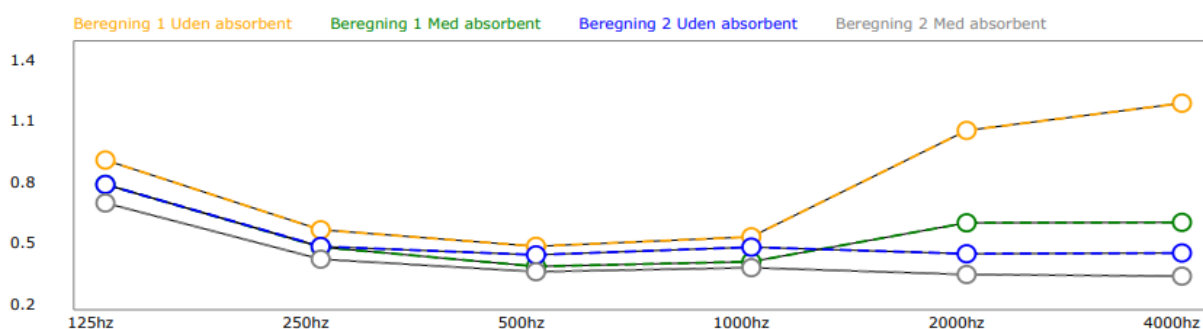
På grafen i tabel 12 nedenunder ses fire beregninger der har hver deres formål. Som beskrevet i tabellen, så er beregning 1 for lokale 43 inden renovering og uden absorbenter, beregning 2 også inden renoveringen dog med absorbenter. Beregning 3 er for lokale 43 efter renovering og med de nye lofter, men uden absorbenter, og beregning 4 er altså igen efter renoveringen men med absorbenter.

Resultatet vises som den beregnede efterklangstid i undervisningslokalet. Efterklangstid er den tid det tager for en given lyd at aftage med 60 dB. Når man skal kigge på resultaterne for simuleringerne, så skal man anskue hvert frekvensbånd separat, hvor de individuelt skal overholde kravene til efterklangstiden. Det vil sige, at kravene til efterklangstid skal være opfyldt for hver enkelt 1/1 oktav i frekvensområdet 125-4.000 Hz (Boligstyrelsen, u.d.). Man kan dog bruge gennemsnitsværdien fra de 6 frekvensbånd som en indikation på, hvor god efterklangstiden i et lokale er.

Som det fremgår af tabel 12 over beregningerne, så ses der er en tydelig forbedring efter den pågående renovering. Faktisk er efterklangstiden faldet med 36% for beregningerne uden absorbenter og 23,53% med absorbenter.

Tabel 12, Viser resultaterne af de simulerede efterklangstider, som det fremgår af tabellen så er simuleret for både før og efter renoveringen smat med og uden absorber i undervisningslokalet

Efterklangstid T [sek]	Frekvens						Gennemsnit	
	125hz	250hz	500hz	1000hz	2000hz	4000hz	Fra 125hz	Fra 250hz
Beregning 1 Uden absorber	0.87	0.53	0.45	0.50	1.02	1.15	0.75	0.73
Beregning 1 Med absorber	0.76	0.45	0.35	0.38	0.57	0.57	0.51	0.46
Beregning 2 Uden absorber	0.75	0.45	0.41	0.45	0.41	0.42	0.48	0.43
Beregning 2 Med absorber	0.66	0.39	0.33	0.35	0.31	0.30	0.39	0.34



5.2 Resultater holdes op mod Branchevejledningen for indeklima i folkeskolars grænseværdier

I projektets analyse sammenlignes resultaterne med de krav og grænseværdier, der er fastlagt i branchens vejledning for indeklima i folkeskoler. En opdeling af disse krav og grænseværdier præsenteres i tabel 13, hvor de er kategoriseret efter de relevante klasser og områder. Hver kolonne repræsenterer lokaler i skolen, hvor de tilsvarende undersøgelser er udført, og resultaterne er angivet i en separat kolonne med farvekodning, der angiver om kravene er opfyldt i overensstemmelse med vejledningen.

Vedrørende termisk og atmosfærisk indeklima afspejler resultaterne gennemsnitsværdier over skoledagen. Det bemærkes, at kravet til CO₂-niveauer er fastsat til 1000 ppm over længere perioder. For det termiske og atmosfæriske indeklima omfatter måleperioden både vinterperioden og overgangsperioden som angivet i branchevejledningen (Vorre, 2021). Derfor præsenteres begge disse tidsperioder og de tilhørende resultater i skemaet.

Tabel 13, Viser resultaterne fra projektets undersøgelser og simuleringer og sammenholder disse med de udvalgte parametre fra Branchevejledningen for indeklima i folkeskoler, tabellen giver mulighed for at vurdere om resultaterne fra projektet kan overholde grænseværdierne fra Branchevejledningen

Resultater sammenholdt med vejledning

Indeklimaklasse	Standard+	Standard	BR18-krav	Lo-kale	Resultat
Termisk indeklima					
Operativ temperatur i °C			≤ 26	17	21-22 °C
- overgang (april og oktober)	21,0 – 25,5	21,0 – 26,0		26	20,5-22 °C
- vinter (november – marts)	21,0 – 24,5	21,0 – 24,5		34	21-22,5 °C
				43	21-22 °C
				48	19-21 °C
Atmosfærisk indeklima					
CO2-koncentration i ppm	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	17	1100 ppm
				26	1400 ppm
				34	1200 ppm
				43	950 ppm
				48	1100 ppm
Akustisk indeklima					
Efterklangstid i sekunder	≤ 0,4	≤ 0,6	≤ 0,6	43	0,39 hz
Visuelt indeklima					
Dagslys				31	618 lux
Belysningsstyrke i lux	≥ 300		≥ 300	43	872 lux
				48	875 lux
Elektrisk belysning					
Belysningsstyrke i lux	≥ 500	≥ 300	≥ 300	15	442 lux
Farvegengivelse for belysning, Ra-værdi	> 90	> 90	≥ 80	15	90 Ra
Bygningens indretning					
Areal og rumindhold i normalklasserum			6 m3 pr. person	17	6,38 m3
				26	6,38 m3
				34	6,38 m3
				43	6,38 m3
				48	8,25 m3
Krav fra vejledningen overholdt					
Krav fra vejledningen ikke overholdt					

6. Diskussion

I dette afsnit vil de anvendte løsninger i forbindelse med renovering og resultaterne af disse blive diskuteret. Der vil være fokus på fordele og ulemper ved de valgte løsninger, om de valgte løsninger var de rigtige for netop dette projekt, og om der skulle have været valgt andre løsninger som muligvis ville have kunne givet et bedre resultat.

Formålet med renovering af Vibeskolen afd. Ullerslev var at forbedre indeklimaet på skolen med mulighed for at øge indlæringspotentialet hos skolens elever. Der blev i projekteringsfasen kigget på, hvilke løsninger og metoder der skulle til for muliggøre disse forbedringer. Der blev valgt tre overordnede hovedløsninger ud, som på hver deres måde skulle spille ind i den samlede renovering og være med til at forbedre indeklimaet. De tre hovedindgreb der er blevet gjort under renovering af vibeskolen afd. Ullerslev er:

- Etablering af mekanisk behovstyret ventilationsanlæg, som skal bidrage til at opretholde et godt termisk og atmosfærisk indeklima.
- Nye akustisk lofter, som skal sørge for at der i undervisningslokalerne er en god behagelig akustik som sikre minimal unødigt støj, men som stadig sikre god taleforståelighed.
- Nyt elektrisk belysningsanlæg, som skal sikre effektivt belysning som tilfredsstillende elever og lærere ved både at leverer god belysningsstyrke, god og jævn fordeling af lyset og give et lys med god farve temperatur.

I forbindelse med indeklimate renoveringen gennemgik skolen også en PCB-sanering, da Nyborg Kommune var bekendt med at der i flere bygningskonstruktioner var benyttet PCB holdige byggematerialer ved opførslen. PCB-saneringens formål var at nedbringe de høje koncentrationer af PCB i undervisningslokalerne.

6.1 Behovsstyret mekanisk ventilation (VAV)

Termisk indeklima

Beslutningen om hvilke ventilationssystemer der bør vælges i forbindelse med renoveringer kan være svær, da der kan være fordele og ulemper forbundet med forskellige løsninger. I projekteringsfasen er det vigtigt at kigge på, hvilken bygning anlægget skal drifte, hvordan personbelastningen i bygningen er, og hvordan brugsmønstret blandt brugerne af bygningen er samt hvilke krav der stilles til indeklimaet.

Valget om etablering af mekanisk behovstyret ventilationsanlæg (VAV) for denne renovering virker til at være den rigtige beslutning. Et VAV (Variable Air Volume) ventilationsanlæg betragtes som godt egnet til skoler, fordi at der i skolebygninger typisk ses store forskelle på personbelastningen hen over en undervisnings dag. VAV-systemer kan hurtigt reagere på

ændringer i rummets belægningsgrad, hvilket sikrer tilstrækkelig ventilation uden energispild da anlægget kan variere sin volumenstrøm.

Selvom etableringsomkostningerne af et VAV-system kan være dyrere end et traditionelt konstant volumen-system, vil de løbende energibesparelser og forbedringer i indeklimaet ofte resultere i lavere driftsomkostninger over tid. For optimal drift og mulighederne for at kunne benytte sig af det behovsstyrede ventilationsanlægs mange justeringsmuligheder, blev ventilationsanlæggene på Vibeskolen under renovering koblet op på kommunens CTS-system (central tilstand og styring).

For at få en indikation på, hvorvidt løsningen med det mekaniske ventilationsanlæg har haft en indvirkning på indeklimaet på skolen, kan resultaterne for de pågående undersøgelser af det termiske og atmosfæriske indeklima give et svar på dette.

Som det ses på graferne i afsnit 5.1.1, hvor resultaterne fra undersøgelserne fra før og efter renoveringen er sammenholdt, ses det, at der for det termiske indeklima med de nye ventilationsanlæg er et væsentligt mere stabilt temperaturspænd og med mindre udsving i temperaturen, hvor der inden renoveringen var en tendens til, at temperaturen havde større udsving og generelt var være ustabil. På dagsgrafen for lokale 17 figur 26 i afsnit 5.1.1 ses det, at ventilationsanlægget ikke formår at holde temperaturen nede på det fastsatte setpunkt, og anlægget formår ikke at bringe temperaturen ned omkring 21°C, som er den ønskede rumtemperatur i dagstimerne. Dette kunne give grund til diskussion om, hvorvidt løsningen med det mekaniske ventilationsanlæg er tilstrækkelig for at sikre et godt termisk indeklima hele året.

De nye ventilationsanlæg er monteret med vandbåren varmefflade som sørger for at forvarme indeblæsningsluften inden den føres ind i undervisningslokalerne. Det betyder, at ventilationsanlæggene i de kolde måneder kan hjælpe til med at opretholde gode rumtemperaturer i undervisningslokalerne.

Risiko for overophedning

Løsningen med det mekaniske ventilationsanlæg kan virke utilstrækkelig, da ventilationsanlægget formentligt kan få svært ved at opretholde temperaturen på et acceptabelt niveau hen over sommermånederne. Det skyldes, at sommermånederne vil have betydelig højere udetemperaturer end i den givende måleperiode. De etablerede ventilationsanlæg på Vibeskolen er uden køl, da det er kommunens politik at der ikke monteres køl på ventilationsanlæg i kommunen. Det kan derfor ende med at blive svært at opretholde en acceptabel rumtemperatur i undervisningslokalerne, da ventilationsanlæggene ikke kan blæse koldere luft ind end udetemperaturen da anlæggene er uden køl.

En anden faktor som kan komme til at spille en afgørende rolle i forhold til overtemperatur i undervisningslokalerne er de store vinduespartier, da vinduspartierne kan medvirke til at meget dagslys strømmer ind i lokalene, som kan medføre forhøjet varme i lokalene. Der er ingen solafskærmingsmuligheder i lokalene, og det eneste der kan hjælpe med at holde solen og varmen væk er udhænget på bygningen samt gardiner indvendigt i undervisningslokalerne,

som kan skærme den enkelte elev eller lærer fra påvirkning af direkte sol. Disse afskærmningsmidler vil dog ikke bevirke, at varmen ikke kommer ind i lokalerne. Der er altså begrænsede muligheder for at styre temperaturen i undervisningslokalerne i de varme sommermåneder.

Imødegåelse af overophedning

Hvis Nyborg Kommune skulle have sikret den valgte løsning med de behovstyrende mekaniske ventilationsanlæg kunne det have været en mulighed at montere kølefalder på anlæggende. Dette ville have sikret mulighederne for den ekstra køl der kan blive behov for, når udetemperaturerne bliver så høje at luftsiftet med udeluften alene ikke er tilstrækkeligt for at holde temperaturen i undervisningslokalerne på et acceptabelt niveau og for at undgå eventuelle overtemperaturer i lokalerne.

Hvis kommunen stadig ikke ønsker køl på deres ventilationsanlæg kunne det være en mulighed at kigge på løsninger med udvendig solafskærmning. Det skyldes, at denne løsning vil kunne være behjælpelig med at tage en stor del af varmetilskudet fra den direkte solståling der på nuværende tidspunkt kommer ind i lokalerne. Disse løsninger findes i mange udformninger og prisklasser, men det vurderes muligt at finde en løsning der både arkitektonisk og økonomisk vil give mening at kigge på.

Atmosfærisk indeklima

For resultaterne af det atmosfæriske indeklima viste graferne i afsnit 5.1.2 med sammenligning af undersøgelserne fra før og efter renovering, at der i nogle lokaler var store forskelle fra før og efter renoveringen, og at der i andre lokaler ikke kunne ses markant forskel fra før og efter renoveringen.

I lokalerne 17, 26 og 34 viste resultaterne som forventet, grundet utilstrækkelig ventilation, at der inden renoveringen i perioder i dagtimerne var store udfordringer med kraftige udsving og for høje CO₂ koncentrationer i undervisningslokalerne. I flere af de pågældende undervisningslokalerne lå CO₂ koncentrationen over 2500 ppm som er langt fra grænseværdien på 1000 ppm. Resultaterne efter renoveringen viser, at CO₂ koncentrationen i undervisningslokalerne som udgangspunkt følger det samme dagsmønster som inden renoveringen, hvor CO₂ koncentrationen stiger kraftigt ved skoledagens start og efter frikvarteret ved middagstid, men til forskel fra før renoveringen så holdes CO₂ koncentrationen nede på et niveau omkring 1200-1300 når koncentrationen når sit højeste. Der er altså ingen tvivl om, at de nye mekaniske ventilationsanlæg her har haft en stor effekt på det atmosfæriske indeklima og CO₂ niveauerne i disse undervisningslokalerne.

I lokalerne 43 og 48 var der til undring ikke de store forskelle at spore på graferne, og CO₂ koncentrationerne lå meget tæt på resultaterne fra før renoveringen, hvor der ikke var mekanisk ventilation i lokalerne, men de på daværende tidspunkt blev ventileret med naturligventilation. Fordi undersøgelserne er pågået med 5 år imellem hinanden kan det ikke med

sikkerhed siges, at de afgørende parametre der spiller ind i forhold til det atmosfæriske indeklima i begge måleperioder har været identiske. Det skyldes, at der kan være forskel på faktorer såsom personbelastningen og brugsmønstre i lokalerne før og efter etableringen af de behovsstyrede ventilationsanlæg.

Det er dog positivt, at resultaterne efter renoveringen i lokale 43 og 48 ser ud til at svare til de tre andre lokaler 17, 26 og 34, hvor der her ses, at den mekaniske ventilation formår at holde CO₂ koncentrationerne nede i perioder med stor belastning.

Kan anlægget justeres så grænseværdien for CO₂ overholdes efter renovering?

Som resultaterne fra undersøgelserne efter renoveringen viser, så ligger CO₂ koncentrationen i længere perioder om grænseværdien på 1000 ppm. Dette er ikke acceptabelt, når hensigten med løsningen om at etablere behovsstyret mekaniske ventilationsanlæg var, at CO₂ koncentrationerne i undervisningslokalerne skulle nedbringes til et acceptabelt niveau under 1000 ppm, som skulle kunne overholde kravet på 1000 ppm fra branchevejledningen for indeklima i folkeskoler (Vorre, 2021). Ventilationsanlæggene er som tidligere beskrevet i dette afsnit opkoblet til kommunens CTS system, og fordi ventilationsanlæggene er VAV anlæg giver dette gode justeringsmuligheder.

I CTS-systemet fremgår det, at alle undervisningslokaler er indstillet til et max rum CO₂ niveau på 1000 ppm, det vil sige, at ventilationsanlæggene bør forsøge at holde CO₂ koncentrationen i undervisningslokalerne under 1000 ppm. Når ventilationsanlæggene i CTS-systemet har et setpunkt under fanen max rum CO₂ niveau sat til 1000 ppm betyder det, at når CO₂ koncentrationen når 1000 ppm så skal ventilationsanlæggets volumenstrøm være max. Anlægget drifter efter CO₂ følerens signal med en vis forsinkelse, og når der i perioder med stor skifte i personbelastningen er behov for at øge luftskiftet markant, kan det ud fra dagsgraferne i resultatafsnittet 5.1.2 have svært ved at følge med og altså ikke formå at holde CO₂ koncentrationen under 1000 ppm.

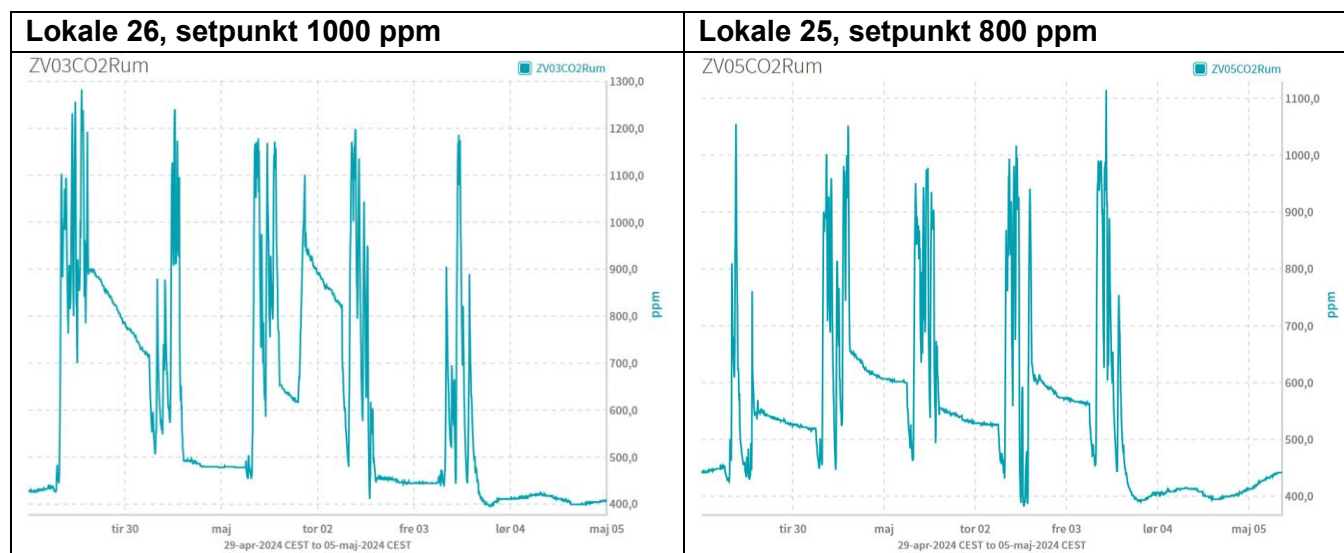
Som et forsøg er der i lokale 25, som er identisk med lokale 26 med samme oplyste personbelastning, forsøgt at nedjustere setpunktet for max rum CO₂ niveau fra 1000 ppm til 800 ppm for at se, om dette vil medvirke til at sikre, at CO₂ koncentrationen i undervisningslokalerne kunne holdes under 1000 ppm. Ved at sænke setpunktet for max rum CO₂ niveau, så bør anlægget være lidt på forkant og øge luftskiftet tidligere end i lokale 26, hvor setpunktet for max rum CO₂ niveau er 1000 ppm.

Der er udtaget uge grafer fra CTS-systemet for de to lokaler 25 og 26, hvor forsøgsperioden strækker sig fra 29 april – 5 maj.

Som det fremgår af graferne i tabel 14 så ses det, at for lokale 26 med et uændret setpunkt på 1000 ppm så overstiger CO₂ koncentrationen grænseværdierne på 1000 ppm og når i perioder op omkring 1300 ppm. For lokale 25, hvor setpunktet er nedjusteret til 800 ppm, så formår ventilationsanlægget at holde CO₂ koncentrationen i undervisningslokalerne på 1000 ppm og vil altså derfor kunne overholde kravet til CO₂ koncentrationen på 1000 ppm jf.

Branchevejlednings for indeklima i folkeskolars krav (Vorre, 2021). Løsningen med de behovs-styrede mekaniske VAV ventilationsanlæg vurderes at være god trods resultaterne fra undersøgelserne ikke kan overholde kravet, men med mindre finjusteringer er det her eftervist, at det er muligt at opfylde kravet op max 1000 ppm.

Tabel 14, Viser CO₂ koncentrationen hen over et døgn i henholdsvis lokale 26 og 25 hvor lokale 26 har et uændret setpunkt på max 1000 ppm og lokale 25 har et setpunkt på max 800 ppm



6.2 Akustikloft

For valget af nye lofter var der fra bygherre fokus på, at de nye lofter skulle have en så god akustisk virkning som muligt samtidig med, at det skulle kunne være muligt at komme til nogle af de tekniske installationer placeret over loftet på en relativ ubesværet måde. Over loftet er blandt andet placeret ventilationskanaler, ventilationsspjæld VAV og brand og røgspjæld.

For valget af lofter var det også med tanke på, at brugen af skolebygninger kan være hård, og at overfalder hurtigt bliver slidt, så det nye loft skulle være nemt, hurtigt og billigt at reparere. For valget af de nye lofter blev der valgt et nedhængt loftskinnesystem, da kommunen tidligere har haft gode erfaringer med disse i henhold til de krav der var sat til loftet. Den valgte model blev Rockfon akustik sonar a15/24, som viste sig at have rigtige gode akustiske egenskaber. I forbindelse med projektet er der udført akustiske simulering på efterklangstiden. Her er benyttet troldtekt akustiskberegner, da denne giver mulighed for at lave brugerdefinerede løsninger og mulighed for at tilføje absorbenter som blandt andet bord, stole, opslagstavler og gardiner.

Det er lokale 43 der danner grundlag for disses simuleringer. Lokalet blev udvalgt, da det er sammenligneligt med størstedelen af skolens andre undervisningslokaler, hvad angår størrelse på gulvareal og loftshøjde. Der er udarbejdet simuleringer for både før og efter renoveringen for at kunne give et billede af, om løsningen med de nye lofter har haft en effekt på akustikken i undervisningslokalerne.

Som resultaterne af simuleringerne viser, så lå efterklangstiden inden renoveringen på 0,75 uden absorbenter og 0,51 med absorbenter. Efter renoveringen er resultatet 0,48 uden absorbenter og 0,39 med absorbenter. Der er efter renoveringen og med løsning af de nye lofter en procentvis forbedring af efterklangstiden på 23,53%.

Når man måler eller simulere efterklangtid er det inklusiv inventar som i denne forbindelse fremgår som absorbenter. Kravet til efterklangstiden i undervisningslokaler er i bygningsreglementet 0.6 sekunder og i branchevejledningen for indeklima i folkeskoler i standard+ klassen 0.4 sekunder. Resultatet af simuleringen viser, at efterklangstiden med de gamle lofter faktisk ville have overholdt bygningsreglementets krav på de 0.6 sekunder. De gamle lofter ville dog ikke kunne opfylde kravet til standard+ klasse.

Resultaterne for simuleringen af de nye lofter viser, at med de nye lofter opfyldes kravet både til bygningsreglementet på 0,6 sekunder og til branchevejledningens standard+ klasse på 0,4 sekunder. Resultater af simuleringerne overholder kravet, som medvirker til at indikere at løsningen med de nye lofter må vurderes at være god. Det er værd at bemærke, at resultatet for simuleringen af de nye lofter kun akkurat sniger sig under 0,4 sekunder med et resultat på 0,39. I og med det er et simuleringsresultat bør man være opmærksom på, at der kan være visse usikkerheder forbundet med dette. I forbindelse med simuleringen blev inventaret i undervisningslokalerne registeret, og ud fra dette blev dets absorptionskoefficient indregnet i simulering ud fra opslagsværdier. Der kan være variabler fra de opslåede værdier til inventarets reelle absorptionskoefficient, og derfor vil simuleringsresultatet også kunne variere fra en fysisk efterklangstest.

6.3 Elektriskbelysning og dagslys

Som en del af indeklimarenoveringen af Vibeskolen blev der også lavet nyt elektrisk belysning i alle undervisningslokalerne. Det var en oplagt mulighed at vælge det til som en af hovedelementerne i renoveringen, da den gamle belysning i undervisningslokalerne var af ældre dato og ikke levede op til nutidens krav. Det var også næsten uundgåeligt ikke at skifte belysningen, da man under renoveringen demonterede de gamle lofter i forbindelse med etableringen af nyt ventilationskanalsystem. I projekteringsfasen havde det stort fokus at få valgt en løsning som passede ind i undervisningslokalets nye loftsystem, da man gerne ville integrere belysningen i loftet for at få en mere enkelt udtryk end ved et påbygningsarmatur.

Der blev til det nye belysningsanlæg lavet nogle kravspecifikationer til udbudsmaterialet som leverandøren skulle efterleve. Kravspecifikationerne fremgår af afsnit 3.6.1. Det var vigtigt at få et godt belysningsniveau i undervisningslokalerne som skulle gavne eleverne og lærerne i det daglige. I kravspecifikationerne var kravet til luxniveauet 400 lux i undervisningslokalerne. Der blev monteret dagslysstyring, som er zoneopdelt i tre zoner for at sikre et jævnt luxniveau i hele undervisningslokalet og som samtidig kunne drage fordel af dagslyset i de perioder, hvor der er tilstrækkeligt af dette for at opfylde kravet. Der blev valgt at armaturerne skulle være i lysfarve 4000 kelvin for at give et lys som minder meget om dagslyset farve. Der var også fokus på dagligdagens undervisningsform i forhold til smartboards og projekter, som lærerne

benytter sig meget af på skolen. Det medførte, at der blev etableret dæmpbar funktion på belysningsanlægget som kan overstyre dagslysstyringen.

Som beskrevet i afsnit 2.9, så er kravene til elektriskbelysning i undervisningslokaler i henhold til bygningsreglementet 300 lux og i branchevejledningen for indeklimate i folkeskoler standard+ klasse 500 lux. For at eftervise hvorvidt det opsatte belysning kan overholde de fastsatte kravspecifikationer og kravene fra bygningsreglementet og branchevejledningen, er der udarbejdet simuleringer af luxniveauer i undervisningslokalerne i Dialux. På simuleringerne fra før renoveringen ses det i resultatafsnittet 5.1.5, at det beregnede lux niveau på bordhøjde 0,8m er 195 lux. Det ligger derfor meget under de krav der bliver stillet til ny elektriskbelysning og har været langt fra optimalt for hverken elever eller lærer at opholde sig i. Resultatet opfylder hverken kravet til bygningsreglementet eller branchevejlednings standard+ klasse. Simuleringen for den nye belysning viser et resultat på 442 lux, som indikere en forbedring på 126,67% i forhold det gamle belysning. Resultatet overholder kravet til bygningsreglementet på 300 lux, men kan ikke overholde kravet til branchevejlednings standard+ klasse da denne er 500 lux. I projektets kravspecifikation var det indskrevet, at luxniveauet skulle være 400 lux, og det er derfor forventeligt at kravet til branchevejledningens standard+ klasse ikke kunne opfyldes trods simuleringerne viser et luxniveau på 442 lux, som er over det i kravspecifikationerne angivende luxniveau på 400 lux.

Hvis kommunen ønskede at opfylde kravet til branchevejledningens standard + klasse på 500 lux, så havde en minimal ændring i deres kravspecifikationer medført, at leverandøren havde leveret et belysningsanlæg, som havde overholdt kravet. Denne minimale ændring havde umiddelbart ikke medført økonomiske konsekvenser for projektet. Den samlede løsning herunder de valg som blev truffet i projektet samt det nye lys antyder at have været en god løsning med gode valg angående zone opdelt dagslysstyring og gode justeringsmuligheder.

Der er, udover lux beregninger for det nye elektriske belysningsanlæg, også udarbejdet dagslyssimulering i tre udvalgte undervisningslokaler. Dagslyssimuleringerne er lavet for at kunne eftervise, om dagslysniveauet i undervisningslokalerne lever op til kravet i bygningsreglementet og branchevejledningen for indeklimate i folkeskoler. Fælles for både bygningsreglementets og branchevejledningens standard+ klasse er, at krav til dagslysindfaldet og den indvendige belysningsstyrke fra dagslys er 300 lux eller mere ved mindst halvdelen af det relevante gulvareal i mindst halvdelen af dagslystimerne. De tre undervisningslokaler, som blev udvalgt, var lokale 31, 36 og 48. Lokalerne blev udvalgt ud fra deres placering i bygningen, hvor det blev antaget, at lokale 31 havde den muligt værste placering i forhold til dagslysindfald grundt skyggende omgivelser fra den resterende bygningsmasse kombineret med placeringen nede i bunden af undervisningskammen. I lokale 31 er der kun vinduespartier til den ene side. Lokale 36 og 48 blev valgt fordi de umiddelbart havde den bedste placering i forhold til dagslysindfaldet i lokalerne. De ligger yderligt i enden af undervisningskammene, så de vil ikke opleve problemer med skygge. Samtidig har begge lokaler vinduespartier til begge sider i lokalerne, som bør øge potentialet for dagslysindfaldet.

Resultaterne af simuleringerne viste et meget positivt resultat. For lokale 31 var simuleringsresultatet 618 lux, for lokale 36 var resultatet 872 lux og for lokale 48 var resultatet 875 lux. Resultaterne virker valide, da vinduespartierne inklusiv facadedøren i hvert undervisningslokale udgør 72% af den samlede facade og med store mængde glas i facaden vil det være naturligt, at dagslysniveauet i undervisningslokalerne er godt. Resultaterne må siges at være acceptable, da de ligger væsentligt over kravet og der er, som simuleringerne viser, tilstrækkelige mængder af dagslys i undervisningslokalerne.

Med de gode resultater for dagslysniveauet i undervisningslokalerne samt med mistanke om, at de varme sommermåneder kan medføre problemer med det termiske indeklima ift. overtemperatur i undervisningslokalerne, vil det være oplagt og relevant at indtænke en løsning med mere solafskærmende glas i både vinduespartier samt i facadedøre.

Når man skal vælge et glas, vil man som udgangspunkt ofte udvælge et glas med en høj lystransmittansen (LT værdi), da dette betyder, at glasset lukker mest muligt dagslys igennem, men hvis man gerne vil have at glasset også skal have en solafskærmende effekt skal man kigge på solenergitransmittansen (g-værdi). Denne værdi skal gerne skulle være så lav som muligt, for at kunne lukke mindst muligt solvarme igennem glasset. Disse to faktorer har indvirkning på hinanden, og jo lavere solenergitransmittans (g-værdi) der ønskes, desto lavere vil lystransmittansen (LT værdien) også blive. Det er altså vigtigt at få valgt en afbalanceret løsning i forholdet mellem solenergitransmittansen og lystransmittansen. Forholdet mellem lystransmittansen (LT værdi) og den samlede solenergitransmittans (g-værdi) betegnes som selektiviteten (S) for et glas, selektiviteten udregnes LT/g . Højt tal for selektiviteten betyder meget dagslys og lav solenergitransmission. Et godt solafskærmende glas giver en høj lystransmission og har lav g-værdi. Et højt selektivitetstal afspejler et vindue, der lukker meget lys ind og som med en lav g-værdi giver en høj termisk komfort og minimerer risiko for overophedning.

På nuværende tidspunkt er vinduspartierne og facadedørende monteret med LT værdi 65 og g-værdi 36, som giver en selektivitet på 1,8. Hvis det ønskes at få et glas der lukker mest muligt dagslys igennem som samtidig har en lav solenergitransmission, skal man gå efter et glas med en høj selektivitet. På nuværende tidspunkt fås gode solafskærmende glas med en selektivitet op til 2,3. Dette betyder samlet set, at løsningen med nye glas i facadepartierne med en høj selektivitet på omkring 2,3 muligvis vil medføre en minimeret risiko for overtemperering i undervisningslokalerne, hvor der samtidig bør være tilstrækkeligt med dagslys i lokalene.

6.4 PCB saneringsmetoder

Som beskrevet tidligere i denne rapport, så er der benyttet to forskellige saneringsmetoder i forbindelse med renoveringen. I lokale 41 er metoden med fysisk fjernelse af PCB-kilderne benyttet og i lokale 48 er forseglingsmetoden blevet anvendt.

Når det kommer til sanering af bygninger der er forurenet med PCB (polychlorerede biphenyler), findes der flere forskellige metoder omkring, hvordan dette kan gøres. Alle saneringsmetoder har hver sine fordele og ulemper, som bør overvejes nøje før en beslutning træffes i forhold til, hvilken metode der vælges at benytte. Overvejelserne for valget af metoder til dette projekt lagde vægt på tid, økonomi og den efterfølgende drift af bygningen. Metoden med fysisk fjernelse af PCB-kilderne blev udvalgt på baggrund af, at være den mest klassiske saneringsmetode når det kommer til PCB. Det virkede til at være det sikre valg i og med, at der er stor erfaring på området med denne metode, hvor det tidligere er lykkedes at opnå god effekt med denne løsning.

Fysisk fjernelse af PCB-holdige materialer er en omfattende og grundig metode. Denne proces indebærer at identificere og fjerne alle materialer der indeholder PCB fra bygninger. Dette kan inkludere alt fra fugemasser og malinge til elektriske komponenter og byggematerialer. Fordelen ved denne metode er, at når PCB-kilderne er fjernet, er de væk for altid. Dette eliminerer enhver risiko for fremtidig eksponering, da der ikke længere bør være noget PCB til stede i bygningen.

Dog kommer denne metode med betydelige udfordringer. Fysisk fjernelse er ofte meget dyr, da det kræver specialiseret udstyr og ekspertise. Det er også en tidkrævende proces, som kan tage mange måneder eller endda år, afhængigt af bygningens størrelse og omfanget af forureningen. Under saneringsarbejdet kan bygningens brugere ofte blive nødsaget til at blive genhuset, hvilket kan medføre yderligere omkostninger og besvær. Trods disse ulemper giver den fysiske fjernelse en permanent løsning på PCB-problemet, hvilket gør det til et attraktivt valg.

Forsegling metoden var for Nyborg kommunen ny, og derfor havde Nyborg kommune ikke anvendt denne metode før. Grundlaget for valget af denne metode var, at den økonomisk set var billig, havde hurtig udførelsesfaser sammenlignet med metoden med fysisk fjernelse. Forsegling er en alternativ saneringsmetode der indebærer, at indkapsle PCB-holdige materialer for at forhindre dem i at sprede sig. Denne metode er relativt billig sammenlignet med fysisk fjernelse og kan udføres langt hurtigere. Forsegling er også en mindre indgribende proces, hvilket betyder, at brugere ofte kan blive i bygningen under arbejdet, hvilket reducerer behovet for genhusning og de tilhørende omkostninger. Men selvom forsegling kan virke som en attraktiv løsning er der visse begrænsninger og risici der skal overvejes. For det første er effekten af forsegling over længere perioder ikke fuldt dokumenteret. Aktuelle undersøgelser har ikke tilstrækkelige data til at bevise, at forseglingen forbliver effektiv efter 10-12 år. Dette betyder, at der er en usikkerhed omkring, hvorvidt forseglingen vil fortsætte med at beskytte mod PCB-eksponering på lang sigt.

Derudover er der en risiko for, at forseglingen kan blive beskadiget eller brudt, hvilket vil resultere i, at PCB-kilderne igen bliver blotlagt. Dette kan være et særligt problem i bygninger, der benyttes af mange mennesker eller udsættes for hårdt slid såsom skoler, kontorer eller offentlige bygninger. Hvis forseglingen bliver kompromitteret kan det føre til en fornyet risiko for PCB-eksponering, hvilket underminerer formålet med saneringen.

I sidste ende afhænger valget mellem fysisk fjernelse og forsegling af flere faktorer herunder budget, tidsramme, bygningens brug og de langsigtede mål for bygningens vedligeholdelse. Fysisk fjernelse tilbyder en permanent løsning, men til en høj pris og med betydelig indsats. Forsegling tilbyder en hurtigere og billigere løsning, men med potentielle risici og usikkerheder på længere sigt. Det er vigtigt at veje disse faktorer nøje for at vælge den mest hensigtsmæssige saneringsmetode for den specifikke situation.

Som resultaterne for PCB luftprøverne viser, så er det ikke lykkedes at nedbringe PCB koncentrationen i indeluften til et acceptabelt niveau som kan overholde kravet til den nedre aktionsværdi i henhold til Sundhedsstyrelsens fastsatte aktionsværdier.

Der kan være mange faktorer der spiller ind på, hvorfor det ikke er lykkedes at komme i mål med renoveringen, så værdierne for PCB i indeluften kan overholde kravet til den nedre aktionsværdi på 300 ng PCB/m³. Den første faktor som kan have en stor betydning for, hvorfor PCB-koncentrationen i indeluften ikke er lykkedes at få bragt længere ned er, at alt inventar i undervisningslokalerne er blevet genbrugt efter renovering og altså ikke blevet udskiftet til nyt. Det er kendt at også inventar kan optage store mængder af PCB. Det kan blandt andet være træborde, stole med hynder, opslagstavler og gardiner. Alt inventar blev under renoveringen flyttet ud af lokalerne og opmagasineret i mellemtiden. Efter renoveringen blev inventar let rengjort og sat ind i lokalerne igen. Dette vurderes ikke at være tilstrækkeligt, og løsningen med at genbruge det gamle inventar trods en let rengøring er ikke en optimal løsning, da det ikke er muligt at fjerne PCB-koncentrationen i materialerne ved en let rengøring med en fugtig klud. Den bedste løsning var at have erhvervet sig nyt inventar til undervisningslokalerne. På denne måde havde skolen sikret ikke at tilføje en gammel kilde, som igen kunne afdampe PCB til indeluften.

En anden faktor som blev observeret da luftprøverne blev udtaget var, at rengøringsniveauet i undervisningslokalerne ikke var tilstrækkeligt. Dette fremgår også af rapporten fra Dansk Miljørådgivning (Volz, 2024) som var behjælpelig med at udtage luftprøverne. Rengøringsniveauet blev vurderet som middel, og dette er ikke tilstrækkeligt idet, at en PCB-problematik i lokalerne kræver, at rengøringsniveauet er så højt som muligt.

Det er vigtigt, at alle vægoverfaldet ofte bliver støvsuget eller aftørret, at gulvene bliver vasket grundigt, at vinduerne bliver pudset og borde og stole bliver tørret af. Ved at øge rengøringsniveauet, vil det også være muligt at kunne holde PCB koncentrationen længere nede.

Der kan være nogle ubekendte faktorer, som også kan have en indvirkning på PCB koncentrationen, samt hvorfor det ikke er lykkedes at nedbringes niveauet til Sundhedsstyrelsens nedre aktionsværdi. Den største faktor er, at saneringernes omfang er uklart. Der er i

udbudsmaterialet for renoveringen grundigt beskrevet, hvordan saneringerne skulle udføres, samt hvilke forholdsregler der skulle tages. Det er dog uklart i hvilket omfang saneringerne er udført i forhold til grundigheden heraf. Der kan være elementer fra udbudsmaterialet der er trukket ud af renoveringen grundet økonomi eller tid, der kan være områder som ikke har medtaget eller som er blevet glemt i saneringsprocessen. Dette gælder for både løsningen med fysik fjernelse og for forseglingsløsningen. Det er altså ikke med garanti, at saneringerne er udført korrekt i henhold til udbudsmaterialet og derfor kan der være en forklaring på, hvorfor de nedreaktionsværdier ikke er nået.

Fordi kravet til den nedre aktionsværdi ikke er nået bør der i henhold til Sundhedsstyrelsen tænkes på, hvordan PCB koncentrationen yderligere kan nedbringes. I Sundhedsstyrelsens skriv vedr. deres aktionsværdier for klasse 300-3000 ng/m³ skriver sundhedsstyrelsen, at det må antages at ophold i længere tid kan medvirke til sundhedsskader. Det anbefales derfor, at der umiddelbart iværksættes midlertidige afværgeforanstaltninger. De midlertidige foranstaltninger vil kun ved lette forureninger kunne forventes at nedbringe niveauet til under 300 ng/m³, hvorfor kildefjernelse og/eller indkapsling ofte vil være påkrævet (Sundhedsstyrelsens, 2013).

Hvis man skal forsøge at nedbringe PCB koncentrationen yderligere og efterleve Sundhedsstyrelsens krav til at iværksætte midlertidige afværgeforanstaltninger, så er der flere muligheder. Det er en mulighed at øge luftskiftet i undervisningslokalerne. Det er eftervist i resultatets afsnittet, at dette har en effekt på PCB-koncentrationen i indeluften, og at et øget luftskifte kan nedbringe PCB koncentrationen. Det vil også være en god ide at kigge på rengøringsniveauet i undervisningslokalerne, som beskrevet i dette afsnit kan dette forbedres. Samtidig vil det være en fornuftig og økonomisk set billig løsning at have ekstra fokus på specielt, når man er bekendt med for høje PCB koncentrationer. Udskiftning af det gamle inventar vil også være en løsning, som vil kunne være med til at nedbringe koncentrationen. Det er kendt, at det gamle inventar er genbrugt efter renoveringen og har altså optaget betydelige mængder PCB inden renovering som nu afdæmper i undervisningslokalerne

7. Konklusion

Skolernes primære opgave er at skabe de bedste rammer for børns læring. En vigtig del af denne opgave er at sikre et optimalt indeklima, da det har en betydelig indflydelse på elevernes trivsel og præstationer. For indeklimatestningen af Vibeskolen afd. Ullerslev er det igennem undersøgelserne før og efter renoveringen muligt at konkludere, hvorvidt kommunen har formået at forbedre indeklimaet på skolen i Ullerslev. Fælles for de fire indeklimatestninger termisk, atmosfærisk, visuelt og akustisk indeklima var, at resultaterne før renovering viste, at skolen ikke levede op til nutidens standarder for folkeskoler, hvilket indikerede et stort potentiale for forbedringer.

Kommunen var bekendt med, at der i flere bygningskonstruktioner ved opførelsen var benyttet PCB holdige byggematerialer. Derfor blev der i samme ombæring med indeklima renovering udført PCB saneringer for at nedbringe PCB-koncentrationen i indeklimaet.

I forbindelse med renoveringen blev der implementeret en række løsninger designet til at forbedre hvert aspekt af indeklimaet. Efter renoveringen viste resultaterne betydelige forbedringer på alle fire områder af indeklimaet sammenlignet med før renoveringen. Den termiske komfort er blevet betydeligt forbedret og temperaturen i undervisningslokalerne mere stabil, luftkvaliteten er blevet markant bedre med de nye ventilationssystemer, belysningen blev optimeret til et niveau som er optimalt for undervisningslokaler, og de akustiske forhold blev væsentligt forbedret, hvilket reducerede støjniveauet og forbedrede lydforholdene i klasselokalerne.

Det har altså været muligt at eftervise en forbedring for alle de fire indeklimatestninger og med rigtige gode resultater som var kommunens mål for indeklima renoveringen.

Når resultaterne sammenlignes med kravene på 1000 ppm fra branchevejledningen, for at eftervise, om Vibeskolen efter renovering kan leve op til nutidens standarder for indeklima i folkeskoler, er det tydeligt, at de fleste af de undersøgte indeklimaparametre nu lever op til de foreskrevne grænseværdier i standard+ klassen. For de få områder, hvor kravene endnu ikke er fuldt opfyldt, som inkluderer det atmosfæriske indeklima, i fire ud af fem undervisningslokaler, og det termiske indeklima i et undervisningslokale, er der kun behov for mindre justeringer for at kunne nå de ønskede niveauer. For det termiske indeklima er det muligt at justere en smule på indblæsningstemperaturen for ventilationen og på den måde holde temperaturen inden for grænseværdierne. For det atmosfæriske indeklima bør ventilationsanlægget øge luftskiftet på forkant inden CO₂ koncentrationen når et niveau, hvor ppm niveauet overstiger de 1000 ppm som er grænseværdien i branchevejledningen.

Samlet set har de valgte løsninger vist sig at have en positiv effekt på indeklimaet for Vibeskolen afdeling Ullerslev, hvilket underbygger kommunens indsats for at skabe et sundere og mere produktivt læringsmiljø for eleverne. Dette projekt demonstrerer vigtigheden af at investere i og prioritere indeklimatestninger i skoler for at sikre, at alle elever har de bedste betingelser for læring.

For PCB-saneringerne kan det ses for resultaterne af de udførte luftprøver, at ingen af de to saneringsmetoder har lykkedes med at nedbringe PCB koncentrationen i indekluften til et acceptabelt niveau. Sundhedsstyrelsens nedre aktionsværdi på 300 ng/m³ har været målet at nå, men det har ikke kunne lade sig gøre. Det er uklart, hvilke faktorer der har gjort, at kommunen ikke er kommet i mål med at nedbringe PCB koncentrationen til et acceptabelt niveau. I diskussionsafsnittet bliver forskellige grunde til, hvorfor den nedre aktionsværdi ikke har kunne nås diskuteret og hvordan det med midlertidige afværgeforanstaltninger muligvis kan lykkedes at nedbringe PCB koncentrationen. Det kunne blandt andet være at øge luftskiftet og sikre et højere rengøringsniveau i undervisningslokalerne, som kunne være løsning på problemet med de høje PCB koncentrationer på kort sigt. Det står dog klart at Nyborg kommune bør genoverveje en ny sanering i snarere fremtid, da midlertidige afværgeforanstaltninger ikke vurderes at være tilstrækkeligt på længere sigt.

8. Bibliografi

- Andersen, H. V. (2013). *Renovering af bygninger med PCB, Sbi 242*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet .
- Andersen, H. V. (2015). *Undersøgelse og vurdering af PCB i bygninger, Sbi 241*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Anne Jacobsen, E. M. (2020). *Vejledning - Lys og Belysning, Til fagprofessionelle, som vejleder børn og unge* . Danske Tale-Høre-Synsinstitutioner (DTHS).
- Arbejdstilsynet. (u.d.). *At.dk*. Hentet fra At.dk: <https://at.dk/regler/at-vejledninger/indeklima-a-1-2/>
- Arianna Astolfi, P. B. (2012). Subjective and objective speech intelligibility investigations in primary school classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*.
- Boligstyrelsen, S. o. (u.d.). <https://bygningsreglementet.dk/>. Hentet fra bygningsreglementet: <https://bygningsreglementet.dk/>
- Bonner, A. (2013). *Sanierung PCB-belasteter Gebäude*. Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft.
- Claus Barkmann, N. W.-M. (2012). *Applicability and efficacy of variable light in schools*. Physiology & Behavior.
- Dampa. (2002). *Dampa Akustikkompendie*. Dampa Aps.
- DiaLux. (u.d.). *Dialix.com*. Hentet fra Dialux: <https://www.dialux.com/en-GB/dialux>
- DMI. (2024). *DMI.dk*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/vejrkav>
- Donald G. Jamieson, G. K. (2004). Speech Intelligibility of Young School-Aged Children in the Presence of Real-Life Classroom Noise. *Journal of the American Academy of Audiology*.
- Erhvervs- og Byggestyrelsen. (2010). *PCB-Guiden*. Hentet fra [PCB-guiden.dk](https://www.pcb-guiden.dk/fakta-om-pcb/aktionsvaerdier-for-indeluften/maaling-af-pcb-i-indeluften): <https://www.pcb-guiden.dk/fakta-om-pcb/aktionsvaerdier-for-indeluften/maaling-af-pcb-i-indeluften>
- Geffner, D. L. (1996). *Evaluation of auditory discrimination in children with ADD and without ADD*. . Child Psychiatry and Human Development.
- Guldbrand, M. B. (u.d.). *DecoDemp Akustik*. Hentet fra DecoDemp Acoustics: <https://www.decodemp.com/akustik-guide/>
- Hosomi, M. (2005). Volatilization of PCBs from PCB-containing Ballast in Fluorescent Lamp and Indoor PCB pollution: odor of PCBs. *Journal of Japan Association on Odor Environment* .
- Jensen, A. (2021). *Indeklima i skoler. en håndbog til at arbejde strategisk*. Realdania.
- Klatte, M. H. (2010). *Effects of Classroom Acoustics on Performance and Well-Being in Elementary School*. TU Kaiserslautern, Germany .
- Maria Klatte, K. B. (2013). *Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children*. Center for Cognitive Science, Cognitive and Developmental Psychology Laboratory, University of Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany.

- Michael Mott, D. H. (2012). *Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning*. SAGE Publications Inc.
- Miljøbeskyttelse, C. f. (2015). *Vejledning om pcb holdigt affald i byggeriet*. Center for Miljøbeskyttelse.
- Niels Trap, E. K.-H. (2006). *Problematiske stoffer i bygge- og anlægsaffald - kortlægning, prognose og bortskaffelsesmuligheder*. Miljøministeriet .
- Nordic, I. (2009). IAC Nordic Akustik Analyse. Hvidovre, Danmark.
- Pawel Wargocki, D. P. (2017). *Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork*. DTU.
- Pawel Wargocki, D. P. (2021). *Forskningsbaserede anbefalinger for godt og læringsfremmende indeklima i klasseværelser* . DTU.
- Pilkington. (2021). *GLASFAKTA 2021, Et praktisk hjælpemiddel for valg af bygningsglas*. Pilkington Floatglas AB.
- Rasmus Juul, S. S. (2013). *Newsroom.au*. Hentet fra newsroom.au.dk: <https://newsroom.au.dk/nyheder/vis/artikel/lys-med-omtanke-kan-forbedre-skolemiljøet-markant/>
- Remmers, B. (2002). Teknisk datablad, PCB Spærre EP 2K. Löningen.
- Standard, D. (2011). *DS/EN 12464-1:2011 - Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser* . Dansk Standard.
- Standard, D. (2018). *DS/EN 17037:2018 - Dagslys i bygninger*. Dansk Standard.
- Standard, D. (2021). *Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer*. Dansk Standard .
- Sundhedsstyrelsens. (2013). *Sundhedsstyrelsens anbefalinger om aktionsværdier* . Sundhedsstyrelsen. Hentet fra sst.dk: <https://www.sst.dk/da/nyheder/2013/helbredsrådgivning-ved-pcb-i-indeklimaet>
- Technologies, T. D. (2009). *Ambient air measurement - Indoor air measurement - Measurement of polychlorinated biphenyls (PCBs) - GC/MS method for PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180*. VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss.
- Thomas Hougaard, J. M. (2014). *Termisk stripning af PCB fra sekundært og tertiært forurenede byggematerialer*. Miljøstyrelsen.
- Tools, V. B. (Instruktør). (2022). *How to use the in-built modeler in VELUX Daylight Visualizer* [Film].
- Tronic, T. (2023). *Vibeskolens KAM 1, udskiftning af eks. belysning*. Team Tronic A/S.
- Volz, L. (2024). *PCB INDEKLIMAUNDERSØGELSE, Vibeskolen, Skolevej 2, 5540 Ullerslev*. DMR.
- Vorre, m. P. (2021). *Branchevejledning for indeklima i skoler*. Teknologisk Institut.
- Wargocki, P. J.-S.-E. (2019). *The relationship between classroom temperature and children's performance in school*. DTU: Building and Environment.

9. Bilagsfortegnelse

- Bilag 1** – Akustiske simuleringer efterklangstid troldekt før og efter renovering
- Bilag 2** – Teknisk datablad Remmers PCB Spærre EP 2K
- Bilag 3** – Glasspecifikationer for glas i vinduespartier/facadedøre Pilkington
- Bilag 4** – Foto af glasdata vinduesparti Vibeskolen
- Bilag 5** – Velux Daylight Visualizer simuleringsfil dagslys
- Bilag 6** – Indeklimaundersøgelse PCB luftprøver (DMR) Vibeskolen
- Bilag 7** – Dialux simuleringsfil for elektriskbelysning i undervisningslokale før renovering
- Bilag 8** – Dialux simuleringsfil for elektriskbelysning i undervisningslokale efter renovering
- Bilag 9** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 17 før renovering (Excel-format)
- Bilag 10** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 26 før renovering (Excel-format)
- Bilag 11** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 34 før renovering (Excel-format)
- Bilag 12** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 43 før renovering (Excel-format)
- Bilag 13** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 48 før renovering (Excel-format)
- Bilag 14** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 17 efter renovering (Excel-format)
- Bilag 15** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 26 efter renovering (Excel-format)
- Bilag 16** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 34 efter renovering (Excel-format)
- Bilag 17** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 43 efter renovering (Excel-format)
- Bilag 18** - Resultater for temperatur og CO₂ lokale 48 efter renovering (Excel-format)
- Bilag 19** – Dagsgrafer for temperatur og CO₂ koncentrationerne efter renoveringen