



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# ESCO SOM GARANTI FOR LÆRING?

---

Øget værdi i ESCO-projekter inden for ventilation og belysning



April 2009

**DONG**  
energy

**ABB**

**t.a.c.**

# **ESCO SOM GARANTI FOR LÆRING?**

- øget værdi i ESCO-projekter inden for ventilation og belysning

Johan Ib Hansen, Kalundborg Kommune

Morten Dahl, TAC

Lars Engmann, ABB

Søren Vontillius, DONG Energy

Christian Grønborg Nicolaisen, Teknologisk Institut

Mads Peter Rudolph Hansen, Teknologisk Institut

Ditte Vesterager Christensen, Teknologisk Institut

**Et projekt støttet af ELFOR, PSO-FoU 339-018**

## Forord

Denne rapport er et resultat af det arbejde, der er foregået i PSO-projektet "Målekoncepter for ESCOer – trykluft, ventilation og belysning" (Projektnummer 339-018) i perioden 2007-2009.

I projektet har fokus været på ventilation og belysning, idet problemstillingerne omkring ESCOer inden for trykluft-området i vidt omfang er behandlet i et tidligere PSO-projekt; "Energy Service Companies / Trykluft" (projektnummer 337-095).

Deltagerne i projektet har været Teknologisk Institut, Kalundborg Kommune, ABB, TAC og DONG Energy.

Rapporten er tænkt som en guide til både (potentielle) ESCOer og (potentielle) ESCO-kunder inden for områderne ventilation og belysning. I rapporten behandles en række temaer, der er relevante for både ESCOer og kunder – herunder bl.a. koncepter for måling og verificering af ydelsen, kontraktelementer, energisparepotentiale og økonomisk gevinst ved energitjenesten.

Som en del af projektet "Målekoncepter for ESCOer – trykluft, ventilation og belysning", er der blevet lavet en forundersøgelse, der havde til formål at afdække status for ESCOer i Danmark, samt indsamle erfaringer fra ESCO-projekter i udlandet.

Resultaterne af dette arbejde kan læses i rapporten "Energitjenester – Statusredegørelse og eksempler", som er en delrapport i to EFP-projekter: "Etablering af grundlag for energitjenester i Danmark" (projektnummer 33031-0185) og "Styrkelse af energitjenestemarkederne over for industrien med hensyn til CO<sub>2</sub> kvoter og energibesparelser" (projektnummer 33033-0093).

Ditte Vesterager Christensen  
Teknologisk Institut, Energi & Klima  
Energieffektivisering & Ventilation

# Indholdsfortegnelse

1	Projektets vigtigste resultater.....	5
2	Indledning.....	6
3	ESCO – hvad er det?.....	8
3.1	Konceptet.....	8
3.2	Definitioner.....	8
3.3	Ydelser der kan indgå i energitjenester.....	9
4	ESCO i kommuner.....	11
4.1	Hvorfor ESCO i kommunerne?.....	11
4.2	Hvordan ESCO i en kommune?.....	11
4.3	Skoler som fokusområde.....	13
4.4	Hvordan vurderer man en skoles indeklima og belysning?.....	15
5	Case: Nyrupskolen.....	17
5.1	Om Nyrupskolen.....	17
5.2	Skolens energiforbrug.....	18
5.3	Nuværende belysning.....	19
5.4	Forslag til forbedring af belysningen.....	21
5.5	Økonomisk gevinst ved forbedring af belysningen.....	22
5.6	Nuværende ventilation og indeklima.....	26
5.7	Forslag til forbedring af ventilationen.....	32
5.8	Økonomisk gevinst ved forbedring af ventilationen.....	33
5.9	Konklusioner.....	39
6	Hvordan skal energitjenesten monitoreres?.....	40
6.1	Monitoreringskoncept for belysning.....	40
6.2	Monitoreringskoncept for ventilation.....	42
7	ESCO-kontrakt, ventilation og belysning.....	53
8	Perspektiv: Et stort dansk energiselskabs syn på ESCO-modellen.....	62
	Bilag 1 – Normer for ventilation og indeklima.....	64
	Bilag 2 – Uddybende indeklima-vurdering Nyrupskolen.....	66
	Bilag 3 – Tilbud fra PRO VENT A/S på forbedring af ventilering på Nyrupskolen.....	72
	Bilag 4 – Vejledning til indeklimaet i et klasselokale.....	75
	Bilag 5 – Måleudstyr til monitorering.....	78

# 1 Projektets vigtigste resultater

- Vi har undersøgt og beskrevet de gevinster der er ved at forbedre ventilation og belysning på danske folkeskoler. Undersøgelser viser, at elevernes koncentration og indlæringssevne øges med op til 20 % når belysningen forbedres, og op til 15 % når ventilationen forbedres.
- Vi har undersøgt og beskrevet de gevinster der er ved at gennemføre forbedringer af ventilationen og belysningen som led i et ESCO-projekt. En afgørende gevinst for en kommune ved at gennemføre sådanne forbedringer som led i et ESCO-projekt er, at ESCOen kan levere en garanti for energibesparelsen i projektet – hvormed kommunen opnår sikkerhed for det lån, der optages til projektet.
- Vi har undersøgt indeklima og belysning på en konkret skole, Nyrupskolen i Kalundborg Kommune, og har peget på, hvordan ventilationen og belysningen kan forbedres på denne konkrete skole. De største potentialer ligger for belysningens vedkommende i at regulere belysningen med bevægelsesmeldere og dagslysstyring. De største gevinster for ventilationens vedkommende ligger i at minimere lækager i ventilationssystemet, etablere varmegenvinding samt regulere ventilationen efter behovet. Skolen betragtes som værende repræsentativ for en lang række ældre skoler i Danmark.
- Vi har opgjort økonomien ved forskellige forbedringsforslag for Nyrupskolen. Det viser sig, at en forbedring af ventilationen på den ældre del af skolen, har en simpel tilbagebetalingstid på helt ned til 4 år, afhængig af hvilken løsning og hvilken finansieringsform der vælges. Forbedringen af ventilationen på den nyere del af skolen samt af belysningen har derimod længere tilbagebetalingstider (12-36 år).
- Vi har indregnet værdien af forbedret læring i beregningen af den økonomiske gevinst ved at renovere Nyrupskolens ventilation og belysning. I beregningen værdisættes elevernes læring som svarende til skolens samlede omkostninger, og som følge heraf sættes den årlige læringsgevinst til en procentdel af skolens samlede årlige omkostninger. Selv ved indregning af en forholdsvis beskedne forbedring i læringen (5 %), opnås der en enorm årlig gevinst (svingende mellem 1,1 og 1,4 mio. kr./år) ved at forbedre belysningen og ventilationen.
- Vi har udviklet enkle og omkostningseffektive koncepter for monitoreringen af henholdsvis belysning og ventilation. Koncepterne muliggør en kvalitetsgaranti på de to "ydelser", og udgør således det teknisk-praktiske fundament for en indregning af den forbedrede læring i den økonomiske kalkule for et ESCO-projekt.
- Vi har lavet et bud på, hvordan en ESCO-kontrakt der omfatter ventilation og belysning på en skole som fx Nyrupskolen, kunne se ud. Herunder har vi behandlet emner som rollefordeling, økonomi samt målepunkter for ydelsen.
- Vi har lavet skitser til kontrakttillæg for kvalitetsgaranti på henholdsvis belysning og ventilation for en skole. Skitserne til kontrakttillæg kan benyttes som udgangspunkt for en konkret forhandling mellem ESCO og kunde om kvalitetsgarantier på disse to ydelser.
- Det er vores vurdering, at kvalitetsgarantier som disse kan bidrage til at øge volumen i et allerede vedtaget ESCO-projekt – idet der tages tiltag med, som har en lang tilbagebetalingstid, men fører til målbar forbedring af indeklimaet og/eller belysningen. Desuden kan de bidrage til at fremme en vedtagelse af et ESCO-projekt, som ellers ikke ville være blevet vedtaget (idet forbedret læring medregnes som gevinst sammen med energibesparelsen, og bringer projektet op over den kritiske grænse for succes).
- Kalundborg Kommune vil overveje fremover at stille krav om kvalitetsgaranti på ventilation og/eller belysning, når kommunens skoler skal renoveres, fx i forbindelse med en ESCO-aftale.

## 2 Indledning

### **Baggrund**

Energibesparelser står for tiden højt på den politiske dagsorden, både i Danmark, i EU og i resten af verden. Der kan nævnes mange gode grunde til at nedbringe vores energiforbrug; hensynet til forsyningssikkerhed er én af dem, og en anden er energiforbrugets bidrag til vores CO<sub>2</sub>-udledning og dermed til den globale opvarmning. Der er identificeret store urealiserede og rentable energibesparelspotentialer i Danmark, og en af mange veje til at realisere besparelserne, er ESCO-projekter.

I projektet "Målekoncepter for ESCOer – trykluft, ventilation og belysning" (projekt nr. 339-018) har vi beskæftiget os med energitjenester inden for områderne trykluft, ventilation og belysning, idet disse områder skønnes at rumme gode potentialer for energibesparelser og dermed for energitjenester.

Eftersom trykluftområdet i vid udstrækning er behandlet i et tidligere projekt, "Energy Service Companies / Trykluft" (projekt nr. 337-095), hvor der blandt andet er fundet frem til et monitoreringskoncept og kontraktmodeller for energitjenester inden for trykluftområdet, omhandler den foreliggende rapport dog kun ventilation og belysning.

Energitjenester inden for ventilation og belysning er relevante inden for bl.a. kontorbyggeri, skoler og offentlige institutioner. I disse sektorer er outsourcing ikke en ny tanke; outsourcing foregår allerede i dag inden for områder som kantinedrift, pasning af udendørsarealer m.v.

En række eftersyn af ventilationsanlæg på 35 skoler, gennemført af Elsparefonden for nogle år siden, viste at mange anlæg ventilerede mere end nødvendigt, og på forkerte tidspunkter af døgnet set i forhold til behovet. Desuden viser erfaringer, at denne luftmængde ofte ikke kommer brugeren til gode pga. manglende opblanding af luften. Der er altså både bedre indeklima og energibesparelser at hente, hvis anlæggenes drift optimeres i forhold til behovet.

Også elforbruget til belysning kan formodentlig reduceres væsentligt. I mange tilfælde er den almene belysning tændt i perioder hvor dagslyset reelt dækker behovet. Her ville automatisk dagslysstyring kunne begrænse elforbruget til belysning væsentligt. Ligeledes er lyset ofte tændt, selv når der ikke er personer i lokalerne. Via bevægelsessensorer kunne belysningen reduceres til tidspunkter hvor der reelt er behov for den.

### **Formål**

Formålet med dette projekt er at medvirke til at skabe gode rammer for at der i Danmark kan opstå ESCOer inden for områderne ventilation og belysning – gerne som del af større ESCO-projekter, hvor hele bygningen renoveres.

I dag findes der kun få deciderede ESCOer i Danmark, og der er behov for at reducere risikoen for ESCOerne, for at få flere virksomheder til at bevæge sig ud på dette marked.

Projektet bidrager hertil med bl.a.

- Opgørelse af energisparepotentialer og økonomi for en konkret case
- Et bud på, hvordan man kan indregne andre gevinster end energibesparelser (fx forbedret læring) som økonomisk gevinst i en samlet økonomisk kalkule for et ESCO-projekt, sådan at værdien i et ESCO-projekt øges
- Enkle koncepter for, hvordan energitjenester inden for ventilation og belysning kan monitoreres på en måde, så der skabes grundlag for kvalitetsgarantier fra ESCOens side

- Inspiration til, hvordan man kan udforme de elementer i en ESCO-kontrakt, der dækker ventilation og belysning – herunder kontrakttilæg for kvalitetsgaranti på henholdsvis belysning og ventilation

En central problemstilling i projektet er spørgsmålet om, hvordan man kan måle ventilation og belysning som ESCO-ydelser. I modsætning til trykluft-området (hvor man har metoder til at måle trykluftforbruget ved skæringspunktet mellem ESCO og kunde) er det inden for ventilation og belysning ikke givet, hvor skæringspunktet mellem ESCO og kunde skal ligge.

Det er ikke muligt inden for ventilation at definere en entydig sammenhæng mellem fx den luftmængde der tilføres lokalet, og det indeklime der er i et givent lokale – der er for mange andre faktorer, der spiller ind.

Det samme gør sig gældende for belysningen, idet der ikke er en entydig sammenhæng mellem en lyskildes effekt og så den belysningsstyrke der er i arbejdshøjde i et givent lokale.

I dette projekt har vi derfor blandt andet stillet skarpt på udfordringen med at indkredse et rimeligt skæringspunkt mellem kunde og ESCO, når ydelserne er henholdsvis ventilation og belysning.

## **Rapportens opbygning**

### **ESCO-konceptet**

I kapitel 3 beskrives ESCO-konceptet, herunder relevante definitioner. Desuden gives et overblik over de ydelser, der kan indgå i et ESCO-projekt.

### **ESCO i kommuner**

I kapitel 4 stilles der skarpt på, hvorfor ESCO-konceptet er relevant netop i kommuner, og det ridses op, hvordan et ESCO-projekt i en kommune typisk forløber. I forlængelse heraf drøftes det, hvorfor det i ESCO-sammenhæng er relevant at beskæftige sig med ventilation og belysning på de danske folkeskoler.

### **Case: Nyrupskolen**

I kapitel 5 gennemgås en case – Nyrupskolen i Kalundborg Kommune. I kapitlet refereres vores kortlægning af de eksisterende anlæg til ventilation og belysning samt det nuværende indeklime og belysningskvalitet. Yderligere opstilles der forskellige forslag til forbedring af forholdene, og økonomien i hvert forslag analyseres. Som led i de økonomiske vurderinger ses der på effekten af at indregne en gevinst i form af forbedret læring.

### **Monitorering af energitjenesten**

I kapitel 6 behandles de særlige udfordringer ved at monitorere ventilation og belysning, og to mulige koncepter til monitorering af henholdsvis ventilation og belysning på en skole beskrives.

### **ESCO-kontrakt, ventilation og belysning**

I kapitel 7 samles en række overvejelser om, hvilke elementer der bør indgå en ESCO-kontrakt der omfatter ventilation og belysning på en skole som fx Nyrupskolen. Desuden behandles emner som rollefordeling, økonomi, kvalitetsgaranti for ventilation og belysning og målepunkter for ydelsen.

### **Perspektiv**

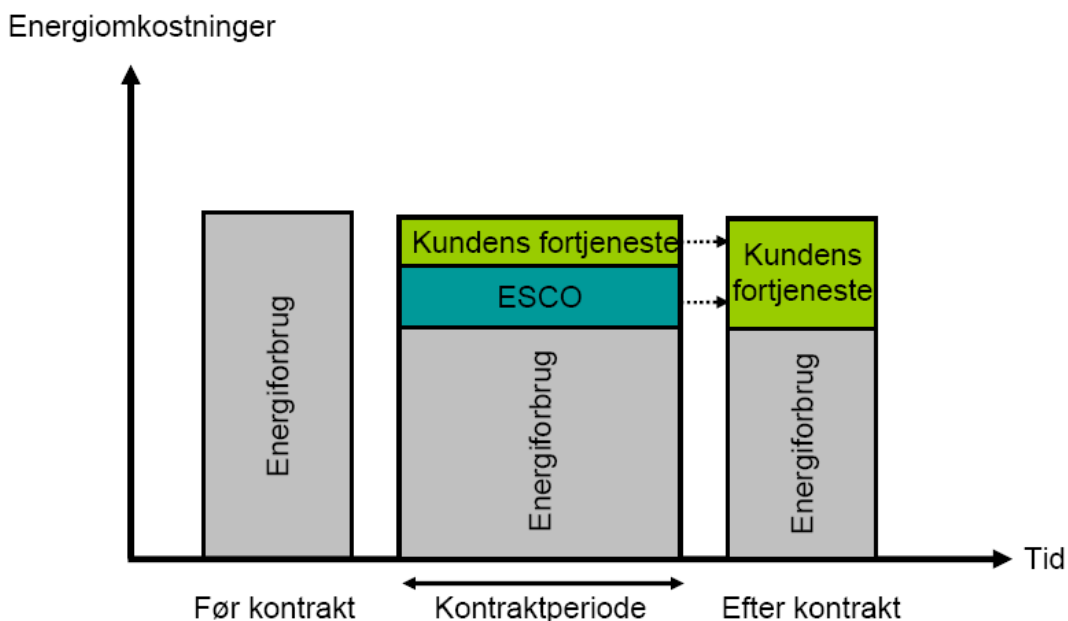
Kapitel 8 giver et andet perspektiv på ESCO-konceptet; Et stort dansk energiselskabs syn på ESCO-modellen, herunder egne overvejelser om fordele og udfordringer ved at deltage i ESCO-projekter.

## 3 ESCO – hvad er det?

### 3.1 Konceptet

ESCO står for Energy Service Company – på dansk energitjenesteselskab. Betegnelsen dækker over et forretningskoncept, hvor en virksomhed, en ESCO, tjener penge på at gennemføre energitjenester for en kunde. Energijenesten omfatter leverance af en aftalt ydelse, fx et indeklima defineret ud fra en bestemt rumtemperatur, luftfugtighed m.v., eller trykluft i en aftalt mængde og med et aftalt tryk til en virksomhed, der bruger trykluft i sit produktionsapparat.

Hvis konceptet fungerer efter hensigten, får både ESCO og kunde en gevinst ud af samarbejdet; Kunden får en ydelse til samme pris som hidtil (eller billigere), men får også et ekstra udbytte i form af fx forbedret indeklima eller mere sikker drift på produktionsanlægget. Samtidig slipper kunden for at bekymre sig om indeklimaet/tryklufften, og kan dermed koncentrere sig om sin kernekompetence – hvad enten det er plejehjemsdrift eller spraymaling. ESCOen høster en fortjeneste, idet den kan optimere anlægget, nedbringe energiforbruget og vedligeholdelsesomkostningerne, og dermed levere den aftalte ydelse med lavere omkostninger, end hvad kunden betaler. Samtidig giver konceptet en samfundsmæssig gevinst i form af energibesparelser. Konceptet er illustreret i figuren nedenfor.



### 3.2 Definitioner

EU definerer i "Direktiv om energieffektivitet i slutanvendelserne og om energitjenester" (2006/32/EF af 5. april 2006) de to begreber energitjeneste og energitjenesteselskab.

En **energitjeneste** (på engelsk "energy service") defineres som:

"fysisk gavn, nytteværdi eller gode fremkommet ved at kombinere energi med energieffektiv teknik og/eller tiltag, der kan omfatte de drifts-, vedligeholdelses- og kontrolaktiviteter, der er nødvendige for at tilvejebringe tjenesten, som leveres på basis af en kontrakt, og som under normale omstændigheder har vist sig at medføre en kontrollerbar energieffektivisering og/eller besparelse af primærenergi, der kan måles eller anslås"<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 2006/32/EF af 5. april 2006, Kapitel 1, Artikel 3, punkt e)



Energitjenesten indebærer altså, at kunden får en ydelse, f.eks. en aftalt rumtemperatur eller en aftalt mængde trykluft, leveret ved hjælp af en teknologisk løsning, f.eks. belysningsudstyr, vedligeholdelse og elektricitet. Samtidig skal der være tale om at ydelsen leveres på en måde, der medfører målbar energieffektivisering.

Et **energitjenesteselskab** (på engelsk "Energy Service Company (ESCO)") defineres i EU-direktivet som:

"en fysisk eller juridisk person, der leverer energitjenester og/eller andre energieffektiviseringsforanstaltninger hos en bruger og herunder påtager sig en vis økonomisk risiko. Betalingen for de leverede tjenester afhænger (enten helt eller delvis) af, om der opnås en energieffektivisering, og om de øvrige aftalte kriterier for ydeevne opfyldes".<sup>2</sup>

Med andre ord adskiller ESCOen sig fra ordinær energieffektiviseringsrådgivning ved at selskabets aflønning afhænger af de realiserede energibesparelser.

I princippet kan ethvert selskab (eller konsortium af selskaber) etablere sig som ESCO. Typiske eksempler på ESCOer er energiselskaber, rådgivende ingeniørfirmaer og leverandører af energieffektivt udstyr – alle virksomheder, som i forvejen har knowhow og netværk inden for relaterede områder.

### **3.3 Ydelser der kan indgå i energitjenester**

ESCOer ydbyder en vifte af ydelser. ESCO-kontrakternes omfang varierer meget fra projekt til projekt, og ESCO og kunde beslutter sammen, hvilke ydelser ESCOen skal stå for i et givent projekt. Eksempelvis skal ESCOen i nogle kontrakter udelukkende installere noget energieffektivt udstyr, hvorimod ESCOen i mere omfattende kontrakter også er ansvarlig for finansiering og drift af udstyret.

Med andre ord dækker begrebet ESCO over mange varianter af aftaler, hvor ESCOens rolle samt fordelingen af risiko og gevinst mellem ESCO og kunde varierer en hel del fra projekt til projekt. Jo større risiko ESCOen bærer i en given kontrakt, jo større betaling kræver den. Som regel aflønnes ESCOen med en andel af de realiserede besparelser – jo større risiko, jo større andel af besparelserne.

I de følgende afsnit beskrives en række ydelser der kan indgå i en ESCO-kontrakt. For yderligere uddybning af ydelserne, eksempler på de enkelte ydelser samt beskrivelse af flere ESCO-ydelser henvises til rapporten "Energitjenester – Statusredegørelse og eksempler" (som er nævnt i forordet).

#### **Gennemførelse af forbedringer**

I forbindelse med et ESCO-projekt er der ofte tale om opførelse, udskiftning/installation eller en større renovering af en bygning eller et anlæg, og hvis ESCOen varetager denne opgave, kan man sige at energitjenesten omfatter gennemførelse af forbedringer. I forbindelse hermed har ESCOen typisk hele opgaven med alt lige fra projektering til udførelse af forbedringerne.

#### **Drift og vedligeholdelse**

ESCOen påtager sig den løbende drift og vedligeholdelse af kundens bygninger/anlæg i kontraktperioden. Som regel er der ikke blot tale om energieffektivisering af driften, men om generel optimering af alle drifts- og vedligeholdelsesaktiviteter, sådan at drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne minimeres. Udover de mindskede omkostninger opnår kunden en yderligere fordel, idet risikoen for driftsstop flyttes fra kunden til ESCOen, hvilket betyder at kunden holdes skadefri i tilfælde af driftsstop.

Selv hvis ESCOen har det overordnede driftsansvar i kontraktperioden, varetages driften dog i praksis ofte af ESCOen og kunden i kombination. Både fordi kundens personale har den daglige omgang med bygningerne/anlæggene, og fordi kundens personale skal videreføre driften, når ESCO-kontrakten udløber. ESCOens engagement i driftsfasen omfatter som regel uddannelse af kundens eget driftspersonale, så personalet sættes i stand til selv at varetage driften.

---

<sup>2</sup> 2006/32/EC of 5 April 2006, Chapter 1, Article 3, point i)

## **Besparelsesgaranti**

ESCOen garanterer kunden en vis besparelse (målt i kr. eller kWh, og under givne forudsætninger). Hvis målet ikke nås, skal ESCOen dække differencen mellem den garanterede og den faktiske besparelse. På den måde påtager ESCOen sig den økonomiske risiko ved projektet, og denne sikkerhed sætter fx kunden i stand til at optage et lån, idet ESCOens garanti kan anvendes som garanti over for ESCOens kreditor.

Aftalen kan være udformet sådan, at ESCOen garanterer besparelser der er tilstrækkelige til at dække kundens finansieringsomkostninger, under forudsætning af at energiprisen holder sig inden for en aftalt ramme.

Eftersom målet med aftalen er den størst mulige besparelse, er det en fordel hvis både ESCO og kunde er motiverede for at reducere energiforbruget, også ud over det garanterede besparelsesniveau. Derfor udformes kontrakter ofte sådan, at gevinsten ved eventuelle besparelser ud over det garanterede deles mellem ESCO og kunde.

En besparelsesgaranti øger et projekts transaktionsomkostninger, og har ikke særlig stor værdi for kunden i små projekter. Derfor tegnes den kun i forbindelse med projekter af en vis volumen.

## **Finansiering**

ESCOen påtager sig finansieringen af de energibesparende tiltag i kundens bygninger og/eller anlæg – enten via egne midler eller via tredjepartsfinansiering. Derved bærer ESCOen en ekstra risiko, idet den hæfter for lånet. ESCO-finansiering er en fordel i situationer, hvor kunden ikke selv har mulighed for at optage lån, eller hvor låneomkostningerne for kunden er større end låneomkostningerne for ESCOen.

## **Fastprisaftale**

ESCOen køber kundens bygninger/anlæg, og står for al drift, vedligeholdelse og energieffektivisering af dem – både de løbende småreparationer og -justeringer, men også større reoveringer og om nødvendigt udskiftning af faciliteterne. ESCOen leverer en aftalt ydelse (fx et på forhånd defineret indeklima) mod en fast betaling (fx X kr/m<sup>2</sup>), som dækker alle ESCOens omkostninger ved at eje og drive bygninger/anlæg.

Fordelene herved er, at kunden får samlet alle omkostninger (en energiregning fra energiselskabet, en serviceaftale med udstyrsleverandøren, afskrivning på anlægget m.v.) i én post – ESCOen. Kundens omkostninger bliver desuden helt forudsigelige, idet der betales en fast pris pr. areal/tid/enhed – kunden får altså et sikkert grundlag at budgettere ud fra.

ESCOens ejerskab til de relevante bygninger/anlæg giver ESCOen et stort råderum for energieffektivisering, og det bliver dermed mindre omstændeligt at realisere et givent potentiale. Yderligere rykkes afregningspunktet så langt hen mod kunden som overhovedet muligt – hvilket øger ESCOens motivation til at energieffektivisere i alle led. Til gengæld kræver fastprisaftalen, at ESCOen råder over eller låner tilstrækkelig kapital.

## **Paraplykontrakt**

En paraplykontrakt er en form for rammeaftale, hvor en ESCO antages på en langvarig kontrakt, hvor konkrete bygninger/anlæg til at begynde med ikke er udspecificeret. Kunden tildeler så ESCOen konkrete projekter inden for de overordnede betingelser, som er fastlagt i kontrakten. Denne tildeling af projekter kan f.eks. foregå på grundlag af et forstudie af alle kundens bygninger og/eller anlæg, hvor energieffektiviseringspotentialet afdækkes og der udarbejdes forslag til projekter. Forstudiet gennemføres typisk af ESCOen som første led i samarbejdet.

Fordelene ved denne kontraktform er en mere strømlinet kapitalfremskaffelse, lavere transaktionsomkostninger og standardiserede betingelser og vilkår. De konkrete projekter kan derfor gennemføres hurtigere og mere omkostningseffektivt, end hvis der skulle laves separate kontrakter for hvert enkelt projekt. Yderligere en fordel ved at samle mange projekter under en paraplykontrakt er, at projekter med korte tilbagebetalingstider kan finansiere projekter med længere tilbagebetalingstider.

En paraplykontrakt kan i princippet indeholde en hvilken som helst kombination af de øvrige ydelser, som en ESCO udbyder (jf. beskrivelserne ovenfor). Det defineres i den konkrete paraplykontrakt, hvilke ydelser der skal være tale om.

## 4 ESCO-projekter i kommuner

I dette kapitel beskrives det, hvordan ESCO-konceptet kan anvendes i kommuner, hvilke fordele det kan give, samt hvilke erfaringer der findes mht. ESCO-kontrakter i danske kommuner. Yderligere fokuseres der på skoler som indsatsområde.

### 4.1 Hvorfor ESCO i en kommune?

I en del danske kommuner slås man med store vedligeholdelseefterslæb i kommunens bygninger. Efterslæbet skyldes begrænsede vedligeholdelsesmidler, der ikke rækker til alle de tiltrængte renoveringsopgaver på plejehjem, skoler, daginstitutioner, administrationslokaler m.v.

Man kunne vælge at anskue vedligeholdelsestiltag der medfører energibesparelser som en langsigtet investering – men her har kommunerne det problem, at de har begrænset mulighed for at foretage investeringer, der ikke tjener sig hjem inden for det regnskabsår, hvor investeringen er foretaget.

Det almindelige kommunaløkonomiske princip er nemlig, at kommuner skal finansiere deres anlægsudgifter uden låneoptagelse, dvs. at kommuner skal finansiere deres anlægsudgifter kontant.<sup>3</sup>

Dog kan kommunen i dag låne til energibesparende projekter uden for de kommunale lånerammer. Alle energibesparelser med en tilbagebetalingstid på 10 – 15 år kan gennemføres rentabelt med lånefinansiering.<sup>4</sup> Men hvordan kan kommunen være sikker på tilbagebetalingstiden?

Det er her ESCOen kommer ind i billedet, idet den kan levere en besparelsesgaranti, der kan give kommunen den nødvendige sikkerhed for, at investeringerne tjener sig hjem – sådan at kommunen kan træffe beslutningen om at optage lån til finansiering af tiltagene.

ESCOens besparelsesgaranti bliver således afgørende for kommunens mulighed for at optage lån og komme i gang med de energibesparende tiltag.

Ud over energibesparelserne opnår kommunen også andre gevinster ved at få gennemført energirenovering af kommunernes bygninger og anlæg. For når kommunens bygninger får udskiftet dele af klimaskærmen og/eller installationerne, højnes den generelle vedligeholdelsestilstand naturligvis samtidig med den energimæssige tilstand. Yderligere fører tiltagene ofte også til mærkbare forbedringer af indeklimaet i de renoverede bygninger – bl.a. pga. mere stabile rumtemperaturer, reducerede trækgener og renere luft.

Hvis kommunen benytter sig af ESCO-konceptet, kan alle de ovennævnte gevinster opnås, uden at kommunen oplever en stigning i de årlige omkostninger. Måske vil kommunen endda opleve et fald i de årlige omkostninger. Når kontrakten med ESCOen løber ud, er investeringerne betalt tilbage, og derefter tilfalder alle besparelser kommunen, som kan investere dem i yderligere forbedringer eller i bedre borgerservice generelt.

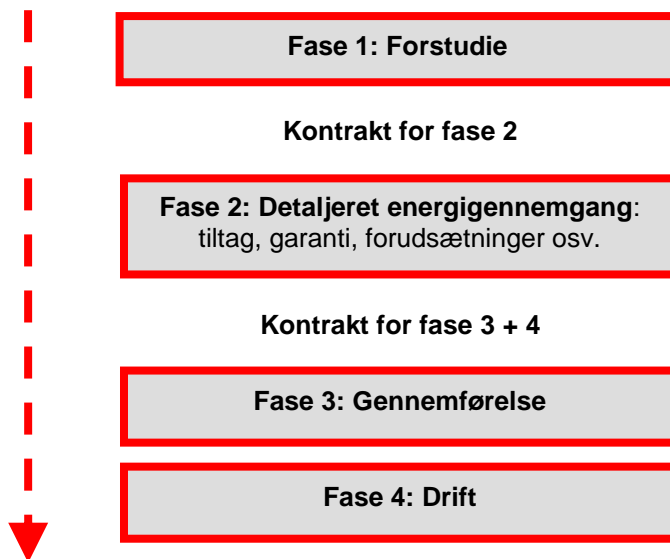
### 4.2 Hvordan ESCO i en kommune?

Et forløb med en ESCO ser typisk ud som illustreret i denne figur:

---

<sup>3</sup> Kilde: [http://www.sum.dk/publikationer/omkostningsbas\\_bevil/kap10.htm](http://www.sum.dk/publikationer/omkostningsbas_bevil/kap10.htm) (15. juli 2008)

<sup>4</sup> Kilde: [http://www.ecocouncil.dk/default.htm?http&&www.ecocouncil.dk/arkiv/2007/kommunerne\\_energirigtige\\_boliger.html](http://www.ecocouncil.dk/default.htm?http&&www.ecocouncil.dk/arkiv/2007/kommunerne_energirigtige_boliger.html) (15. juli 2008)



Som det fremgår af figuren, forpligter kommunen sig kun gradvist i samarbejdet med ESCOen. I første omgang laves et forstudie, og først derefter forpligter kommunen sig til en mere detaljeret gennemgang af bygninger og anlæg. På baggrund af denne gennemgang kan der skrives et udkast til kontrakt indeholdende en eventuel besparelsesgaranti – og først når denne kontrakt er underskrevet, går den egentlige kontraktperiode (gennemførelse og efterfølgende drift) i gang.

De danske erfaringer med ESCO-konceptet anvendt i kommuner er endnu begrænsede. I skrivende stund er Middelfart Kommune i gang med et ESCO-projekt, der omfatter renovering af over 100 af kommunens bygninger, og Kalundborg Kommune har underskrevet en ESCO-aftale, der omfatter renovering af 9 af kommunens bygninger. I begyndelsen af marts 2009 underskrev også Københavns Kommune en ESCO-aftale – den dækker "De Gamles By" i København.

En håndfuld andre kommuner, herunder Vallensbæk, Gribskov og Kerteminde, er i gang med udbud af ESCO-projekter, og endnu flere kommuner overvejer ESCO-projekter.

Men endnu er ingen danske kommuner altså kommet helt igennem et ESCO-projekt. Til gengæld er der gennemført mange ESCO-projekter i svenske kommuner, og der trækkes i høj grad på de svenske erfaringer i de igangværende danske projekter.

Typisk omfatter et ESCO-forløb i en kommune følgende ydelser:

- Forundersøgelse
- Detaljeret energigennemgang og besparelsesgaranti
- Gennemførelse af forbedringer
- Drift & Vedligeholdelse

Desuden er der ofte tale om en paraply-kontrakt, idet ESCOen ikke lægger sig helt fast på, hvilke bygninger/anlæg der skal renoveres, inden kontrakten underskrives.

Finansiering står kommunen typisk selv for, da danske kommuner kan opnå bedre lånevilkår end en ESCO har mulighed for.

Af tabellen nedenfor fremgår en typisk rollefordeling ml. ESCO og kunde på forskellige stadier i samarbejdet:

	Før renovering	Under renovering	Efter renovering
ESCO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afdække besparelspotentiale</li> <li>• Yde garanti</li> <li>• Formulere forudsætninger for garanti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opgradere faciliteter</li> <li>• Etablere effektiv styring og monitorering</li> <li>• Uddanne kundens personale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drift &amp; vedligeholdelse</li> <li>• Monitorere driften</li> <li>• Verificere besparelser</li> <li>• Evt. udmønte garanti</li> <li>• Uddanne kundens personale</li> </ul>
Kunde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stille data til rådighed</li> <li>• Forudse fremtidig brug af de relevante faciliteter</li> <li>• Sørge for finansiering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Give ESCOen spillerum</li> <li>• Involvere eget personale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Følge de aftalte brugsmønstre</li> <li>• Oplyse ESCO om ændringer</li> <li>• Involvere eget personale</li> </ul>

### 4.3 Skoler som fokusområde

Skoler er et oplagt område at tage fat – både hvad angår generel vedligeholdelsestilstand, indeklime, belysning og energisparepotentialer. Hvis et ESCO-projekt omfatter en skole, opnås der således ikke bare energibesparelser, men ofte også en højere generel vedligeholdelsesstand, et bedre indeklime og bedre belysning.

I nogle tilfælde kan der måske ikke realiseres energibesparelser via renoveringen – fx i tilfælde, hvor skolen slet ikke har noget mekanisk ventilation, og der skal installeres mekanisk ventilation for at opnå et acceptabelt indeklime – dette giver et større elforbrug. I andre tilfælde er besparelsen ikke stor nok til at finansiere renoveringen. I de situationer bør man overveje, om de øvrige gevinster er så meget værd for kommunen, at renoveringen skal gennemføres alligevel. I de følgende afsnit opridses disse øvrige fordele, der kan opnås via renoveringen (uanset om energibesparelserne opnås parallelt hermed).

#### **Bedre indeklime giver bedre helbred og lavere sygefravær**

I første halvdel af 2007 gennemgik Arbejdstilsynet 337 danske folkeskoler – og resultatet var en sur eller meget sur smiley til næsten 70 % af skolerne. Problemerne handlede i de fleste tilfælde om indeklime; skimmelsvamp, kulde, varme og træk.<sup>5</sup>

Der er altså generelt tale om uacceptable arbejdsforhold for de ansatte på skolerne. Og selv om der ingen regler er for arbejdsmiljøet for skoleelever, påvirkes børnene naturligvis af det ringe indeklime i samme grad som lærerne. Muligvis er børnene endda endnu mere sårbare over for det dårlige indeklime.

Dårligt indeklime kan resultere i helbredsproblemer. Symptomerne på dårligt indeklime er blandt andet hovedpine samt irritation i øjne, næse og svælg. I alvorlige tilfælde kan der være tale om nedsat lungefunktion. Kulde og fugt er særligt generende for astmatikere og allergikere, og kulde og fugt kan desuden være medvirkende faktorer til at udløse astma og allergi.<sup>6</sup>

Henrik Larsen, som er formand for børne- og kulturudvalget i Kommunernes Landsforening, skønner, at danske skoler skal renoveres for ca. 40 milliarder kr., hvis indeklime ikke skal ødelægge elevernes helbred.<sup>7</sup> Hvis man sørger for, som del af en energirenovering af en skole, at forbedre indeklime op til et aftalt niveau, kan investeringen i energirenoveringen altså med rimelighed sættes op over for det beløb, som ellers skulle bruges på at bringe skolen op til en acceptabel standard hvad angår indeklime.

Rent økonomisk kan der opnås en gevinst for den enkelte skole i form af mindsket sygefravær blandt lærere og elever, hvis indeklime forbedres. Amerikanske studier viste for nylig, at kort sygefravær (op til en uge) var 50 %

<sup>5</sup> [http://www.godtskolebyggeri.dk/stojlysluft/love\\_og\\_regler/sure\\_smileys.aspx](http://www.godtskolebyggeri.dk/stojlysluft/love_og_regler/sure_smileys.aspx) (16. juli 2008)

<sup>6</sup> <http://allergi.astma-allergi.dk> (15. juli 2008) og <http://www.dr.dk/Nyheder/Indland/2007/09/03/070231.htm> (15. juli 2008)

<sup>7</sup> <http://www.tac.com/dk/Navigate?node=9733> (16. juli 2008)

højere blandt de ansatte i kontorer med en lufttilførsel svarende til lovkravet (12 L/sp), sammenlignet med de ansatte i kontorer, hvor man fordoblede tilførslen af friskluft (24 L/sp).

Man estimerede i dette studie, at de årlige omkostninger som følge af det forhøjede sygefravær, som kunne relateres til lave ventilationsrater, svarede til 400 \$ per medarbejder. Det ville give god mening også at indregne denne gevinst, når man overvejer forbedringer af ventilation på eksempelvis en skole.<sup>8</sup>

Det må desuden formodes, at danske kommuner i et vist omfang afholder omkostninger relateret til sygdomme, der er afledt af dårligt indeklima på skolerne. Som følge af Lov om social service dækker de danske kommuner nemlig en del af borgernes udgifter til kroniske sygdomme som fx astma og allergi.<sup>9</sup> Disse omkostninger bør også kunne mindskes ved at forebygge de kroniske sygdomme – fx ved at forbedre indeklimaet i skolerne.

### **Bedre ventilation giver bedre læring**

Yderligere er det påvist, at dårligt indeklima hæmmer indlæringen. I en undersøgelse fra 2006 gennemført af DTU på Rungsted Skole med ca. 150 elever, er det påvist, at indlæringen hos skolebørn stiger med 10-20 %, hvis undervisningen foregår i et lokale med ren luft og en behagelig temperatur. Det svarer til, at vi i løbet af skoletiden taber et helt skoleår pr. barn, hvis forholdene ikke er i orden. I øvrigt understreges det, at Rungsted Skole ikke har et specielt dårligt indeklima – tværtimod er skolen et godt eksempel på en typisk dansk folkeskole. På en skole med endnu dårligere indeklima ville elevernes præstation muligvis kunne forbedres endnu mere, mener Pawel Wargocki, som har stået for undersøgelsen.<sup>10</sup>

I undersøgelsen koncentrerede man sig primært om to forhold; Høj temperatur og høje koncentrationer af CO<sub>2</sub> i luften. Det viste sig, at når temperaturen blev sænket fra 25 til 20 grader, klarede eleverne sig 10-20 % bedre i tests. Når luftskiftet blev øget fra 3 til 10 l/s (liter pr. sekund) pr. person, blev resultaterne også 10-20 % bedre. Resultaterne af undersøgelsen overraskede forskerne, fordi effekten af forbedringerne er dobbelt så store, som de effekter man kan måle hos voksne, der arbejder på kontor.<sup>11</sup> Børns præstationsevne er altså dobbelt så følsom over for dårligt indeklima, som voksnes.

Pawel Wargocki påpeger desuden, at de lærere, der underviser i klasselokalerne med et godt indeklima, alt andet lige også må formodes at levere en mere kompetent undervisning, end lærere der underviser i klasselokaler med dårligt indeklima. Altså giver det dårlige indeklima dårlige arbejdsforhold for både elever og lærere, og dermed en dobbelt negativ effekt mht. elevernes læring.

Yderligere kan det dårlige indeklima på skolerne få betydning for rekrutteringen af kvalificerede lærere. Chefkonsulent Preben Meier Pedersen fra KL udtaler, at "Der skal være fokus på ordentligt arbejdsmiljø for lærerne. Kommunerne har svært ved at rekruttere lærere, og det er afgørende, at de kan tilbyde en attraktiv arbejdsplads med ordentlige lokaler og et godt arbejdsmiljø".<sup>12</sup>

Pawel Wargocki anbefaler mekanisk ventilation på en skole, fordi det giver et kontinuerligt luftskifte. Han tror ikke, luftskiftet bliver godt nok bare ved at åbne vinduerne. Det kræver nemlig forskel på temperaturen ude og inde, og det kræver gennemtræk for at få skiftet luften. Hvis frikvarteret er kort, og vinduerne lukkes til lektionens begyndelse, vil luften hurtigt være tilbage til samme niveau som før udluftningen, fordi der er mange børn samlet på lidt plads. Det er også vigtigt, at den mekaniske ventilation vedligeholdes – filtrene skal renses osv.<sup>13</sup> Set fra en energimæssig og økonomisk vinkel kan det tilføjes, at mekanisk ventilation – hvis der installeres varmegenvinding – giver mulighed for at spare på varmeregningen i de kolde måneder, idet varmen ikke lukkes ud af vinduet, når der luftes ud.

<sup>8</sup> [http://www.byg.dtu.dk/Sektioner/IK/health\\_plus\\_productivity/aditional%20info.aspx](http://www.byg.dtu.dk/Sektioner/IK/health_plus_productivity/aditional%20info.aspx) (8. april 2009) + email fra Pawel Wargocki, DTU, 16. marts 2009

<sup>9</sup> <http://allergi.astma-allergi.dk/regado.jsp?type=page&id=160> (15. juli 2008)

<sup>10</sup> <http://www.folkeskolen.dk/ObjectShow.aspx?ObjectId=44297> (16. juli 2008)

<sup>11</sup> DYNAMO (Udgives af DTU), September 2006 nr. 6, s. 12-13: „Dårligt indeklima koster lærdom“

<sup>12</sup> [http://www.godtskolebyggeri.dk/stojlysluft/love\\_og\\_regler/sure\\_smileys.aspx](http://www.godtskolebyggeri.dk/stojlysluft/love_og_regler/sure_smileys.aspx) (16. juli 2008)

<sup>13</sup> <http://www.folkeskolen.dk/ObjectShow.aspx?ObjectId=44297> (16. juli 2008)

## **Bedre belysning giver bedre læring**

God almen belysning og specielt dagslys har også vist sig at have stor betydning for børns indlæring. Amerikanske studier gennemført i årene 1999 til 2002 viser, at elever der sidder i lokaler med meget dagslys øger deres indlæring af matematik med 20 % og læsning med 26 %, sammenlignet med elever der sidder i klasselokaler med dårligere dagslys.<sup>14</sup>

Selvom der i disse studier er fokus på dagslys, kan man med god grund formode, at også kunstig belysning har stor betydning for børns indlæring. Særligt på de dage og i de perioder af året, hvor dagslyset er begrænset, må det formodes, at den kunstige belysning har stor betydning som erstatning for dagslyset.

## **4.4 Hvordan vurderer man en skoles indeklima og belysning?**

Når man taler om indeklima, opdeles indeklimaet ofte i termisk og atmosfærisk indeklima. Det termiske indeklima har at gøre med temperaturen, træk og kulde-/varmestråling i et rum, samt hvordan personer i rummet oplever denne temperatur, træk og kulde-/varmestråling (afhængig af påklædning, aktivitetsniveau m.v.). Det atmosfæriske indeklima har at gøre med luftens kvalitet, forstået som luftens indhold af gasarter (fx CO<sub>2</sub>) og støv samt diverse lugtgener.

Begrebet indeklima dækker således over mange faktorer, som indvirker på hvordan indeklimaet opleves, og et ventilationsanlæg bør så vidt muligt projekteres under hensyntagen til alle disse faktorer (se uddybning i bilag 1 og bilag 4). Noget andet er dog, hvordan man på en enkel måde og med forholdsvis lave omkostninger kan få et retvisende billede af det aktuelle indeklima i et lokale. I den forbindelse er de to mest centrale parametre – som beskrevet i de foregående afsnit – CO<sub>2</sub>-koncentrationen og temperaturen, og i denne rapport beskæftiger vi os derfor kun med disse to faktorer.

Dog er det vigtigt at være opmærksom på, at målinger af CO<sub>2</sub>-koncentration og temperatur giver et forsimplet billede af indeklimaet i et lokale, og at indeklimaet godt kan opfattes anderledes end de målte værdier angiver, pga. fx træk og kulde-/varmestråling.

### **CO<sub>2</sub>**

Som beskrevet ovenfor, er luftens CO<sub>2</sub>-koncentration afgørende for det atmosfæriske indeklima, og CO<sub>2</sub>-koncentrationen har stor indflydelse bl.a. på elevens koncentration og indlæringsevne. Det er derfor vigtigt at holde CO<sub>2</sub>-koncentrationen nede på et acceptabelt niveau.

I BR08 (BygningsReglement 2008) stilles der krav om et CO<sub>2</sub>-niveau i undervisningsinstitutioner på max 1200 ppm. Arbejdstilsynet (AT) anbefaler at luftens indhold af CO<sub>2</sub> ikke bør være større end 0,1 % (1000 ppm), hvis personer er den største forureningskilde i lokalet. Dette må siges at være tilfældet i et klasselokale. Yderligere betegnes luftskiftet som utilstrækkeligt, hvis luftens CO<sub>2</sub>-indhold overstiger 0,2 % (2000 ppm) i korte perioder af en dag.<sup>15</sup>

### **Temperatur**

Temperaturen i et lokale er, som beskrevet ovenfor, et af de mest afgørende parametre hvad angår det termiske indeklima. En persons oplevelse af temperaturen i et lokale påvirkes af mange forskellige faktorer – herunder solindstråling, varmeafgivelse fra personer og elektriske apparater i et lokale, radiatorer til opvarmning og naturligvis udetemperaturen. For at vurdere en persons samlede oplevelse af temperaturen i et lokale, anvendes begrebet Operativ Temperatur (OT), som sammenholder rumtemperatur med varme- eller kuldestråling fra radiatorer, vinduer m.v.

<sup>14</sup> California Energy Commission: „Windows and classrooms: A Study of Student Performance and the Indoor Environment“, Oktober 2003.

<sup>15</sup> At-Vejledning, Arbejdsstedets indretning - A.1.2 Indeklima - 3. Ventilation - 3.1 Generelt

Hvis den operative temperatur holdes inden for et bestemt variationsområde (afhængig af beklædning og aktivitet), og der ingen generende lokale termiske påvirkninger er, vil højst 10 % være utilfredse med det termiske indeklima, hvilket er tilfredsstillende i henhold til de gældende standarder.

Den operative temperatur anbefales i SBI-anvisning 110 at være:

- Sommer  $24,5\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$
- Vinter  $22\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$ .

En del erfaringer (herunder den tidligere nævnte undersøgelse af skoleelevers præstation ved forskellige temperaturer, udført af Pawel Wargocki, DTU) viser dog, at den optimale temperatur ved let fysisk aktivitet som fx i skoler, daginstitutioner og kontorer, er 20-22 °C.

En uddybning af normer for indeklima findes i bilag 1. En uddybende vejledning til indeklima i et klasselokale findes i bilag 4.

### ***Belysning***

Når man skal vurdere kvaliteten af belysningen i et lokale, skal man se på belysningsstyrken i arbejdshøjde (dvs. på bordpladen). Ifølge gældende normer (DS 700, som Arbejdstilsynet henviser til) skal belysningsstyrken på arbejdsbordet i forbindelse med undervisning være 200 lux. Belysningsstyrken måles med et luxmeter.

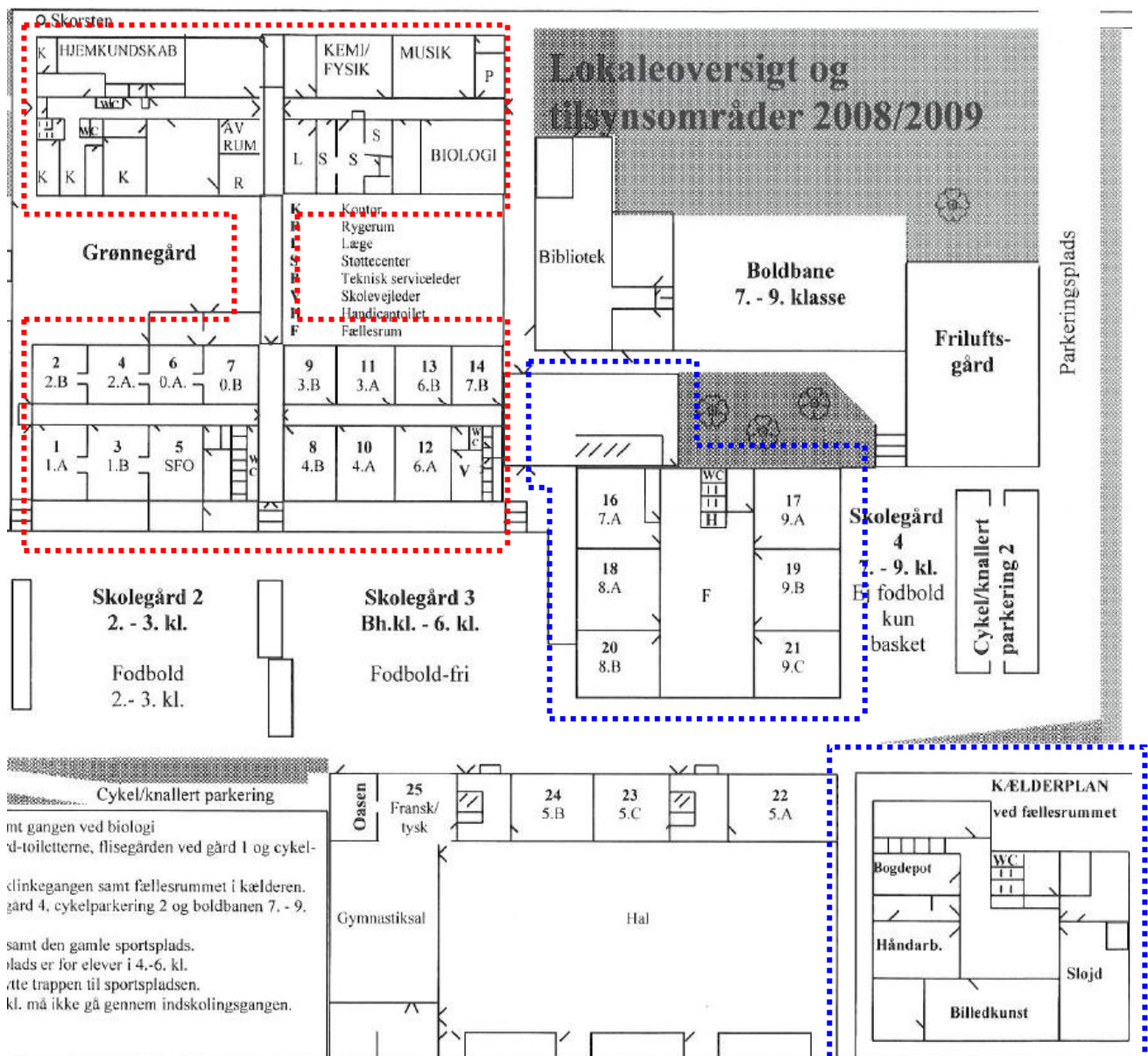


## 5 Case: Nyrupskolen

Nyrupskolen i Kalundborg (Nyrupvej 99, 4400 Kalundborg) er en ældre skole, og den betragtes i denne rapport som et godt eksempel på en skole, hvor der er væsentlige forbedringspotentialer hvad angår indeklima, belysning og energiforbrug. Det er disse potentialer, vi fokuserer på i dette kapitel.

### 5.1 Om Nyrupskolen

Skolen er bygget sidst i 1960'erne, og er siden blevet udbygget. Den huser ca. 550 elever samt ca. 50 lærere.<sup>16</sup> Der er ca. 25 elever pr. klasse. Skolens areal er ca. 8000 m<sup>2</sup>, fordelt som vist på tegningen nedenfor.



<sup>16</sup> [www.nyrupskolen.dk](http://www.nyrupskolen.dk)



Nyrupskolen består af en blanding af ældre og nyere bygninger samt en hal og en bibliotekspavillon. I denne caseanalyse omtales skolens forskellige bygninger som henholdsvis:

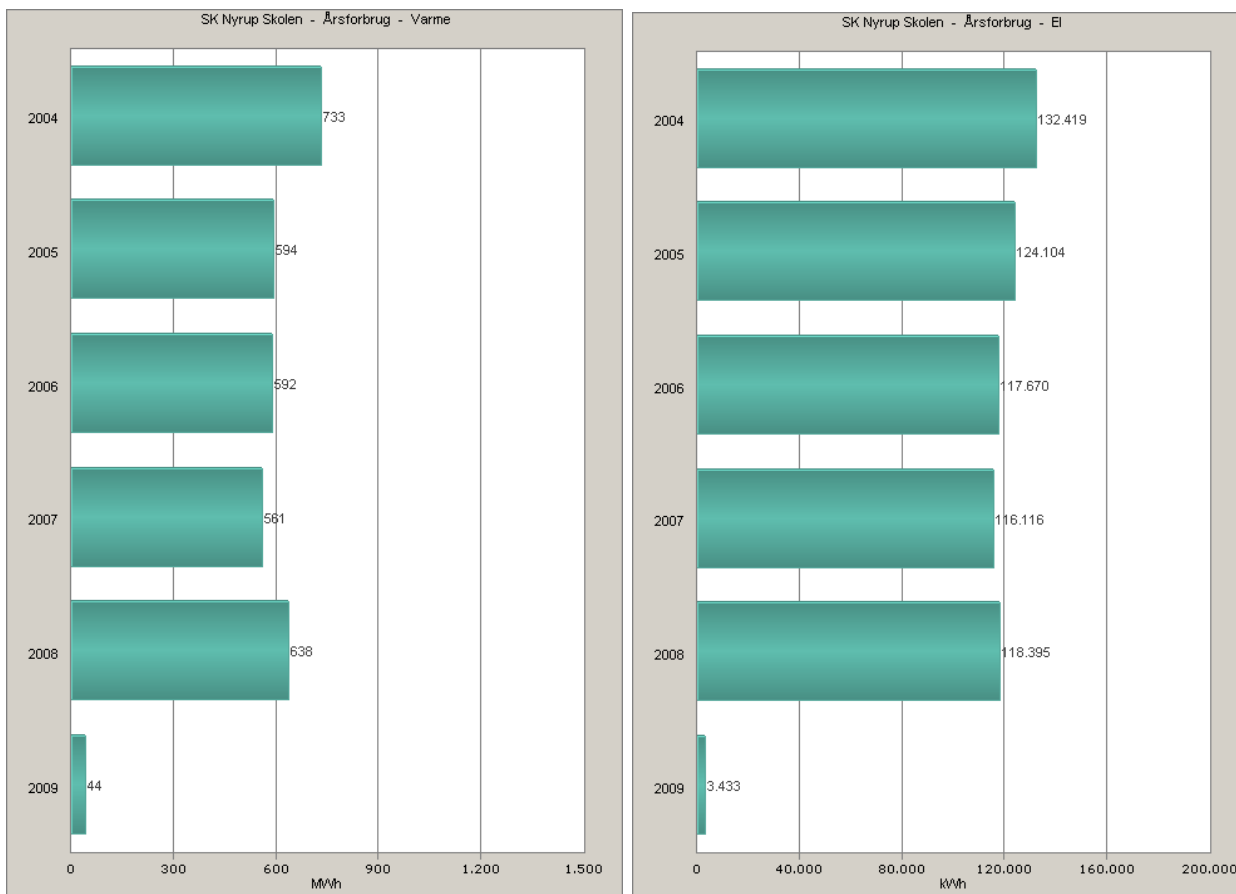
- **Skolens ældre del (markeret med rødt på tegningen ovenfor)**, som bl.a. omfatter faglokaler, kontorer samt klasselokalerne 2-14. Lokalerne er fordelt på to bygninger, som ligger parallelt overfor hinanden (en bygning mod nord-vest, én mod syd-øst). De to bygninger er forbundet med en gang i midten, så de to bygninger + gang har form som et H – se øverst til venstre på tegningen ovenfor.
- **Skolens nyere del (markeret med blå på tegningen ovenfor)**, som bl.a. omfatter faglokaler samt klasselokalerne 16-21. Denne bygning består af et kælder- og et stueplan, som begge er med på tegningen ovenfor (kælderplanet i nederste højre hjørne).

I caseanalysen ser vi bort fra hallen og bibliotekspavillonen, idet vi ønsker at fokusere på de dele af Nyrupskolen, der kan betragtes som direkte sammenlignelige med andre skoler i Danmark – og i den sammenhæng anser vi de almindelige klasse- og faglokaler samt tilhørende kontorer m.v. som bedst egnede til formålet.

Det samlede areal for skolens ældre og nyere del (uden hallen og bibliotekspavillonen) er ca. 4900 m<sup>2</sup>.

## 5.2 Skolens energiforbrug

Nyrupskolen opvarmes med fjernvarme. Ifølge Nyrupskolens data på [www.keepfocus.dk](http://www.keepfocus.dk) (i programmet Energy-Guard Web), ser skolens energiforbrug over de seneste 5 år ud som vist i Figur 1.



Figur 1: Nyrupskolens el- og varmeforbrug ifølge [www.keepfocus.dk](http://www.keepfocus.dk) (12. Januar 2009).

Omregner man 2007-forbruget til forbrug pr m2 opvarmet areal, ligger skolens varmeforbrug på 122,84 kWh/m<sup>2</sup> og elforbruget på 25,43 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er, især hvad angår varmeforbruget, et godt stykke over landsgennemsnittet, som i 2007 lå på 110 kWh/m<sup>2</sup> (varme) og 22 kWh/m<sup>2</sup> (el).

### 5.3 Nuværende belysning

I dette afsnit beskrives de nuværende belysningsforhold på Nyrupskolen, og der beregnes et energiforbrug for hvert lokale, målt i energiforbrug pr. m<sup>2</sup>. Der er tale om en teoretisk beregning af energiforbruget i lokalene, eftersom der ikke har været adgang til faktiske målinger af energiforbruget til belysning i hvert lokale.

#### Skolens ældre del – NV-bygningen

Belysningen i NV-bygningen er meget blandet, både når det gælder type og fabrikat, hvilket skyldes at lokalernes funktioner er meget forskellige. Stort set alle glødetrædspærer er skiftet ud med sparepærer, og de resterende bliver (efter pedellens udsagn) løbende udskiftet i den nærmeste fremtid. I 4 lokaler er der lysstofrør.

Lige loaklen: SØ vendt vinduer; Ulige lokalnr: NV vendt vinduer												
*Der bliver lagt 20 % til effekten pga. spoletab i lysstofrør.												
Lys\Lokaler	skolekøkken	Bibliotek /datarum /lærerværelse	kontor	køkken	lærerværelse	avrum	Naturfærdige/kemi	Musik	Depot (pedel)	kontor (gl tandlæge)	biologi	Depot
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]				
Pære (glødetråd/sparepære) [W]		576,0	576,0	20,0	576,0	64,0		576,0	64,0	389,0	576,0	256,0
Lysstofrør*	734,4					139,2	1204,8			226,0		
Halogen							6 stk					
Total	734,4	576,0	576,0	20,0	576,0	203,2	1204,8	576,0	64,0	615,0	576,0	256,0
Vinduesareal	30,7	22,7	34,1	0,0	22,7	0,0	22,7	22,7	6,9	22,7	22,7	7,6
Gulvareal	96,6	87,2	82,2	10,6	87,2	15,6	87,2	87,2	26,6	87,2	87,2	29,1
Lyseffekt pr gulvareal [W/m2]	7,6	6,6	7,0	1,9	6,6	13,0	13,8	6,6	2,4	7,1	6,6	8,8
Vinduesareal/gulvareal [%]	31,8	26,0	41,5	0,0	26,0	0,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0

### Skolens ældre del – SØ (lokale 8-14)

Belysningen i skolens SØ-bygning er mere ensartet end NV-bygningen, hvad angår lyskildetypen. Alle lokaler, på nær ét, har spare-/glødetråd-pærer. Af tabellen nedenfor fremgår et udsnit af lokalene i SØ-bygningen.

Skolebygning SØ								
*Der bliver lagt 20 % til effekten pga. spoletab i lysstofrør.								
Lys\Lokaler	8	9	10	11	12	13	14	Depot
Pære (glødetråd/sparepære) [W]		384,0	432,0	384,0	432,0	384,0	384,0	128,0
Lysstofrør [W] *	518,4							
Lys total [W]	518,4	384,0	432,0	384,0	432,0	384,0	384,0	128,0
Vinduesareal	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	
Gulvareal	57,4	56,0	57,4	56,0	57,4	56,0	56,0	
Lyseffekt pr gulvareal [W/m2]	9,0	6,9	7,5	6,9	7,5	6,9	6,9	
Vinduesareal/gulvareal [%]	26,3	27,0	26,3	27,0	26,3	27,0	27,0	

### Skolens nyere del – kælderplan

Belysningen i kælderplanet består kun af lysstofrør, bortset fra toiletterne. Lokalernes funktion (og dermed lokalernes vinduesareal, den installerede effekt m.v.) varierer dog, og denne variation ses også på effektforbruget pr. m2 gulv.

Belysning - Tilbygning kælder							
Der bliver lagt 20 % til effekten pga. spoletab i lysstofrør.							
Lys\Lokaler	Håndgerning	Formningslokale	Sløjdlokale	Pigetoilet	Drengetoilet	fælleslokale	Depot
Glødetråd/sparepære [W]				18,0	18,0		
Lystofrør [W]	864,0	1144,8				648,0	86,4
Lys total [W]	864,0	1144,8	0,0	18,0	18,0	648,0	86,4
Vinduesareal [m2]	14,1	28,6	28,5				
Gulvareal [m2]	88,6	180,0	179,5	10,4	10,4	109,3	27,6
Lys-effekt pr gulvareal [W/m2]	9,7	6,4	0,0	1,7	1,7	5,9	3,1
Vinduesareal/gulvareal [%]	15,9	15,9	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0

## Skolens nyere del – stueplan

Belysningen i stueplanet består kun af Phillips lysstofrør. Energiforbruget pr m2 gulv er ca. dobbelt så stort som i de øvrige bygninger.

Tilbygning - stueplan										
*Der bliver lagt 20 % til effekten pga. spoletab i lysstofrør.										
Lokaler	16	Rum i lokale 16	17	18	19	20	21	Pigetoilet	Drenge toilet	fælleslokale
Vindueplacering	SV		NØ	SV	NØ	SV	NØ			
Glødetråd/ sparepære [W]										
Lystofrør [W]*	1170	270	1382	806	1382	1382	1382			1987
Lys total [W]	1170	270	1382	806	1382	1382	1382	0	0	1987
Vinduesareal [m2]	19		19	19	19	19	19			19
Gulvareal [m2]	84,5	5,7	90,3	90,3	90,3	90,3	90,3	90,3	90,3	204,3
Lyseffekt / Gulvareal [W/m2]	13,8	47,2	15,3	8,9	15,3	15,3	15,3	0,0	0,0	9,7
vinduesareal / gulvareal [%]	22,5	0,0	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	0,0	0,0	9,3

## Potentiale for dagslysstyring

Det ses i skemaerne ovenfor, at rudearealet i alle lokalerne svarer til mindst 10 % af gulvarealet. Ifølge BR08-vejledningen (6.5.2, stk 1) anses dagslyset i almindelighed for at være tilstrækkeligt i arbejdsrum, når rudearealet svarer til mindst 10 % af gulvarealet. Dette betyder, at man i alle lokalerne teoretisk set skulle kunne undvære den kunstige belysning i hvert fald i en del af driftstimerne – og at det derfor kunne være en fordel at etablere en form for dagslysstyring.

## De ansattes vurdering af belysningen på Nyrupskolen

I marts og april måned (10. marts - 11. april 2008) gennemførte vi en spørgeskemaundersøgelse blandt alle lærere og pædagoger samt teknisk og administrativt personale på Nyrupskolen. I spørgeskemaundersøgelsen spurgte vi ind til de ansattes oplevelse af indeklimaet og belysningen på Nyrupskolen.

Besvarelserne viser, at hvad angår belysningen, mener ca. 88 % af respondenterne, at belysningen er tilpas, mens ca. 12 % mener, at belysningen er utilstrækkelig.

Eftersom spørgeskemaundersøgelsen er gennemført i marts-april, kan det ikke udelukkes, at der i årets mørkere perioder er flere, der finder belysningen utilstrækkelig. Skolens personale fortæller desuden, at der er et synshandikappet barn på skolen, som lider under for dårlig belysning, og at der pt. ligger en ansøgning hos kommunen om bedre belysning på den baggrund.<sup>17</sup>

Individuelle kommentarer fra spørgeskemaerne tyder på, at særligt de lokaler der bliver brugt til SFO, har brug for bedre belysning: "SFO ønsker direkte belysning over bordene. Vi har pt dårlig belysning."

## 5.4 Forslag til forbedring af belysningen

Vi har lavet to forskellige forslag til forbedring af belysningen på Nyrupskolen – ét med og ét uden dagslysstyring. Forslaget dækker de i alt 35 lokaler i både den ældre og den nyere del af skolen, som er opholdsrum (dvs. klasse- og faglokaler, lærerværelse, kontorer, bibliotek m.v.), idet det er her skolens børn og personale opholder sig det meste af tiden. Det er således her, der opnås den største komfort- og indlæringsmæssige gevinst ved at etablere en bedre belysning.

<sup>17</sup> Telefonsamtale med Viceinspektør Lisbeth Thaulow, Nyrupskolen, 20. februar 2008

Vi foreslår, at man udskifter belysningsanlæggene til nye zoneopdelte og energieffektive anlæg bestående af:

- Armaturer fa. Glamox type C10-P2 1x28W med dæmpbar HF-forkobling (til belysning af opholdszone)
- Tavlearmaturer fa. Glamox type C13 1x35W (til belysning af tavlezone o.l.)
- Servodan bevægelsesmeldere
- Servodan dagslysstyring med dæmp. (i det ene forslag)

## 5.5 Økonomisk gevinst ved forbedring af belysningen

Tabellen nedenfor giver et overblik over de økonomiske gevinster ved at gennemføre de foreslåede forbedringer af belysningen på Nyrupskolen.

Øverste del af tabellen opgør udelukkende den økonomiske gevinst i form af besparelserne på elforbrug samt drift og vedligehold. I nederste del af tabellen indregnes også den forbedrede læring som en økonomisk gevinst – under forudsætning af, at ESCO'en leverer en kvalitetsgaranti på belysningen. Konceptet for en kvalitetsgaranti på belysningen – herunder omkostningerne herved – uddybes i kapitel 6 og 7. De øvrige forudsætninger for beregningerne uddybes i de afsnit der følger efter tabellen.

Forbedring belysning	Nuværende	Nyt m/dagslysstyring	Nyt u/dagslysstyring
<u>Driftsomkostninger belysning:</u>			
Elforbrug (kWh pr. år)	42.900	19.400	31.000
Elforbrug (kr. pr. år)	kr 57.486	kr 25.996	kr 41.540
Drift og vedligehold belysning (pr. år)	kr 58.500	kr 43.000	kr 43.000
Sum (pr. år)	kr 115.986	kr 68.996	kr 84.540
Årlig besparelse	-	<b>kr 46.990</b>	<b>kr 31.446</b>
<u>Investeringsomkostninger belysning:</u>			
Investering belysning	-	<b>kr 1.702.400</b>	<b>kr 1.539.500</b>
Simple TBT (år)		<b>36</b>	<b>49</b>
<b>Forbedring belysning + kvalitetsgaranti</b>			
Driftsomkostninger belysning (pr. år)		kr 68.996	kr 84.540
D&V monitoreringsudstyr (pr. år)	-	kr 41.000	kr 41.000
Sum (pr. år)	-	kr 109.996	kr 125.540
Årlig besparelse	-	<b>kr 5.990</b>	<b>-kr 9.554</b>
Investeringsomkostninger belysning		kr 1.702.400	kr 1.539.500
Investeringsomkostninger monitorering	-	kr 175.000	kr 175.000
Sum		kr 1.877.400	kr 1.714.500
Investering fordelt over 15 år (pr. år)	-	<b>kr 125.160</b>	<b>kr 114.300</b>
<u>Gevinst ved kvalitetsgaranti:</u>			
Årlig værdi af læring på Nyrupskolen*	-	kr 26.700.000	kr 26.700.000
Årlig værdi af 5 % forbedret læring	-	<b>kr 1.335.000</b>	<b>kr 1.335.000</b>
Årlig gevinst med kvalitetsgaranti	-	<b>kr 1.215.830</b>	<b>kr 1.211.146</b>

**Table 1: Beregning af økonomisk gevinst ved forbedring af belysningen på Nyrupskolen.** \* Den årlige værdi af læringen på Nyrupskolen ligestilles med skolens samlede årlige omkostninger, eftersom det er dette beløb, der årligt investeres i læringen.

Som det fremgår af øverste del af tabellen ovenfor, er der tale om meget lange tilbagebetalingstider for de forbedringer vi foreslår på belysningsanlæggene – der er 36 års tilbagebetalingstid, hvis man vælger den mest rentable løsning med dagslysstyring. Det er dog i den sammenhæng værd at bemærke, at investeringsomkostningerne er fastsat ud fra den forudsætning, at belysningen er det eneste, der skal ændres på Nyrupskolen. Hvis der var tale om en samlet renovering af både belysning, ventilation og evt. også andre forhold (såsom klimaskærm, varmeanlæg m.v.), ville forbedringerne formodentlig kunne gennemføres med noget lavere omkostninger.

Det er desuden sandsynligt, at der kunne opnås langt kortere tilbagebetalingstider, hvis man ikke stillede mod en helt gennemgribende udskiftning af belysningsanlægget, men i stedet blot udskiftede de mindst energieffektive armaturer til de mest energieffektive på markedet. PIR-følere og dagslysstyring bør også overvejes for hver enkelt lokale – i mange lokaler vil det formodentlig være rentabelt, i andre vil det måske ikke.

Tabellen nedenfor viser et eksempel fra DONG Energy, som giver tilbagebetalingstider på 3-12 år på renovering af belysningsanlæggene på en ældre skole. Eksemplet siger noget om, at renovering af belysning kan gøres rentabelt, hvis man går meget målrettet efter de største energislugere, og får en god pris på investeringerne via et udbud af opgaven. Energibesparelserne i eksemplet er et resultat af udskiftning af armaturer samt øget styring i gangarealerne (PIR-følere med tænd-sluk-dagslysstyring). I mange af lokalerne var der allerede etableret styring på belysningen, inden projektet blev igangsat.

Beregnete investeringer og besparelser				Kr/kWh		1,11						
Eksisterende anlæg				Nyt anlæg								
Område	Drifts-timer	kW	kWh	kr	Drifts-timer	kW	kWh	kr	Sparet kWh	Sparet kr	Investering kr	Tilbagebetalings-tid/år
Klasseværelser	1.280	14,6	18.742	20.803	1.280	11,1	14.145	15.701	4.596	5.102	44.300	8,7
Faglokaler	600	9,0	5.427	6.024	600	3,9	2.336	2.593	3.090	3.430	44.000	12,8
Administration - Læreværelse	2.000	3,6	7.244	8.041	2.000	2,9	5.808	6.447	1.436	1.594	17.100	10,7
Bibliotek	2.000	4,2	8.479	9.412	2.000	4,2	8.479	9.412	0	0	0	0,0
Gymnastiksal-omklædning	1.700	3,6	6.076	6.744	1.700	3,6	6.076	6.744	0	0	0	0,0
Tandlæge	600	1,2	707	785	600	1,1	677	752	29	33	54	1,7
Gange + aula	2.900	8,7	25.235	28.010	2.175	6,1	13.288	14.750	11.946	13.260	50.000	3,8
SFO	1.600	3,4	5.372	5.963	1.600	1,4	2.223	2.468	3.149	3.495	13.400	3,8
Sundhedsplejerske	100	0,4	38	42	100	0,4	38	42	0	0	0	0,0
<b>Total</b>	----	49	77.319	85.824	----	35	53.071	58.909	24.247	26.914	168.854	6,3
Alle beløb er ekskl. moms.												

Hvis en ESCO etablerer monitorering, der muliggør en kvalitetsgaranti på belysningen, kan det overvejes, om man i beregningen af den økonomiske gevinst ved at renovere Nyrupskolens belysning også bør indregne den forbedrede læring der (som beskrevet i afsnit 4.3) følger af bedre belysning.

Den forbedrede læring er i nederste del af Tabel 1 forsøgt omsat til økonomisk værdi ud fra den betragtning, at dårlig belysning resulterer i op til 20 % forringelse af indlæringen – og dermed i et tab på op til 20 % af en skoles omsætning (når omsætning defineres som elevernes læring). Sagt på en anden måde, så spildes op til 20 % af de midler, der bruges på skolen, hvis elevernes læring hæmmes af dårligt indeklima.

I indregningen af den forbedrede læring i den samlede økonomi har vi valgt at være forsigtige, og vi har derfor kun regnet med 5 % forbedret læring. Vi har derfor værdisat den forbedrede læring som svarende til en 5 % af skolens samlede årlige omkostninger.

Når den forbedrede læring indregnes, viser det sig at gevinsten langt overstiger omkostningerne ved en renovering – selv om vi kun har regnet med 5 % forbedret læring.

## Forudsætninger

I de følgende afsnit uddybes vores beregning af Nyrupskolens nuværende elforbrug og omkostninger til belysning, samt vores beregning af investering, D&V-omkostninger og energibesparelser efter de foreslåede forbedringer af belysningen. Monitoreringskonceptet og omkostningerne hertil er uddybet i kapitel 6.

### **Elforbrug og el-udgift til belysningsanlæg i dag**

Eftersom vi ikke har haft mulighed for at måle elforbruget til belysning adskilt fra det øvrige elforbrug på skolen, har vi lavet en teoretisk beregning af elforbruget til belysning. Den teoretiske beregning er foretaget med afsæt i vores registreringer af det installerede belysningsudstyr i Nyrupskolens 35 klasse- og faglokaler, kontorer m.v., og den ser således ud:

Belastningen fra belysningsanlæggene i disse lokaler udgør 23,5 kW.

Det samlede areal for lokalerne udgør 2.818 m<sup>2</sup>.

Den installerede effekt pr. gulvareal udgør derfor 8,34 W/m<sup>2</sup>.

Belysningsanlæggene er i drift i tidsrummet fra kl. 6.00 til kl. 15.00. Dette medfører en årlig driftstid på ca. 1.827 timer (9 h/dag · 203 dage/år).

Dette medfører et årligt elforbrug på:

$$23,5 \text{ kW} \cdot 1.827 \text{ h} = 42.900 \text{ kWh.}$$

Med en elpris på 1,34 kr./kWh medfører det en årlig el-udgift til belysning på ca. 57.500 kr.

### **Udgifter til drift og vedligehold af belysningsanlæg i dag**

Skolens pedel har skønnet skolens udgifter til drift og vedligehold af belysningsanlæggene til:

Vedligeholdelse belysning (elektriker):	22.500 kr.
Drift belysning (20 pedeltimer pr. md., 150 kr. pr. time)	36.000 kr.
I alt	58.500 kr.

### **Elforbrug og el-udgift til nyt belysningsanlæg m/ dagslysstyring**

Med henblik på at kunne beregne investering og besparelspotentiale ved udskiftning af belysningsanlæggene til nye energieffektive anlæg, som giver bedre lys, har vi regnet på udskiftning i ét lokale:

I lokale 12 består belysningsanlægget af 12 stk. armaturer for 36 W lavenergilamper. Anlægget er af ældre dato, og kan udskiftes med et zoneopdelt anlæg bestående af følgende:

- 9 stk. armaturer fa. Glamox type C10-P2 1x28W med dæmpbar HF-forkobling.
- 4 stk. tavlearmaturer fa. Glamox type C13 1x35W
- Servodan bevægelses- og dagslysstyring med dæmp.

Den samlede belastning fra det nye anlæg udgør 0,44 kW.

Lokalets areal udgør 57 m<sup>2</sup>.

Den installerede effekt pr. gulvareal med det nye anlæg udgør derfor 7,53 W/m<sup>2</sup>.

Det nye anlæg er med bevægelses- og dagslysstyring, hvilket skønsomt vil medføre en besparelse på 40 – 50 %.

Opskaleres dette til alle lokalerne, vil det årlige elforbrug udgøre:

$$0,5 \cdot 7,53 \text{ W/m}^2 \cdot 2.818 \text{ m}^2 \cdot 1.827 \text{ h} = 19.400 \text{ kWh}$$



Med en elpris på 1,34 kr./kWh medfører det en årlig el-ugift til belysning på ca. 26.000 kr.

### **Investering i nyt belysningsanlæg m/ dagslysstyring**

Investeringen i det nye belysningsanlæg ser således ud:

Prisen for belysningsanlægget til lokale 12 udgør ifølge tilbud 38.260 kr.

Arealet af lokale 12 er 57 m<sup>2</sup>. Det samlede areal for de lokaler hvor der skal installeres nye belysningsanlæg, er 2.818 m<sup>2</sup>.

Den samlede nødvendige investering (forudsat 10 % prisreduktion pga. den store volumen) kan derfor beregnes til:

$$(2.818 \text{ m}^2/57 \text{ m}^2) \cdot 38.260 \text{ kr.} \cdot 0,9 = 1.702.400 \text{ kr.}$$

Heri er der ikke indregnet omkostninger i forbindelse med låntagning.

### **Elforbrug og el-udgift til nyt belysningsanlæg u/ dagslysstyring**

Hvis man lavede samme løsning, blot uden dagslysstyring, ville det skønsmæssigt medføre en el-besparelse på 15-20 %. Så ville billedet se således ud:

Det årlige elforbrug for lokalerne vil udgøre:

$$0,8 \cdot 7,53 \text{ W/m}^2 \cdot 2.818 \text{ m}^2 \cdot 1.827 \text{ h} = 31.000 \text{ kWh}$$

Med en elpris på 1,34 kr./kWh medfører det en årlig el-udgift til belysning på ca. 41.500 kr.

### **Investering i nyt belysningsanlæg u/ dagslysstyring**

Investeringen i det nye belysningsanlæg ser således ud:

Prisen for belysningsanlægget til lokale 12 udgør 34.600 kr.

Arealet af lokale 12 er 57 m<sup>2</sup>. Det samlede areal for de lokaler hvor der skal installeres nye belysningsanlæg, er 2.818 m<sup>2</sup>.

Den samlede nødvendige investering (forudsat 10 % prisreduktion pga. den store volumen) kan derfor beregnes til:

$$(2.818 \text{ m}^2/57 \text{ m}^2) \cdot 34.600 \text{ kr.} \cdot 0,9 = 1.539.500 \text{ kr.}$$

Heri er der ikke indregnet omkostninger i forbindelse med låntagning.

### **Udgifter til drift og vedligehold af nyt belysningsanlæg**

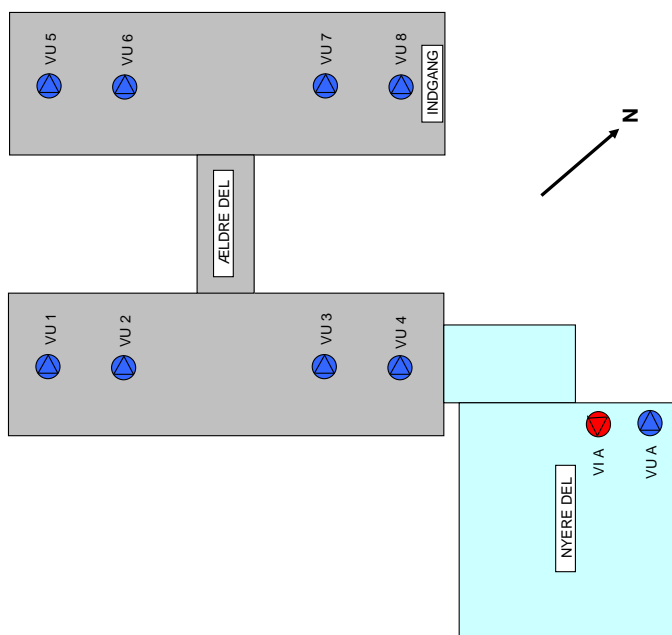
Det forudsættes, at udgifterne til drift og vedligehold af det nye anlæg vil se således ud:

Vedligeholdelse belysning (elektriker, ca. 1 time/lokale/år, dog indregnet reduktion i tidsforbrug pga. mange lokaler)	25.000 kr.
Drift belysning (10 pedeltimer pr. mdr., 150 kr. pr. time)	18.000 kr.

## 5.6 Nuværende ventilation og indeklima

Ventilationen på Nyrupskolen er væsentligt forskellig i henholdsvis den ældre og den nyere del af skolen. I vores beskrivelse af den nuværende ventilation – samt de efterfølgende forbedringsforslag, økonomiske overslag m.v. – beskæftiger vi os derfor med de to dele af skolen hver for sig.

Opdelingen fremgår af nedenstående figur.



### Ventilering af den ældre del af skolen

De to ældre bygninger betjenes af samme type ventilationssystem – et såkaldt udsugningsanlæg. På bygningernes flade tage sidder der i alt 8 tagventilatorer, 4 på hver bygning. De 4 ventilatorer er igen opdelt styringsmæssigt, således at der er to ventilatorer til hver fløj (halvdel) af bygningerne.

Alle tagventilatorerne suger luft ud af bygningerne. Udsugningen er opbygget sådan, at det gennemgående loftsrum over gangen i henholdsvis NV- og SØ-bygningen fungerer som udsugningskanal. I hvert lokale er der en række riste, der fører ind til loftsrummet – her suges luften ud af lokalerne.

Under kortlægningen af ventilationssystemet i NV-bygningen, viste det sig, at nogle af udsugningsristene i lokalene var afskærmede, dvs. blokerede. Personalet på skolen fortæller, at ventilatorerne tit er slukket i NV-bygningen pga. støjproblemer – hvilket også var grunden til de afskærmede riste.

Det har oprindeligt været tanken, at erstatningsluften for den udsugede luft skulle suges ind via friskluftventiler ved vinduerne. Men da skolens klimaskærm blev renoveret for ca. 4 år siden, blev alle skolens vinduer udskiftet, og i den forbindelse blev friskluftventilerne blændet.<sup>18</sup> Erstatningsluften kommer derved i stedet ind i lokalene via utætheder i bygningen, samt fra gangarealerne via en luftspalte mellem dør og gulv.

<sup>18</sup> Skolens pedel (Hans) og Leif Andersen, Kalundborg Kommune, 8. januar 2008



Gangloftrum/udsugningskanal



Rist i Gangloftrum/udsugningskanal



Rist i klasselokale

Ved gennemgangen af skolen, kortlagde vi luftmængderne i ventilationssystemet. De luftmængder der suges ud af lokalerne i NV-bygningen fremgår af skemaet nedenfor. Flere af lokalerne i NV-bygningen har separate procesudsug – disse er ikke medtaget i kortlægningen, idet de kører i begrænset omfang.

NV-bygningen	skolekøkken	Bibliotek/datarum/lærerværelse	kontor	køkken	lærerværelse	av-rum	Naturlære/kemi	Musik	Depot (pedel)	kontor (gl. tandlæge)	biologi	udsugning total
	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]
Udsugning	procesudsug	128	116		136		procesudsug	spæret af		procesuds. bruges ikke mere.	24,8	
Udsugning	procesudsug	120			140,8		procesudsug	spæret af		Ingen vent.	30,4	
Udsugning	procesudsug	124,8			138,4		procesudsug	spæret af			40	
Udsugning	procesudsug	176			149,6		procesudsug	spæret af			32	
I alt	0	548,8	116	0	564,8	0	0	0	0	0	127,2	1357

Tabel 2 - Måledata fra lokalerne i NV-bygningen

De luftmængder, der suges ud via ventilatorerne på taget af NV-bygningen fremgår af tabellen nedenfor.

Tagventilatorer på eksist. Byg. NV	[m3/h]
Tagvent. 1	3965
Tagvent. 2	3787
Tagvent. 3	4084
Tagvent. 4	3823
Total	15659

Tabel 3 - måledata fra tagventilatorerne på NV-bygningen

Ved at sammenholde den luftmængde der suges ud af lokalerne, med den luftmængde som ventilatorerne på taget suger ud, kan man danne sig et billede af systemets effektivitet. I dette tilfælde er der meget stor forskel på den udsugede luftmængde i lokalerne og på taget – hvilket tyder på et meget stort tab i systemet. Nærmere bestemt kan man regne sig frem til en lækageandel på 14.302 m3/h – hvilket betyder, at hele 91 % af den udsugede luft ingen nytte gør i de ventilerede lokaler.

I stedet suger tagventilatorerne luft fra gangarealerne gennem utætheder i bygningen. Dermed fungerer ventilationen ikke efter hensigten, og luftskiftet kommer ikke lokalet til gode. Her er der altså tale om en form for ventilationsmæssig kortslutning, hvor ventilatorerne suger ubrugt erstatningsluft ud.

Billedet i SØ-bygningen følger samme tendens – men tallene er dog ikke helt så grelle som i NV-bygningen. Af tabellen nedenfor fremgår et udsnit af lokalerne i SØ-bygningen.

SØ-bygningen	8	9	10	11	12	13	14	udsugning total
	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]
Udsugning	232	208	64	60	192	42,4	64	
Udsugning	192	236	62,4	52	192	44	60	
I alt	424	444	126,4	112	384	86,4	124	1700,8

Tabel 4 - måledata fra lokalerne i SØ-bygningen

Tagventilatorer på eksist. Byg. SØ til lokalerne 8 - 14	[m3/h]
Tagvent. 1	2732
Tagvent. 2	3273
Total	6005

Tabel 5 - måledata fra tagventilatorerne på SØ-bygningen – kun to af de fire ventilatorer på SØ-bygningen knytter sig til lokale 8-14

Igen ses det, at tagventilatorerne suger meget større luftmængder ud, end den totale målte luftmængde i klasselokalerne. Lækageandelen er i dette tilfælde 4304 m3/h – dvs. at 72 % af den udsugede luft spildes.

### Ventilering af den nyere del af skolen

I skolens nyere del er der etableret balanceret ventilation, dog uden varmegenvinding. Ventilationssystemet består af et udsugningsanlæg der er placeret i kælderen, og et indblæsningsanlæg som står i stueplan – begge betjener både kælder- og stueplan. Indblæsningsaggregatet er forsynet med en varmeflade, som forsynes fra skolens centralvarmeanlæg. Yderligere er der separat udsug til wc-afsnit.

Lokalerne ventileres via 4 riste i hvert lokale, hvoraf 2 bruges til udsugning og 2 til indblæsning. Både udsugnings- og indblæsningsluftmængderne varierer en del, og som resultat heraf er der i praksis ikke balanceret ventilation i lokalerne, bortset fra to lokaler. Den samlede udsugning er desuden noget større end den samlede indblæsning. Dette tyder på, at der suges luft ind i lokalerne udefra via lækager i bygningen. Luftmængderne for henholdsvis udsugning og indblæsning ses af tabellerne nedenfor.

Nyere del stueplan	16	Rum i lok. 16	17	18	19	20	21	Pige-toilet	Drengetoilet	fælleslokale	Total udsugning og indblæsning
Vinduernes retning	SV		NØ	SV	NØ	SV	NØ				
	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]
Udsugning	172		155	208	92	204	138	80	85	348	
Udsugning		153	130	139	104	148	168			304	Total udsugning
Udsugning i alt	172	153	285	347	196	352	306	80	85	652	2628
Indblæsning		128	192	96	144	76	80			154	Total
Indblæsning		168	99	90	160	76	104			218	indblæsning
Indblæsning i alt	0	296	291	186	304	152	184	0	0	372	1785

Tabel 6 - Luftmængderne i stueplan

Nyere del kælderplan	Hånd- gøring	Formnings- lokale	Sløjdelokale	Køre- stolsrum	Pigetoilet	Dreng- toilet	fælles- lokale	Total udsugning og indblæsning
Vinduernes retning	SV	SØ	NØ					
	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]	[m3/h]
Udsugning	192	101	212	13	89	105	108	
Udsugning	142	108	192				152	
Udsugning		112	140					Total udsugning
Udsugning		97	168					
Udsugning i alt	334	418	712	13	89	105	260	1931
Indblæsning	120	108	128				56	
Indblæsning	110	146	74				96	
Indblæsning		93	82					Total indblæsning
Indblæsning		56	52					
Indblæsning i alt	230	403	336	0	0	0	152	1121

Tabel 7 – Luftmængderne i kælderplan

### Vurdering af indeklimaet på Nyrupskolen – ud fra målingerne

Med henblik på at vurdere indeklimaet på Nyrupskolen er der foretaget indeklimatemålinger samt nøjagtig opmåling og visuel inspektion af flere lokaler på Nyrupskolen. I det følgende præsenterer vi uddrag af vores måledata fra to af lokalerne:

- Lokale 12 - Lokale i den ældre del af skolen, syd-øst vendt (middel solbelastet)
- Lokale 19 - Lokale i den nyere del af skolen, nord-øst vendt (lidt solbelastet)

Lokalerne vurderes at være repræsentative for Nyrupskolens lokaler generelt, og vi vurderer derfor, at resultaterne fra disse to lokaler kan opskaleres til resten af skolen.

Vi har valgt at trække måledata ud fra de perioder af dagen, hvor der iht. skemaplanen har været elever i lokalerne. Yderligere indeklimate-data samt en uddybende vurdering af indeklimaet på Nyrupskolen findes i bilag 2 – i dette afsnit behandler vi blot de mest centrale resultater.

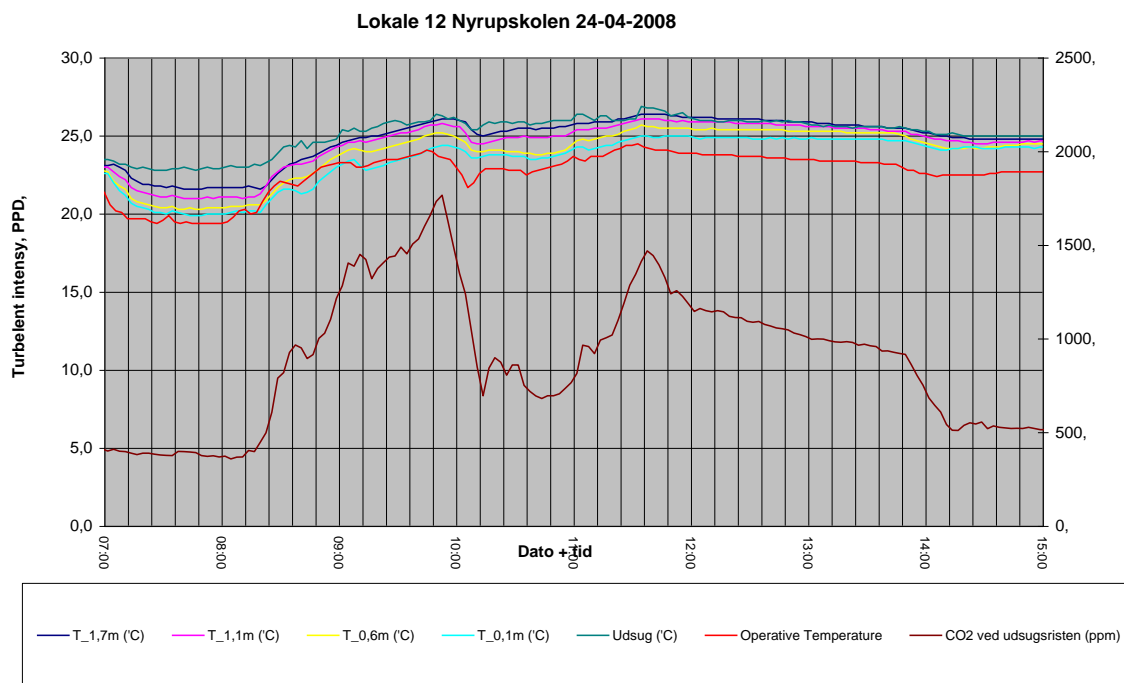
	Lokale 12		Lokale 19	
Gennemsnit:	22-04-2008 (9:30-13)	24-04-2008 (08 -12)	08-04-2008 (8-12)	09-04-2008 (10-14)
OT	24,09	22,92	21,50	22,06
CO2	1297,60	1149,00	876,00	1368,00
Variation:				
OT variation	2,90	5,10	3,00	1,90
Min OT	22,60	19,40	19,70	20,80
Max OT	25,50	24,50	22,70	22,70
Max CO2	2124	1767	1082	1971
Min CO2	999	682	662	1004

Tabel 8 – behandlede måledata fra lokale 12 og 19 (OT – operativ temperatur)

### Temperatur

Af tabellen ovenfor fremgår det, at de gennemsnitlige operative temperaturer i lokalerne ikke er alarmerende høje eller lave. I lokale 12 er gennemsnitstemperaturen dog, især den ene af de to dage, lidt over det temperaturniveau, der (som beskrevet i afsnit 4.3 og 4.4) er det optimale i et klasselokale (20-22 °C).

Mere interessant er det til gengæld at kigge på temperaturvariationerne over dagen. De øverste 6 kurver i grafen nedenfor viser temperaturudsvingene i Nyrupskolens lokale 12 over en skoledag, målt forskellige steder i lokalet. Tendensen er tydelig; når eleverne ankommer, stiger temperaturen væsentligt.



Hvad angår temperatur-variationen over dagen, kommer den i dette tilfælde helt op over 5 °C. Eftersom daglige temperaturændringer på over 4 °C opleves som ubehageligt (jf. gældende normer, se bilag 1), må det konkluderes, at der i nogle situationer er tale om variationer over et ønskeligt niveau.

Det skal i denne sammenhæng bemærkes, at de to lokaler (lokale 12 og 19) er hhv. lidt og middel solbelastede (iht. lokalernes orientering). Det må altså formodes, at temperaturerne i skolens mere solbelastede lokaler er højere. Ligeledes skal det bemærkes, at målingerne er foretaget i april måned, og det må formodes, at temperaturerne i årets varmeste måneder er væsentligt højere. Det må således formodes, at temperaturen mange dage om året (i størstedelen af skolens lokaler) overstiger det anbefalede niveau på 20-22 °C.

Som beskrevet i afsnit 4.3, kan for høje temperaturer (over 24-30 °C) give gener som træthed, hovedpine og tørhedsfornemmelse, og kan desuden mindske koncentrations- og indlæringssevnen.

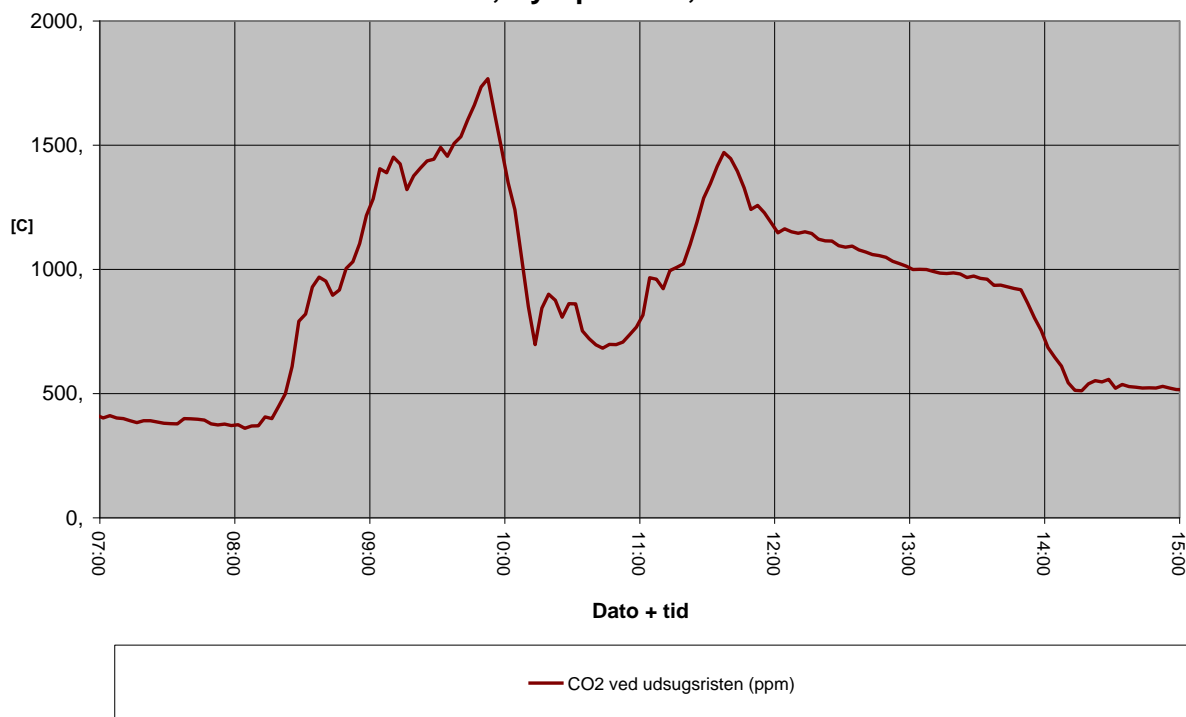
### CO<sub>2</sub>-koncentration

Den gennemsnitlige CO<sub>2</sub>-koncentration i lokalerne ligger i 2 ud af de 4 målinger over de 1200 ppm, der angives som maksimum i BR08. I 3 ud af de 4 målinger ligger den desuden over Arbejdstilsynets anbefaling på maks. 1000 ppm.

Ser man på variationen i CO<sub>2</sub>-koncentrationen hen over skoledagen, viser det sig, at CO<sub>2</sub>-koncentrationen i 1 af de 4 målinger kommer op over 2000 ppm i løbet af dagen. Som nævnt i afsnit 4.4 betegner Arbejdstilsynet luftskiftet som utilstrækkeligt, hvis luftens CO<sub>2</sub>-indhold overstiger 2000 ppm i korte perioder af en dag. I to ud af de resterende 3 målinger, kommer CO<sub>2</sub>-koncentrationen også op i nærheden af de 2000 ppm i perioder af dagen.

Som det fremgår af nedenstående kurve, er det tydeligt, at kort efter lokalet tages i brug, stiger CO<sub>2</sub>-koncentrationen op over de anbefalede værdier, hvilket er et generelt billede for skolen.

### Lokale 12, Nyrupskolen, 24-04-2008



Røgprøver udført i test-lokalerne sammenholdt med de målte CO<sub>2</sub>-koncentrationer peger på, at der ikke kommer tilstrækkelige mængder af friskluft ned i opholdszonen.

For høj CO<sub>2</sub>-koncentration kan (som beskrevet i afsnit 4.3) give anledning til øget hovedpine og træthed, samt mindske koncentrations- og indlæringssevnen.

I bilag 2 forefindes mere uddybende måleresultater og vurderinger af indeklimaet på Nyrupskolen.

### **De ansattes vurdering af indeklimaet på Nyrupskolen**

I forbindelse med vores gennemgang af skolen, fortalte skolens ansatte os, at de oplever problemer med indeklimaet i klasselokalerne – luften bliver hurtigt meget tung, når personbelastningen i lokalerne er høj (dvs. i timerne). I nogle lokaler (fx musiklokalet) kan vinduerne kun åbnes i frikvartererne – ellers klager naboerne over larmen. I håndarbejdslokalet er udluftningen via vinduerne ineffektiv, fordi vinduerne er placeret helt nede ved jordoverfladen, bag en jordvold, hvilket giver for meget læ uden for vinduerne til at skabe det nødvendige træk. Generelt klages der over dårlig luft og temperaturudsving (nogle gange for koldt, andre gange for varmt) i lokalerne.<sup>19</sup>

Den tidligere nævnte spørgeskemaundersøgelse, som vi gennemførte i marts og april måned (10. marts - 11. april 2008) viste da også en del utilfredshed med indeklimaet på Nyrupskolen.

Hvad angår indetemperaturen, var der ifølge respondenterne i 8 % af tilfældene for koldt, og i 22 % af tilfældene for varmt i lokalerne. Det er i denne forbindelse værd at huske på, at spørgeskemaundersøgelsen blev udført i en periode, som langt fra er årets varmeste. Det kan derfor med rimelighed forventes, at flere vil finde indetemperaturen for høj i årets varmere perioder.

<sup>19</sup> En lærers observationer – fortalt d. 8. januar 2008 (vores første besøg på skolen)

Men selv de i alt 30 %, der finder indetemperaturen for lav eller for høj i marts-april måned, må betegnes som utilfredsstillende. Erfaring viser, at ved gode indeklimaforhold (kategori A iht. DS 474 og DS 1751, som beskrevet i bilag 1), vil der være 10-15 % utilfredse. På Nyrupskolen er man således langt oppe over et ønskværdigt niveau for utilfredse, selv uden for årets varmeste periode.

De individuelle kommentarer i spørgeskemaerne understøtter de kvantitative resultater;

"Meget svingende temperaturer"

"Østvendte lokaler ekstreme temp. Forår + sommer"

"Enten for varmt eller for koldt i visse klasser"

Med luftkvaliteten står det lige så slemt til: I 27 % af besvarelserne oplever respondenterne, at luften er "tung". I 63 % af tilfældene vurderes luftkvaliteten som "OK" (hvilket dog kan dække over alt lige fra tilfredshed med forholdene til blot accept af forholdene). Luftkvaliteten opleves som "frisk" i kun 9 % af tilfældene. Også her er der altså tale om en andel af utilfredse, der ligger et godt stykke over det ønskelige niveau.

Igen understøtter de individuelle kommentarer i spørgeskemaerne den overordnede tendens:

"Har en følelse af at det kan være svært at trække vejret til tider. Kan have tilstoppet/tør næse og hovedpine."

"Har tit lukkede slimhinder i næsen. Problemer med stemme/hals"

"Får ofte hovedpine"

"Mine øjne er røde, når jeg kommer hjem efter en arbejdsdag"

Spørgeskemaundersøgelsen peger desuden på begrænsede problemer med træk: I 12 % af tilfældene oplever respondenterne træk, i 88 % af tilfældene oplever de ikke træk. Her er der således ikke tale om et stort problem. Dog kan træk have betydning for respondenternes oplevelse af indetemperaturen, og derfor bør træk-gener også forebygges, hvis der skal ændres på skolens ventilation.

## **5.7 Forslag til forbedring af ventilationen**

Vi beskriver i dette afsnit tre forslag til forbedring af ventilationen på Nyrupskolen. I alle tilfælde er der i den økonomiske vurdering af forslagene indregnet indregulering og nedtagning af lofter (i den ældre del af skolen kan der mod en merpris på 80.000 kr. etableres nye lofter i alle gangarealer).

Priserne for anlæggene er beregnet af ventilationsentreprenørfirmaet PRO VENT A/S, som i samarbejde med Teknologisk Institut har gennemgået bygningerne og anlæggene. Tilbuddet for alle anlæggene forefindes i bilag 3. De tre forbedringsforslag beskrives kort nedenfor.

### **1. Eksisterende anlæg opdateres, så ydelsen svarer til personbelastningen**

- a. I den ældre del af skolen nedtages lofterne i gangarealerne, og der monteres kanalsystem mellem ventilatorerne på taget og udsugningsarmaturerne i lokalerne. Der monteres friskluftventiler i klimaskærmen i alle lokaler. Luftmængden reduceres svarende til personbelastningen.
- b. I den nyere del af skolen kobles udsugnings- og indblæsningsventilator sammen med væskekoblede batterier med 40 % varmegenvinding. Det nuværende anlæg opdateres med indregulering, så luftmængderne passer til personbelastningen.

Denne løsning er en low cost-opdatering uden betydelig reduktion af energiforbruget, men med en tilpasning af ventilationen, så rumtemperaturen og CO<sub>2</sub>-koncentrationen ændres til et acceptabelt niveau. Løsningen anbefales ikke pga. højt energiforbrug samt at der vil opstå trækgener i den ældre del af skolen i forbindelse med friskluftindtag i klimaskærmen.

### **2. Eksisterende anlæg ombygges til CAV-anlæg med varmegenvinding på 80 %**

- a. I den ældre del af skolen opsættes der 2 ventilationsanlæg med en ydelse på maksimalt 7.500m<sup>3</sup>/h pr. stk. med roterende veksler, der placeres på taget (et aggregat på SØ-bygningen og et på NV-bygningen). Kanalerne føres fra tag til gang over nedhængt loft igennem eksisterende gennemføringer fra udsugningsventilatorerne. Udsugning foretages via nye kanaler over nedhængte loft i gangen



og nye riste i hvert klasselokale. Indblæsningen foretages via nye kanaler over nedhængt loft i gangen, gennem eksisterende huller til udsugning i klasselokalerne, idet der sættes nye indblæsningsriste i disse huller.

- b. I den nyere del af skolen monteres nyt ventilationsanlæg for ca. 7.000 m<sup>3</sup>/h med roterende veksler, der placeres i kælderen, hvor det nuværende indblæsningsanlæg er placeret. Kanaler føres til stueetagen og samles med eksisterende kanaler i kælderen. De eksisterende ventilatorer demonteres. Indtag hæves minimum 50 cm over jordniveau.

CAV = Constant Air Volume. Anlæg med indblæsning, udsugning og varmegenvinding, som ventilerer bygningen i driftsperioden uden hensynstagen til belastningen – dvs. maksimal luftmængde i hele driftsperioden. Løsning er energibesparende pga. den høje virkningsgrad på varmegenvindingen, men samtidig reduceres en del af potentialet pga. den konstante ventilationsrate (luftmængde), som ikke følger belastningen af lokalerne. Denne løsning giver således et bedre indeklima, og der spares samtidig en del energi i forhold til den nuværende situation.

### 3. Eksisterende anlæg ombygges til VAV-anlæg med varmegenvinding på 80 %

- a. I den ældre del af skolen opsættes der 2 ventilationsanlæg med en ydelse på maksimalt 7.500 m<sup>3</sup>/h pr. stk. med roterende veksler, der placeres på taget (et aggregat på SØ-bygningen og et på NV-bygningen). Kanalerne føres fra tag til gang over nedhængt loft igennem eksisterende gennemføringer fra udsugningsventilatorerne. Udsugning foretages via nye kanaler over nedhængte loft i gangen og nye riste i hvert klasselokale. Indblæsningen foretages via nye kanaler over nedhængt loft i gangen igennem eksisterende huller til udsugning i klasselokalerne, idet der sættes nye indblæsningsriste i disse huller. Luftmængder til alle lokaler styres separat iht. personbelastningen, via motor-spjæld i gang.
- b. I den nyere del af skolen monteres nyt ventilationsanlæg for ca. 7.000 m<sup>3</sup>/h med roterende veksler, der placeres i kælderen, hvor det nuværende indblæsningsanlæg er placeret. Kanaler føres til stueetagen og samles med eksisterende kanaler i kælderen. De eksisterende ventilatorer demonteres. Indtag hæves minimum 50 cm over jordniveau. Luftmængder til alle lokaler styres separat iht. personbelastningen, via nye VAV-armaturer.

VAV = Variable Air Volume. Anlæg med indblæsning, udsugning og varmegenvinding, som ventilerer bygningen i driftsperioden under hensyntagen til belastningen – dvs. luftmængden varierer i forhold til den interne belastning, både hvad angår temperatur og CO<sub>2</sub>-niveau. Løsningen er den mest energibesparende pga. den høje virkningsgrad på varmegenvindingen og det behovsstyrede luftskifte.

## 5.8 Økonomisk gevinst ved forbedring af ventilationen

Tabel 9 og Tabel 10 (længere nede i dette afsnit) giver et overblik over de økonomiske gevinster ved at gennemføre de foreslåede forbedringer af ventilationen på Nyrupskolen.

Øverste del af hver af de to tabeller opgør udelukkende den økonomiske gevinst i form af besparelserne på elforbrug samt drift og vedligehold. I nederste del af tabellerne indregnes også den forbedrede læring som en økonomisk gevinst – under forudsætning af, at ESCO'en leverer en kvalitetsgaranti på ventilationen. Konceptet for kvalitetsgaranti på ventilationen – herunder omkostningerne herved – uddybes i kapitel 6 og 7. De øvrige forudsætninger for beregningen af den økonomiske gevinst uddybes i de afsnit, der følger efter tabellerne.

### Den ældre del af skolen (nuværende forhold: Udsugning)

	Nuværende forhold	1. "Up to date" (optimering af nuværende forhold)	2. CAV m vgv (Yderligere forbedring)	3. VAV m vgv (Maksimal forbedring)
<b>Forbedring ventilation</b>				
<u>Driftsomkostninger ventilation:</u>				
Elforbrug ventilation (pr. år)	kr 8.152	kr 9.393	kr 19.724	kr 13.750
Drift og vedligehold ventilation (pr. år)	kr 28.000	kr 7.500	kr 10.000	kr 10.000
Varmeforbrug (pr. år)	kr 191.355	kr 72.602	kr 14.520	kr 8.503
Sum (pr. år)	kr 227.507	kr 89.495	kr 44.245	kr 32.253
Årlig besparelse	-	<b>kr 138.012</b>	<b>kr 183.262</b>	<b>kr 195.254</b>
<u>Investeringsomkostninger ventilation:</u>				
Investering ventilation	-	<b>kr 550.000</b>	<b>kr 1.300.000</b>	<b>kr 1.600.000</b>
Simpel TBT (år)		<b>3,99</b>	<b>7,09</b>	<b>8,19</b>
<b>Forbedring ventilation + kvalitetsgaranti</b>				
Driftsomkostninger ventilation (pr. år)		kr 89.495	kr 44.245	kr 32.253
D&V monitoreringsudstyr (pr. år)	-	kr 51.000	kr 51.000	kr 51.000
Sum (pr. år)	-	kr 140.495	kr 95.245	kr 83.253
Årlig besparelse	-	<b>kr 87.012</b>	<b>-kr 5.750</b>	<b>-kr 39.008</b>
Investeringsomkostninger ventilation		kr 550.000	kr 1.300.000	kr 1.600.000
Investeringsomkostninger monitorering	-	kr 192.644	kr 192.644	kr 192.644
Sum		kr 742.644	kr 1.492.644	kr 1.792.644
Investering fordelt over 15 år (pr. år)	-	<b>kr 49.510</b>	<b>kr 99.510</b>	<b>kr 119.510</b>
<u>Gevinst ved kvalitetsgaranti:</u>				
Årlig værdi af læring på Nyrupskolen*	-	kr 26.700.000	kr 26.700.000	kr 26.700.000
Årlig værdi af 5 % forbedret læring	-	<b>kr 1.335.000</b>	<b>kr 1.335.000</b>	<b>kr 1.335.000</b>
Årlig gevinst med kvalitetsgaranti	-	<b>kr 1.372.502</b>	<b>kr 1.229.740</b>	<b>kr 1.176.483</b>

**Table 9 - Beregning af økonomisk gevinst ved forbedring af belysningen på Nyrupskolen.** \* Den årlige værdi af læringen på Nyrupskolen ligestilles med skolens samlede årlige omkostninger, eftersom det er dette beløb, der årligt investeres i læringen.

Forskellen i investeringsomkostningerne til forbedring af ventilationen i hhv. forslag 2 og 3 skyldes, at der i forslag 3 er indregnet VAV-automatik med CO<sub>2</sub>- og temperaturfølere i udsugningskanalerne og VAV-armaturer, hvilket i alt koster 300.000 kr. Prisen for forslag 3 kan gøres 200.000 kr. billigere, hvis der i stedet anvendes PIR-følere. Desuden kan omkostningerne til følere spares væk, hvis forslag 3 kombineres med en kvalitetsgaranti (idet de nødvendige følere indgår i investeringsomkostningerne for kvalitetsgarantien).

Besparelsespotentialer for den ældre del af skolen er beregnet ud fra, at 25 % af udsugningsventilatorerne ikke kører til daglig pga. støjgener. Forudsætter man, at disse 25 % af anlægget også er i drift, ændres de samlede driftsomkostninger under nuværende forhold fra 227.507 kr. pr år til 251.927 kr. pr år – og besparelsespotentialer forøges tilsvarende.

## Den nyere del af skolen (nuværende forhold: CAV uden varmegenvinding)

	Nuværende forhold	1. "Up to date" (optimering af nuværende forhold)	2. CAV m vgv (Yderligere forbedring)	3. VAV m vgv (Maksimal forbedring)
<b>Forbedring ventilation</b>				
<u>Driftsomkostninger ventilation:</u>				
Elforbrug ventilation (pr. år)	kr 3.952	kr 4.559	kr 9.575	kr 6.469
Drift og vedligehold ventilation (pr. år)	kr 28.000	kr 10.000	kr 10.000	kr 10.000
Varmeforbrug (pr. år)	kr 20.073	kr 21.146	kr 7.049	kr 4.000
Sum (pr. år)	kr 52.025	kr 35.705	kr 26.624	kr 20.469
Årlig besparelse	-	<b>kr 16.320</b>	<b>kr 25.401</b>	<b>kr 31.556</b>
<u>Investeringsomkostninger ventilation:</u>				
Investering ventilation	-	<b>kr 200.000</b>	<b>kr 400.000</b>	<b>kr 550.000</b>
Simpel TBT (år)		<b>12,25</b>	<b>15,75</b>	<b>17,43</b>
<b>Forbedring ventilation + kvalitetsgaranti</b>				
Driftsomkostninger ventilation (pr. år)		kr 35.705	kr 26.624	kr 20.469
D&V monitoreringsudstyr (pr. år)	-	kr 33.000	kr 33.000	kr 33.000
Sum (pr. år)	-	kr 68.705	kr 59.624	kr 53.469
Årlig besparelse	-	<b>-kr 16.680</b>	<b>-kr 23.919</b>	<b>-kr 26.845</b>
Investeringsomkostninger ventilation		kr 200.000	kr 400.000	kr 550.000
Investeringsomkostninger monitorering	-	kr 124.652	kr 124.652	kr 124.652
Sum		kr 324.652	kr 524.652	kr 674.652
Investering fordelt over 15 år (pr. år)	-	<b>kr 21.643</b>	<b>kr 34.977</b>	<b>kr 44.977</b>
<u>Gevinst ved kvalitetsgaranti:</u>				
Årlig værdi af læring på Nyrupskolen*	-	kr 26.700.000	kr 26.700.000	kr 26.700.000
Årlig værdi af 5 % forbedret læring	-	<b>kr 1.335.000</b>	<b>kr 1.335.000</b>	<b>kr 1.335.000</b>
Årlig gevinst med kvalitetsgaranti	-	<b>kr 1.296.677</b>	<b>kr 1.276.104</b>	<b>kr 1.263.178</b>

**Tabel 10 – Beregning af økonomisk gevinst ved forbedring af belysningen på Nyrupskolen.** \* Den årlige værdi af læringen på Nyrupskolen ligestilles med skolens samlede årlige omkostninger, eftersom det er dette beløb, der årligt investeres i læringen.

### Besparesespotentialiet – den ældre del af skolen

Som det fremgår af tabellerne og figurerne ovenfor, vil de foreslåede forbedringer af ventilationen på den ældre del af Nyrupskolen medføre et øget elforbrug, idet der forudsættes idriftsættelse af dele af ventilationsanlægget, som i dag er slukket en del af tiden. Omvendt vil forbedringerne i alle tre forslag (særligt forslag 2 og 3) føre til væsentlige besparelser på varmeregningen, og alle tre forslag vil desuden give besparelser på drift og vedligehold af ventilationsanlægget.

### Besparesespotentialiet – den nyere del af skolen

Som det fremgår af øverste del af øverste del af tabellen for Nyrupskolens nyere del, er en omfattende renovering af ventilationsanlæggene i den nyere del af Nyrupskolen ikke nær så rentabel som det er tilfældet på den ældre del af skolen. Dette skyldes primært, at det nuværende varmeforbrug der er relateret til ventilationen, er forholdsvis lille, idet ventilationsanlægget ofte er slukket i disse lokaler. Dette medfører på indeklimasiden at luftmængden ikke er tilstrækkelig i forhold til belastningen. Hvis ventilationsanlægget var i drift og ydede den korrekte luftmængde i dag, ville situationen derfor se anderledes ud.

I forslag 1 forudsættes det, at ventilationsanlægget er i drift i driftstiden (hvilket vil sige oftere, end det er tilfældet i dag), og luftmængden er sat op til at kunne klare belastningen. Dette fører til et varmeforbrug, der er en smule højere end det nuværende – selv om der i forslag 1 indregnes varmegenvinding med væskeskibet batteri (virkningsgrad 40 %) på ventilationen.

### Potentialet for forbedret læring

Vi formoder, at forbedringsforslag 2 og 3 på både den ældre og den nyere del af skolen vil føre til markante forbedringer af indeklimaet, mens forslag 1 også vil medføre en vis forbedring af indeklimaet – og hvis ESCO'en leverer en kvalitetsgaranti på ventilationen, kan disse forbedringer indregnes i den økonomiske gevinst ved forbedringerne, efter samme princip som for belysningen – som beskrevet i afsnit 5.5.

I indregningen af den forbedrede læring i den samlede økonomi har vi (ligesom for belysningen) valgt at være forsigtige, og vi har derfor kun regnet med 5 % forbedret læring. De 5 % forbedret læring har vi anvendt i alle tre forbedringsforslag – det kan dog diskuteres, om læringsgevinsten reelt vil være lige så stor med forslag 1, som med forslag 2 og 3.

Selv med en beskedne læringsgevinst på 5 % falder beregningen ud til fordel for renovering af ventilationen – også for den nyere del af skolen, hvor der ellers ikke er så meget at hente på energibesparelser.

### Forudsætninger

Forudsætningerne for vores vurdering af omkostningerne til den nuværende ventilation samt omkostningerne til ventilation i henholdsvis forslag 1, 2 og 3 er beskrevet i de følgende afsnit. Monitoreringskonceptet og -omkostningerne er uddybet i kapitel 7.

### Ventilationens kapacitet med og uden de foreslåede forbedringer

Beregningerne er foretaget ud fra følgende kapaciteter (luftmængder):

	Nuværende forhold	"Up to date" (optimering af nuværende forhold)	CAV m. vgv (Yderligere forbedring)	VAV m. vgv (Maksimal forbedring)
Skolens ældre del	22.889 m <sup>3</sup> /h	15.000 m <sup>3</sup> /h	2 · 7.500 m <sup>3</sup> /h	2 · 7.500 m <sup>3</sup> /h
Skolens nyere del	4.187 m <sup>3</sup> /h	7.000 m <sup>3</sup> /h	7.000 m <sup>3</sup> /h	7.000 m <sup>3</sup> /h

Da udsugningsventilatorerne i den ældre del af skolen ikke kanalæssigt er forbundet til udsugningsarmaturerne i lokalene, er der en relativt stor lækageandel, som ikke kommer lokalene til gode. Af de tidligere beskrevne målinger af delluftmængder fremgår det, at lækageandelen er helt op til 91 % (i NV-bygningen af den ældre del af skolen). Det vil sige, at selvom den nuværende luftmængde er højere end den luftmængde der indgår i de ovenfor beskrevne forbedringsforslag, kommer den ikke lokalet til gode, og luftskiftet i lokalet er således under de anbefalede rater, hvilket også fremgår af indeklimamålingerne, som angiver en for høj CO<sub>2</sub>-koncentration i klasselokalerne.

Lækageandelen forværres af manglende erstatningsluftventiler i lokalernes klimaskærm. De manglende erstatningsluftventiler giver et relativt stort tryktab i lokalene, og medfører at erstatningsluften suges ind gennem utætheder i klimaskærmen og fra gangarealet (igennem utætheder mellem gang og nedhængt loft), i stedet for fra lokalene. Lækageandelen medfører således et lavere luftskifte i lokalene, og – som det fremgår af målingerne – et ringere indeklima.

Selvom lækageandelen (en del af den udsugede luft) ikke kommer lokalerne til gode, bliver den ”trukket igennem” bygningen, og den medfører derfor et varmetab, som indgår i vores beregninger af det energiforbrug der er relateret til ventilationen.

Dertil kommer en uhensigtsmæssig placering af erstatningsluft-åbninger. Eksempelvis kommer der i mange lokaler erstatningsluft ind under døren, men denne suges ud igen næsten lige over døren – hvilket giver en meget ringe opblanding af luften i lokalet og dermed en ventilationsmæssig kortslutning. I stedet for at erstatningsluften kommer rundt i børnenes opholdszone, ryger den således mere eller mindre direkte op i udsuget, med opkoncentrering af CO<sub>2</sub>-niveauet i klasselokalet til følge.

### **De nuværende omkostninger relateret til ventilation**

Beregningerne af den økonomiske besparelse ved hvert forbedringsforslag er foretaget med afsæt i logning af nedenstående værdier over en periode på 3 uger, og opskalering til et årligt forbrug.

Luftmængden:	Måling af alle hoved- og delluftmængder
Brugstid for ventilation:	Beregnet ud fra logning på samtlige eksisterende anlæg over en periode på 2 uger
Skoledage pr. år:	203 dage pr. år
El-effektforbrug:	Beregnet ud fra logning på samtlige eksisterende anlæg over en periode på 2 uger
Effektforbrug til opvarmning af erstatningsluft:	Beregnet ud fra måling af alle hoved- og delluftmængder, DRY (Danish ref. year) og en indetemperatur på 20° C

De nuværende årlige omkostninger til drift og vedligeholdelse af ventilationsanlæggene omfatter:

- Elektriker-regninger (inkl. materialer) ca. 10.000 kr.
- Pedeltimer (ca. 10 timer pr. md., á 150 kr.) ca. 18.000 kr.

### **Omkostninger relateret til ventilation efter forbedring**

De årlige omkostninger til drift og vedligeholdelse af ventilationsanlæggene efter gennemførelse af de foreslåede forbedringer omfatter:

- Service ca. 5.000 kr.
- Materialer (filtre m.v.): ca. 2.500 kr. (forslag 1, skolens ældre del) / ca. 5.000 kr.

Beregningerne af energiforbruget efter de foreslåede forbedringer af ventilationsanlæggene er foretaget ud fra Nyrupskolens skemaplan for 2008 samt diverse målinger på skolen, herunder:

Luftskifte – børn	18 m <sup>3</sup> /h pr barn samt 1,44 m <sup>3</sup> /h pr m <sup>2</sup> gulvareal
Luftskifte – underviser	36 m <sup>3</sup> /h pr voksen
Luftskifte – kontor	36 m <sup>3</sup> /h pr voksen
Luftskifte - WC	36 m <sup>3</sup> /h pr wc (dvs. toiletrum med 7 wc' = 252 m <sup>3</sup> /h)
Luftskifte - depoter	36 m <sup>3</sup> /h pr depot
Luftskifte – lærerværelse og datarum	18 m <sup>3</sup> /h pr person

Skoledage pr. år	203 dag pr. år
Varmegenvindingsprocent	80 %
SFP for ny udsugning	1000 W/ m <sup>3</sup> /s
SFP for nyt CAV-anlæg	2100 W/ m <sup>3</sup> /s
SFP for nyt VAV-anlæg	2500 W/ m <sup>3</sup> /s
Personbelastning – CAV- og udsugningsanlæg	Klasse- og faglokaler er udlagt til en personbelastning på 30 børn og 2 voksne. I lærerværelse, kontorer m.v. der ikke er skemalagt, er personbelastningen beregnet ud fra informationer fra skolen vedr. personbelastningen og tidsrummet herfor.
Personbelastning – VAV	Personbelastningen for klasse- og faglokaler er beregnet lektion for lektion ud fra skolens Skemaplan 2008. I lærerværelse, kontorer m.v. der ikke er skemalagt, er personbelastningen beregnet time for time ud fra informationer fra skolen vedr. personbelastningen.  SFO 1 er udlagt til 198 elever med belastning iht. endt skoledag/ skoleskema, samt en vurderet indebelastning på 80 % (gennemsnitligt 20% af eleverne er udenfor i brugstiden). SFO 2 er udlagt til mellem 40 og 50 elever, alt efter dag og tidspunkt.  Basisluftmængde for VAV er udlagt til 20 % af max, når der ingen personbelastning er.
Fjernvarme pris inkl. bidrag	0,696 kr./kWh
El-pris inkl. bidrag	1,34 kr./kWh
Varmeafgivelse pr. barn	80W
Varmeafgivelse pr. voksen	100W

Personbelastningen, luftskiftet og el- og varmekonsumet er beregnet over året ud fra skolens Skemaplan 2008. Dvs. at beregningen er foretaget pr lektion/frikvarter ud fra den interne personbelastning (og dermed varmebelastning), udekonditionerne og varmetabet fra rummene.

I beregningen er aftenskolens brug af skolens lokaler indregnet.  
Skolens hal-bygning er ikke medtaget i beregningen.

I beregningerne er hvert lokales interne personbelastning, fratrukket varmetabet fra lokalet gennem klimaskærmen, medtaget som en reduktion af varmegenvindingsprocenten, og dermed som en reduktion af potentialet.

Af beregningerne fremgår det, at der over året er behov for varmegenvinding i skolens brugstid – dog varierende med den interne belastning. Ved meget høj personbelastning er der kun behov for 45 % VGV. Ved lav personbelastning er der behov for alle de 80 % som aggregatet i potentialeberegningerne er udlagt til.

I beregningen for CAV og ny udsugning er der regnet med en brugstid fra kl. 8.15 til 17.00 (enkelte lokaler er ventilerede fra kl. 7.00) og konstant luftskifte på hele skolen (dvs. ingen regulering ift. personbelastningen). I

beregningen for VAV er der regnet med samme brugstid, men med variabel luftmængde iht. personbelastningen, beregnet ud fra Skemaplan 2008 og oplysninger fra skolens personale.

Der er ikke indregnet eventuelt varmetab i forbindelse med udluftning i frikvarterer m.v. Dette ville hæve potentialet yderligere.

Varmegenvindingen vil i forslag 1 for den nyere del af skolen foregå med et væskekoblet batteri med en temperaturvirkningsgrad på 40 %.

## **5.9 Konklusioner**

Nyrupskolens nuværende energiforbrug ligger over landsgennemsnittet for de danske folkeskolars energiforbrug – især varmekonsumet er højt. Samtidig oplever man på skolen en del problemer med indeklimaet – dels er CO<sub>2</sub>-koncentrationen i klasselokalerne ofte for høj, dels er temperaturerne ind imellem for høje (og må formodes at være endnu højere i årets varmeste måneder). Desuden spildes der unødigt meget el og varme med de nuværende ventilationsanlæg. Skolens nuværende belysning er heller ikke optimal.

Ved at installere ny og energieffektiv belysning samt bevægelsesmeldere og dagslysstyring på Nyrupskolen, kan belysningen forbedres, samtidig med at elforbruget til belysning reduceres. Der er dog tale om en stor investering (ca. 1,7 mio. kr.), så tilbagebetalingstiden for renoveringen bliver lang (ca. 36 år). Hvis man derimod indregner den læringsmæssige gevinst (5 %) ved den forbedrede belysning, giver forbedringerne en årlig gevinst på ca. 1,22 mio. kr., efter at alle omkostninger er fratrukket.

Vi har i dette kapitel beskrevet tre forslag til forbedring af skolens ventilationsanlæg. Alle tre forslag forbedrer indeklimaet og giver en besparelse på el- og varmeregningen – men gevinsten er ikke lige stor for de tre forslag, og det samme gælder investeringerne. Forslag 1 giver en beskeden forbedring af indeklimaet og en mindre reduktion i energiregningen – med den mindste investering. Både forslag 2 og 3 giver maksimal indeklimategevinst og væsentlige energibesparelser på særligt den ældre del af skolen. Forslag 3 giver den største energibesparelse, og er dermed den optimale forbedringsmulighed – men indebærer også den største investering.

Tilbagebetalingstiden er kortest for forslag 1 (ca. 4 år for den ældre del af skolen, ca. 12 år for den nyere del), og længst for forslag 3 (ca. 8 år for den ældre del af skolen, ca. 17 år for den nyere del).

Indregnes den læringsmæssige gevinst ved et forbedret indeklima (der er her regnet med 5 % forbedret læring), giver alle tre forbedringsforslag til gengæld en økonomisk gevinst på mellem 1,2 og 1,4 mio. kr. årligt. Det kan dog diskuteres, om den reelle læringsgevinst er lige så stor for forslag 1, som for forslag 2 og 3.

Det er vigtigt at påpege, at der er stor forskel på ventilationsanlæggene på den nyere og den ældre del af skolen. Det kan derfor være en fordel at træffe beslutning om en eventuel renovering af ventilationsanlæggene på de to dele uafhængigt af hinanden. Eksempelvis kunne man vælge at gennemføre forslag 3 på den ældre del af skolen, men forslag 1 på den nyere del.

Hvis man skal overføre erfaringerne fra Nyrupskolen til andre danske folkeskoler, er det også en god idé at ansøge den ældre del og den nyere del af skolen som repræsentative for to forskellige typer af skolebygninger – som typisk er knyttet til hver sin opførelsesperiode.

## 6 Hvordan skal energitjenesten monitoreres?

I dette kapitel beskrives monitoreringskoncepter for energitjenester baseret på henholdsvis ventilation og belysning. Målet har været at udvikle metoder til enkel, billig og tilstrækkeligt pålidelig monitorering af henholdsvis indeklimate og belysning, sådan at en ESCO på en omkostningseffektiv måde kan dokumentere over for en kunde, at den overholder de aftalte kvalitetskrav til den leverede ydelse.

Monitoreringskoncepterne er udviklet i Teknologisk Instituts laboratorier, via simulering af forskellige variationer inden for indeklimate og belysning.

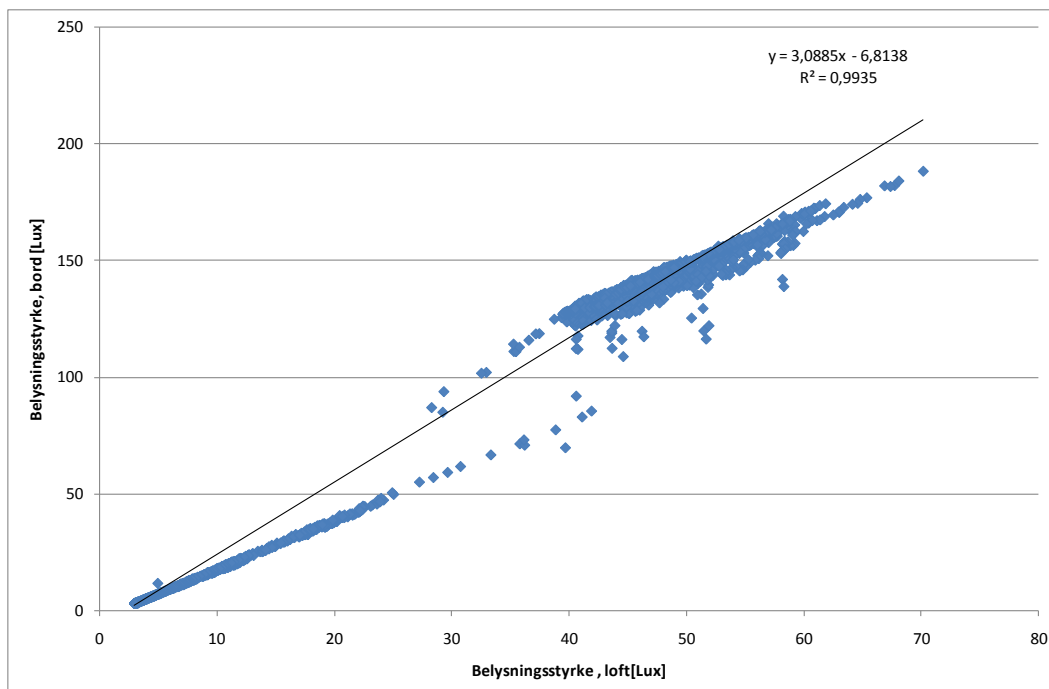
### 6.1 Monitoreringskoncept for belysning

En ESCO skal kunne levere en kvalitetsgaranti (iht. belysningsstyrker/DS700) for ydelser angående lys, og har dermed behov for at have et redskab eller metode, som understøtter denne garanti.

I dette projekt er der udviklet en indirekte metode. Metoden går ud på, at der findes én entydig sammenhæng mellem belysningsstyrken på en bordplade og belysningsstyrken i loftet over dette bord. Ved at anvende denne metode kan en ESCO garantere et givent belysningsniveau i arbejdshøjde (bordpladen) via en lysføler placeret i loftet.

For at finde sammenhængen blev der benyttet to lysfølere, som hver sendte 0-10 V signaler til en datalogger. Disse 0-10 V signaler kunne omsættes til belysningsstyrker. Signalerne blev logget hvert minut over en periode på 4 dage.

I figuren nedenfor ses denne entydige sammenhæng. Måles der f.eks. 67 Lux i loftet, er det udtryk for at der er 200 lux på bordpladen, som DS700 foreskriver.



Figur 2 – Sammenhæng mellem belysningsstyrke på loft og bord

Denne målemetode vil således kræve, at ESCOen installerer en permanent lysføler samt datalogger over den dårligst belyste bordplade i det lokale, kvalitetsgarantien skal dække. Og at der i en kort testperiode logges data både fra denne lysføler og fra en midlertidig lysføler placeret på bordpladen, sådan at den rette omregningsfak-



tor for lokalet kan fastsættes. Der kræves ingen særlig software til at beregne omregningsfaktoren, idet der blot er tale om at sammenholde to datasæt. Det burde være muligt at udføre arbejdet for en "ikke-ekspert"-timeløn.

Ved hjælp af omregningsfaktoren kan ESCOen omregne den målte belysningsstyrke i loftet til en belysningsstyrke på bordpladen. Ved at koble lysføleren til en datalogger med GSM modem, vil det til enhver tid være muligt at konstatere om belysningsstyrken på bordpladen opfylder kravet i DS 700. Derved kan konceptet bruges til at dokumentere, at ESCOen leverer den garanterede belysningskvalitet.

Det anslås, at arbejdet med at placere den ekstra lysføler på bordpladen samt beregne omregningsfaktoren, andrager ca. 1 times arbejdstid for ét lokale. Arbejdstiden må forventes at være mindre pr. lokale, jo flere klasselokaler der medtages i projektet – specielt hvis nogle af lokalene er ens, sådan at det ikke er nødvendigt at gennemføre måling og beregning af omregningsfaktor for hvert enkelt klasselokale.

Den konstante sammenhæng mellem lysfølerens registrering og belysningsniveauet på bordpladen forudsætter at lokalet (fx vægfarve og solafskærmning) ikke ændres væsentligt i forhold til det udgangspunkt, omregningsfaktoren er beregnet ud fra.

For alle de lokaler hvor vi foreslår reovering af belysningen, vil monitoreringssystemet (35 lysfølere og 5 dataloggere) andrage ca. 30.000 kr. Hertil kommer installation af lysfølerne og dataloggerne, som sættes til ca. 140.000 kr., idet vi tager udgangspunkt i det tilbud på elinstallationer, som vi beskriver i afsnit 6.2 om monitoreringskoncept for ventilationen (4000 kr. pr. lokale). Hvis der etableres monitorering af både ventilation og belysning på én gang, vil det efter al sandsynlighed kunne gøres væsentligt billigere, idet alle ledningerne så kan trækkes i én arbejds gang (og placeres i samme kabelkasser m.v.).

Arbejdet med at fastsætte omregningsfaktoren for hvert af de 35 lokaler anslås til ca. 10 timer. Hvis timeprisen sættes til 500 kr./t, giver det en omkostning på 5.000 kr.

Det skønnes, at drift og vedligeholdelse af monitoreringssystemet vil kræve ca. 2 arbejdstimer pr. år pr. lokale. Hvis timeprisen igen sættes til 500 kr./t, giver det en omkostning på 35.000 kr./år for Nyrupskolens 35 lokaler. Det skønnes desuden, at monitoreringsudstyret (følere og dataloggere) vil skulle skiftes i gennemsnit hvert 5. år – hvilket giver en omkostning på 30.000 kr. pr. 5 år, dvs. 6000 kr./år.

Omkostningerne for monitorering af belysningen kommer dermed til at se således ud:

	1 lokale	35 lokaler
<b>Investering i etablering:</b>		
Pris for udstyret	kr 857	kr 30.000
Pris for installation	kr 4.000	kr 140.000
Arbejdstid omregningsfaktor	kr 143	kr 5.000
<b>D&amp;V:</b>		
Arbejdstid 2 t/år/lokale	kr 1.000	kr 35.000
Udstyr	kr 171	kr 6.000

Udover at monitoreringssystemet kan bruges i forbindelse med kvalitetsgarantien, kan ESCOen også bruge det som et redskab for tilstandsbaseret vedligeholdelse af belysningsanlægget, idet ESCOen hurtigt vil kunne opdage faldende kvalitet i belysningen. Kobles disse data sammen med data for det faktiske elforbrug til belysning i et lokale, kan ESCOen desuden detektere faldende energieffektivitet i anlægget (og dermed behov for udskiftning af armaturer etc.). Tilstandsbaseret vedligeholdelse kan sandsynligvis give besparelser på drifts- og vedligeholdelsesbudgettet, idet aktiviteterne kan koordineres bedre med afsæt i data om, hvor der er behov for vedligeholdelse.

## **6.2 Monitoreringskoncept for ventilation**

Hvis en ESCO skal kunne levere en kvalitetsgaranti for ydelser angående ventilation, har den behov for at have et redskab eller metode, som understøtter denne garanti. Der sigtes i dette projekt mod, at ESCOen skal kunne garantere et indeklima der overholder kravene i gældende forskrifter (de væsentligste er nævnt i bilag 1 "Normer for ventilation og indeklima"). Disse kvalitetskriterier kan suppleres af eventuelle yderligere ønsker/krav fra kunden – hvis blot det gøres klart i ESCO-kontrakten. Det må dog anbefales, at der tages udgangspunkt i DS 1752 – Ventilation i bygninger – projekteringskriterier for indeklima.

ESCOen skal kunne levere kvalitetsgarantien med lave omkostninger, så målet har været at finde en low cost-metode til verificering af de mest centrale indeklima-parametre, som kan relateres til ventilationen.

I dette projekt er der derfor udviklet et monitoreringskoncept, hvormed ESCOen kan registrere det faktiske indeklima via simple målinger med en acceptabel nøjagtighed, samtidig med at etablerings-, vedligeholdelses- og driftsomkostninger er så lave som muligt.

Som beskrevet i afsnit 4.3 og 4.4, er CO<sub>2</sub>-koncentration og temperatur de to mest afgørende parametre hvad angår koncentrations- og indlæringsevne – og vi fokuserer derfor på måling og verificering af disse to indeklima-parametre. Ud over at disse parametre er meget centrale, er de også enklere at måle end mange andre indeklima-parametre. Dog er det, som nævnt i afsnit 4.4, vigtigt at være opmærksom på, at målinger af CO<sub>2</sub>-koncentration og temperatur giver et forsimplet billede af indeklimaet i et lokale, og at indeklimaet godt kan opfattes anderledes end de målte værdier angiver, pga. fx træk og kulde-/varmestråling.

Ud fra en række laboratorieforsøg har vi i projektet fundet frem til en enkel metode til at måle henholdsvis rumtemperatur og CO<sub>2</sub>-koncentration i et lokales opholdszone. På baggrund af disse forsøg samt generel ventilationssteknisk erfaring har vi fastsat en acceptabel usikkerhedsmargin for de målere, der skal bruges til monitorering af rumtemperatur og CO<sub>2</sub>-koncentration. Derefter har vi fundet frem til en række måleinstrumenter samt supplerende udstyr, som lever op til vores krav, og som derfor kan bruges i forbindelse med en ESCO's monitorering af indeklimaet. Sidst har vi givet et bud på omkostningerne ved en sådan monitorering. I de følgende afsnit beskrives monitoreringskonceptet, og de forudsætninger der ligger til grund for det.

### **Laboratorieforsøgene**

Som nævnt er monitoreringsmetoden er udviklet i laboratoriet – nærmere bestemt i en prøvestand, der er bygget til indeklimaforsøg. I prøvestanden er det muligt at styre en række parametre som har indflydelse på indeklimaet, og det er således muligt at simulere et givent indeklima og diverse ventilationsprincipper.

I prøvestanden har vi eksperimenteret med forskellige følere til vurdering af indeklimaet samt med deres placering i lokalet. Vi har desuden brugt forsøgene som afsæt for en vurdering af, hvor stor målenøjagtighed der er nødvendig i forbindelse med en ESCO's monitorering af indeklimaet.

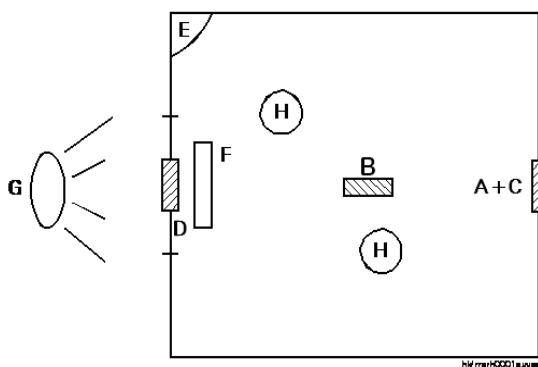
### **Prøvestanden**

Prøvestanden er opbygget så den kan simulere forholdene på Nyrupskolen hvad angår vinduesareal, intern belastning og mulige ventilationsprincipper m.v. Den er opbygget som en ligesidet kasse med indvendige dimensioner på 2,4 m x 2,4 m x 2,4 m.



I prøvestanden er der lavet en række gennemføringer til diverse indblæsnings- og udsugningsarmaturer samt et vindue (1 m x 1,2 m), således at det er muligt at kulde- og varmestrålebelaste kassen.

For at simulere personer i lokalet er der anvendt lukkede og sortmalede cylindere med en effektafgivelse på 100W/ 80W, således at varmeafgivelsen fra cylinderen svarer til en stillesiddende persons varmeafgivelse. CO<sub>2</sub>-belastning fra personerne simuleres ved CO<sub>2</sub>-dosering gennem cylindererne.



**Figur 3** - Planskitse (set oppefra) af prøvestand med armaturer, person-cylinder, radiator og CO<sub>2</sub>-kilder

Ovenfor ses planskitse af prøvestanden, hvor

- er en rist 2 m over gulv på væggen overfor væggen med vindue. Risten kan både bruges til indblæsning og udsugning
- er indblæsnings-loftarmaturet, som sidder midt i lokalet.
- er en rist 0,15 m over gulv på væggen overfor væggen med vindue, hvormed vi kan simulere den nuværende friskluftsforsyning på Nyrupskolen (fra gangen).

- er en rist bag radiatoren og under vinduet. Risten er placeret 0,45 m over gulv og simulerer friskluftindtag i facaden.
- er et fortrængningsarmatur, placeret i hjørnet til højre for vinduet.
- er radiatoren.
- er varme-/kuldestråling.
- er personbelastning i form af 2 cylindre.

Alle ovenstående armaturer er anvendt til belysning af monitorering af forskellige ventilationsprincipper, både hvad angår indblæsning og udsugning.

### **Forsøg i prøvestanden**

I prøvestanden har vi gennemført og monitoreret forsøg som simulerer:

- Nyrupskolen – udsugningsanlæg med:
  - Udsugning over dør
  - Tilførsel af friskluft under dør (som nuværende)
  - Tilførsel af friskluft i gennem friskluftventiler i klimaskærm (som det var oprindeligt)
- Balanceret ventilation
  - Udsugning over dør
  - Indblæsning i loft
- Fortrængningsventilation
  - Udsugning over dør
  - Udsugning i loft
  - Indblæsning i hjørne af lokalet med fortrængningsarmatur

Forsøgene er gennemført med henblik på at vurdere

- 1) hvor de to følere (CO<sub>2</sub>-koncentration og lufttemperatur) bedst placeres, og
- 2) om den målte lufttemperatur giver et tilfredsstillende billede det termiske indeklima (med den detaljeringsgrad, en ESCO ville have behov for med henblik på en kvalitetsgaranti på ventilationen).

I forsøgene målte vi således CO<sub>2</sub>-koncentration og lufttemperatur henholdsvis i midten af prøvestanden i 1,1 m højde (opholdszonen) og i udsugningskanalen. Det var således muligt at sammenligne målinger fra de to placeringer, og se om det gav forskellige resultater at måle i opholdszonen sammenlignet med i udsugningskanalen.

Ydermere monitorerede vi det termiske indeklima med laboratorieudstyr, og herved fastsatte vi bl.a. den operative temperatur og lufttemperaturen. Ved at sammenligne udfaldene for henholdsvis operativ temperatur og lufttemperatur kunne vi vurdere, om en måling af lufttemperaturen er tilstrækkelig. (Den operative temperatur giver et mere nøjagtigt billede af indeklimaet, men der er til gengæld tale om en dyrere og mere kompliceret måling).

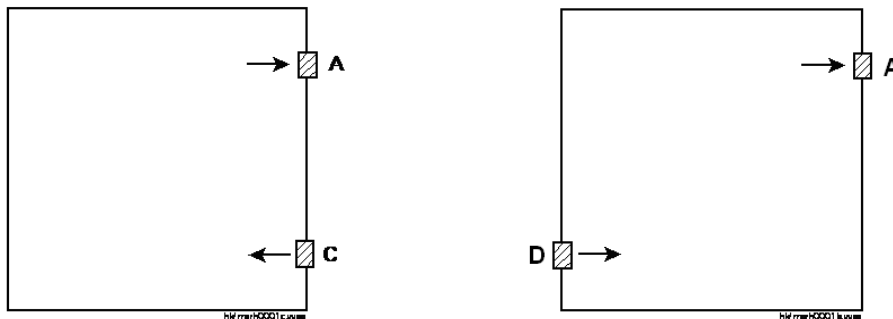
### Forsøgsserie: Nyrupskolen

Forsøget er en simulering af ventilationen i den ældre del af Nyrupskolen. I lokalerne er der i dag udsugningsventiler øverst på væggen ud mod gangen over døren. Udsugningsluften bliver erstattet af luft fra gangen som bliver suget ind via en spalte mellem dør og gulv. Oprindeligt blev luften suget ind via en spalte i vinduerne, men vinduerne er siden blevet erstattet af nye vinduer uden spalter.

De 3 første delforsøg i serien (resultaterne er opsummeret i skemaet nedenfor) simulerer en tænkt situation, hvor der er installeret friskluftventiler under vinduet, således at friskluften, i en vintersituation, varmes op af radiatorerne og stiger op i stedet for at blæse hen over gulvet.

De 2 sidste delforsøg i serien simulerer situationen, når luften hentes, via spalten mellem gulv og dør, fra gangen i den eksisterende del på Nyrupskolen.

Figurerne nedenfor viser de to forsøgsopsætninger, mens resultaterne af forsøgsserien er opsummeret i skemaet længere nede.



Figur 4 – Opstalt skitser af ventilationsprincipperne i prøvestanden til målerierne ”Nyrupskolen”

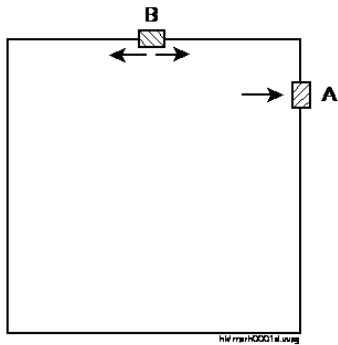
Nyrupskolen	A - Øvre dørrist	B - I C - Dørspalte	D - Rist radiator	E - F - Radiator	G - Sol	H - CO2
Friskluft ventil - Vinter	udsug		Friskluft 0-10C	ON		ON
Friskluft ventil - Sommer	udsug		Friskluft 20 - 22C		ON	ON
Friskluft ventil - Sommer afskærmet	udsug		Friskluft 20 - 22C		LOW	ON
Gang - Vinter	udsug	gangluft 20 - 22C		ON		ON
Gang - Sommer	udsug	gangluft 20 - 22C			ON	ON

■ = Udsugning   ■ = Indblæsning kold   ■ = Indblæsning varm

### Forsøgsserie: Balanceret ventilation

I dette forsøg er udsugningsristen bibeholdt, mens indblæsningen nu foregår via et loftarmatur. I forsøget undersøges Coandaeffekten<sup>20</sup> i forhold til opblandingen og indeklimaet. Coandaeffekten vil i dette tilfælde sige luftens klæbeeffekt til loftet. Når friskluften blæses ind via et loftarmatur, hvor luften kommer ud i siderne, vil luften ”klæbe” sig til loftet og langsomt falde ned efterhånden som luften bliver varmet op.

<sup>20</sup> Coandaeffekten er fundet af den rumænske fysiker Henry-Marie Coanda som observerede at en gas som kommer fra en ventil har en tendens til bevæge sig langs en krummet overflade.



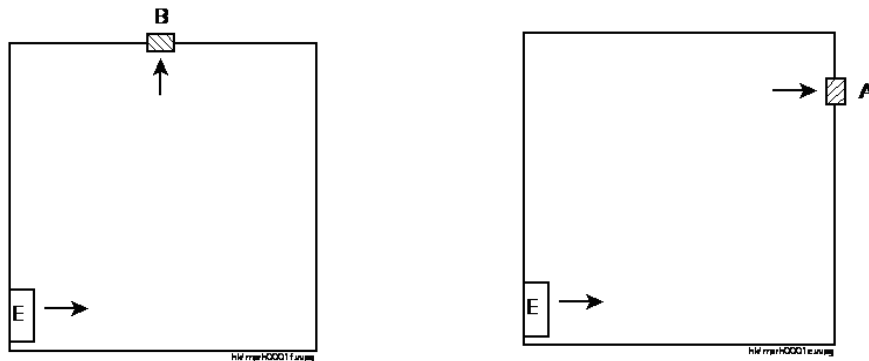
Figur 5 – Opstalt skitse af ventilationsprincipperne i prøvestanden til målerserien ”Balanceret ventilation”

Balanceret ventilation	A - Øvre dørrist	B - Loft	C - Dørsp	D - Rist rad	E - Fortræ	F - Radiator	G - Sol	H - CO2
Vinter	udsug	Friskluft 0-10C				ON		ON
Sommer	udsug	Friskluft 20 - 22C					ON	ON
Sommer afskærmet	udsug	Friskluft 20 - 22C					LOW	ON

■ = Udsugning   ■ = Indblæsning kold   ■ = Indblæsning varm

### Forsøgsserie: Fortrængningsventilation

I denne forsøgsserie benyttes et fortrængningsarmatur til indblæsning, og der suges ud fra to forskellige udsugningsarmaturer.



Figur 6 – Opstalt skitser af ventilationsprincipperne i prøvestanden til målerserien ”Fortrængningsventilation”

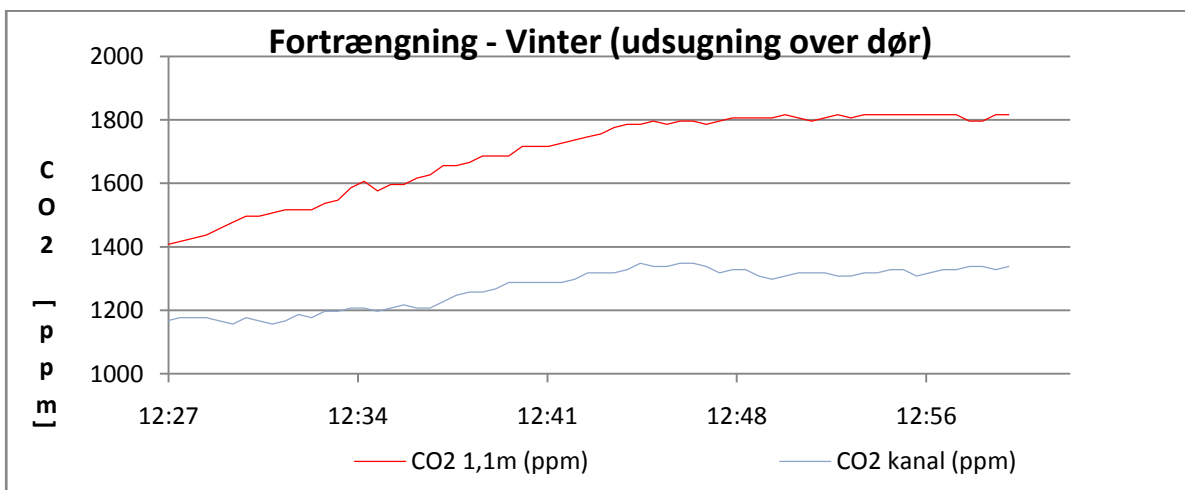
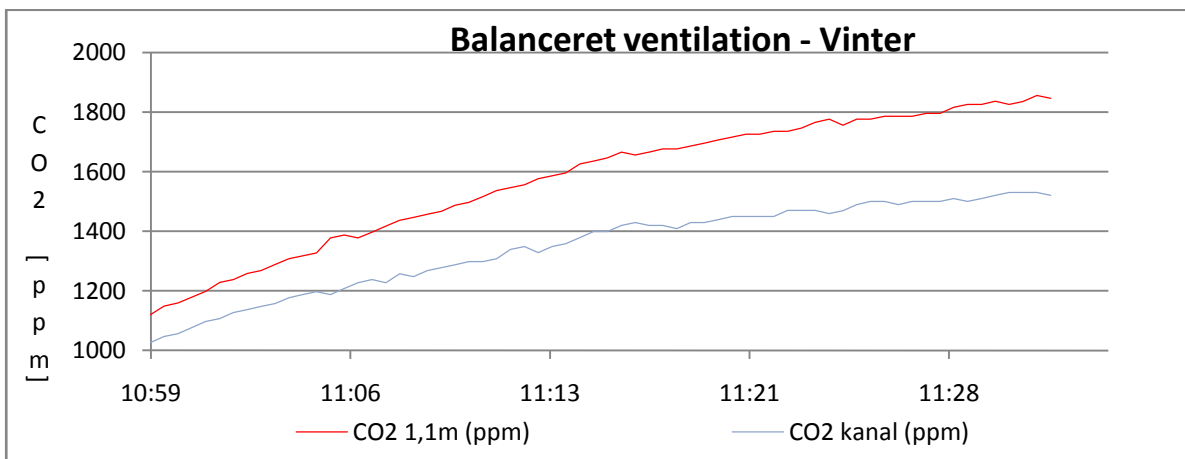
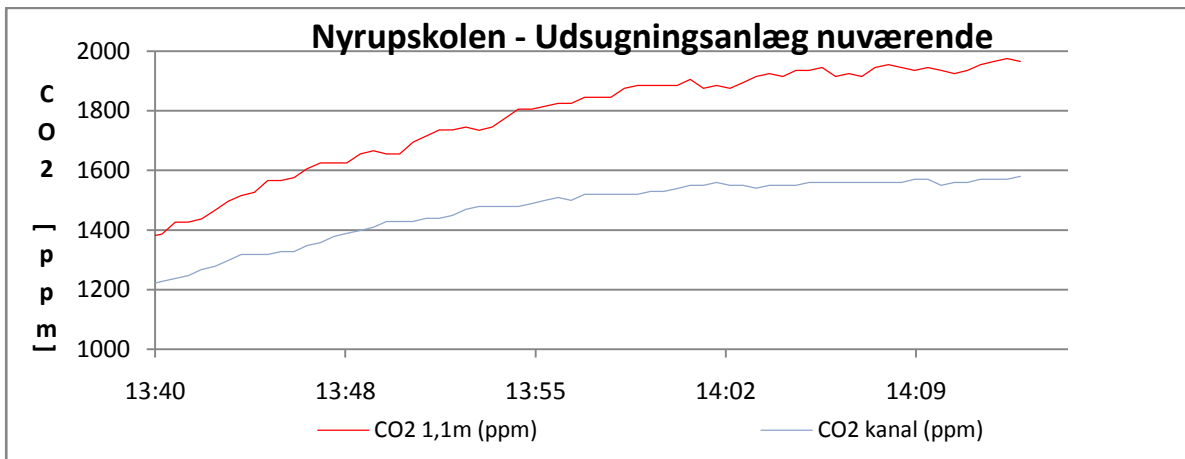
Indblæsning med fortrængning. Udsugning i væg								
	A - Øvre dørrist	B - Loft	C - Dørspalte	D - Rist radiator	E - Fortrængning	F - Radiator	G - Sol	H - CO2
Vinter	udsug				Friskluft 0-10C	ON		ON
Sommer	udsug				Friskluft 20 - 22C		ON	ON
Vinter		udsug			Friskluft 0-10C	ON		ON
Sommer		udsug			Friskluft 20 - 22C		ON	ON

■ = Udsugning   ■ = Indblæsning kold   ■ = Indblæsning varm

## Måleresultater – CO<sub>2</sub>-koncentration

Af kurverne nedenfor fremgår resultaterne for målt CO<sub>2</sub>-koncentration i opholdszonen kontra udsugningskanalen for udvalgte repræsentative forsøgsserier.

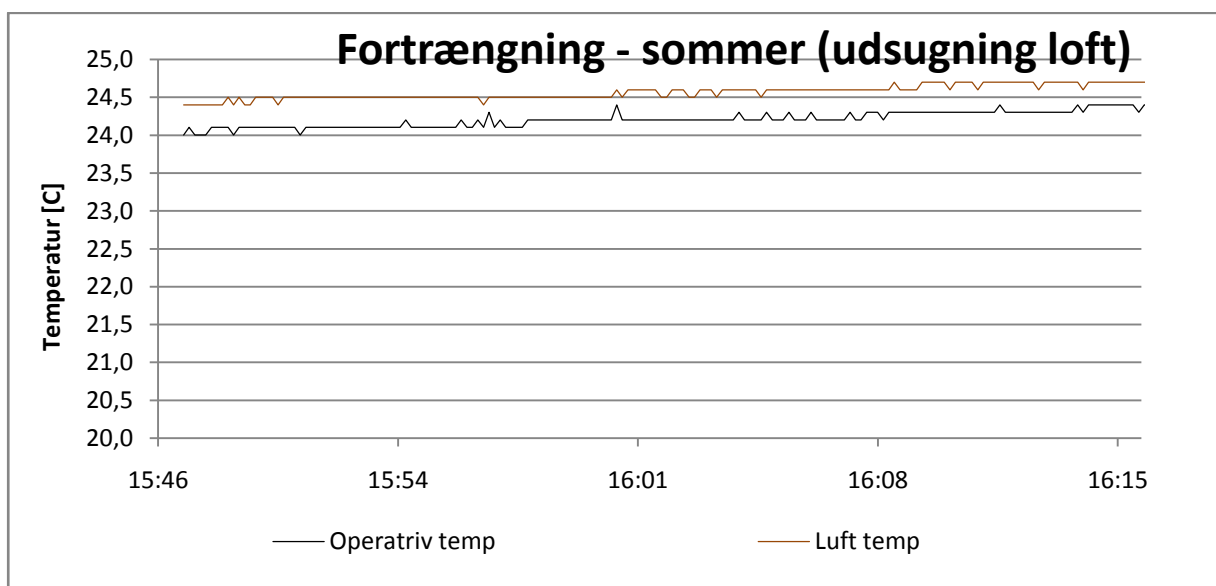
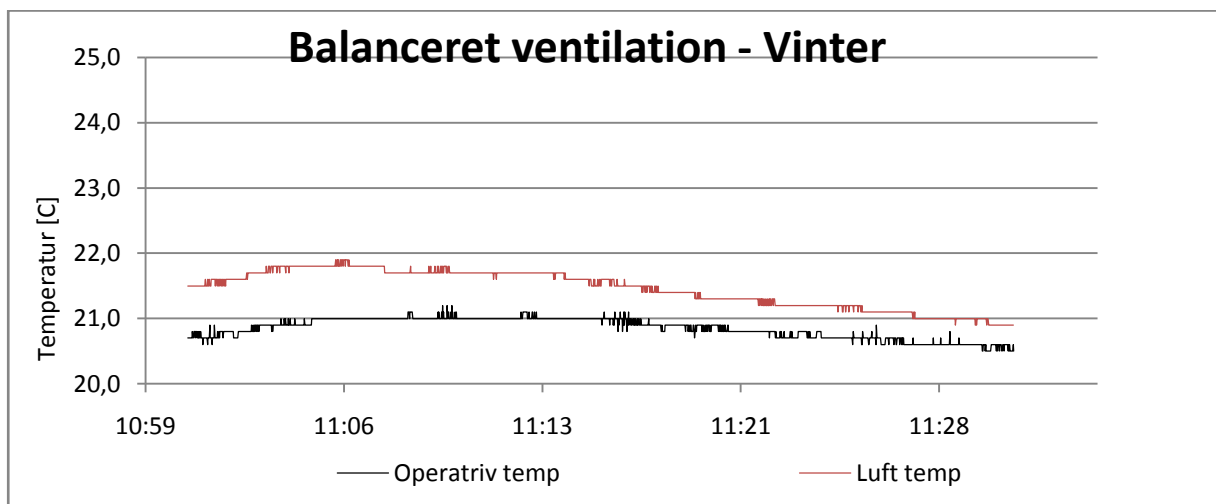
Kurverne viser tydeligt, at den målte CO<sub>2</sub>-koncentration ikke er den samme i udsugningskanalen som i opholdszonen. Det ses, at forskellen er mellem 250 ppm og 500 ppm, og i alle tilfælde måles den højeste værdi i opholdszonen. Hvis målingerne skal være retvisende, bør CO<sub>2</sub>-koncentrationen således måles i opholdszonen.



## Måleresultater – temperatur

Af kurverne nedenfor fremgår resultaterne for målt operativ temperatur kontra målt lufttemperatur for udvalgte repræsentative forsøgsserier.

Lufttemperaturen er i alle forsøg højere end den operative temperatur. Bortset fra ét forsøg er forskellen dog ikke mere end 1 °C. Det fremgår af de to nedenstående kurver for henholdsvis operativ temperatur og lufttemperatur, som er repræsentative for de resterende målinger, at der i gennemsnit er ca. 0,5 °C forskel mellem de to målinger. Vi vurderer således, at en måling af lufttemperaturen er tilstrækkelig med henblik på en ESCO's kvalitetsgaranti på ventilationen.



## Følnes nøjagtighed

Vi har med afsæt i forsøgene og generel ventilationsteknisk erfaring vurderet, hvilken måleusikkerhed der er acceptabel for en ESCO, når den skal monitorere indeklimaet. De acceptable usikkerheder er fastsat ud fra den tankegang, at udstyret skal måle tilstrækkelig nøjagtigt til at ESCOen kan give kunden en kvalitetsgaranti på ventilationen, uden at monitoreringen bliver alt for dyr, og uden at ESCOen risikerer at skulle bøde for at aftalerne ikke er overholdt grundet store afvigelser i måleudstyret.

Usikkerhederne nedenfor angiver den acceptable måleusikkerhed for hver føler + tilhørende datalogger (altså den akkumulerede usikkerhed i måler + datalogger):



- Rumtemperatur:  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- CO<sub>2</sub>-koncentration:  $\pm 10\%$

### **Placering af følere**

Følerne foreslås placeret i en målesøjle i opholdszonen, i 1,1m højde. På den måde sikres en måling som afspejler det faktiske indeklima i opholdszonen.

Rent praktisk er det ikke optimalt at placere følere (måleinstrumenter) lige midt i et klasselokale, dels pga. prisen for installationen og dels pga. nysgerrige elever, som sandsynligvis piller ved følerne, og pga. at det muligvis kan virke generende i en undervisningssituation. Til trods for dette foretrækkes en sådan placering, da der er tale om forholdsvis enkle følere, der ikke fylder meget, og da de desuden tænkes monteret i en beskyttende målesøjle. Forhåbentlig vil der kun være få problemer, og dette formodentlig kun i en tilvænningsperiode.

Hvis der alligevel ikke er mulighed for en målesøjle i opholdszonen, kan følerne monteres på væggen tæt på udsugningsarmaturerne eller umiddelbart efter i udsugningskanalen. Ved valg af sådan en placering af måleinstrumenter skal man være opmærksom på en evt. dårlig opblanding af luften, hvilket kan resultere i målinger som ikke afspejler de faktiske forhold i opholdszonen.

### **Udstyr til monitoreringen**

De måleinstrumenter der skal bruges i forbindelse med ESCOens kvalitetsgaranti, skal være forholdsvis billige, og de skal kunne måle CO<sub>2</sub>-koncentration og rumtemperatur i et lokale inden den ovenfor beskrevne usikkerhedsmargin.

Der skal desuden være mulighed for logning og fjernaflæsning af målingerne, sådan at ESCOen til enhver tid kan påvise at det aftalte indeklima er overholdt i et givent lokale i et givent tidsrum – og hurtigt kan opdage eventuelle uregelmæssigheder i de målte værdier (som kan være tegn på et vedligeholdelses- eller justeringsbehov).

Det er yderligere nødvendigt at fravælge de instrumenter der rent praktisk ikke er brugbare i et klasselokale pga. af deres fysiske udformning.

I bilag 5 beskriver vi en række følere, som i kraft af deres egenskaber opfylder de ovenfor beskrevne krav mhp. monitorering af indeklimaet i et klasselokale. Ligeledes beskriver vi, hvordan fjernaflæsning af disse følere kan foregå.

### **Design og installation af målesøjle**

Hvis en målesøjle (med indbygget CO<sub>2</sub>- og temperaturføler) skal placeres i opholdszonen, dvs. cirka midt i et klasselokale, blandt eleverne, skal den enten være monteret i gulvet eller i loftet. Designforslaget er det samme, uanset om målesøjlen monteres i loft eller gulv. Det vurderes dog, at montering i loftet vil være at foretrække, af hensyn til kabelføringen, som vurderes at være både billigst og pæneste langs loftet.

## Designforslag

På monteringspladen er der fastgjort et hult rør, således at der kan føres kabler indeni. For enden af røret er følerne fastgjort, og uden om dem er der et cylinderformet kabinet med lufthuller, dvs. et net, således at rumluften bevæger sig frit omkring følerne, samtidig med at følerne er beskyttet mod stød, nysgerrige elever o.l.

Monteringsplade i loft eller gulv fastgøres med bolte eller skruer.

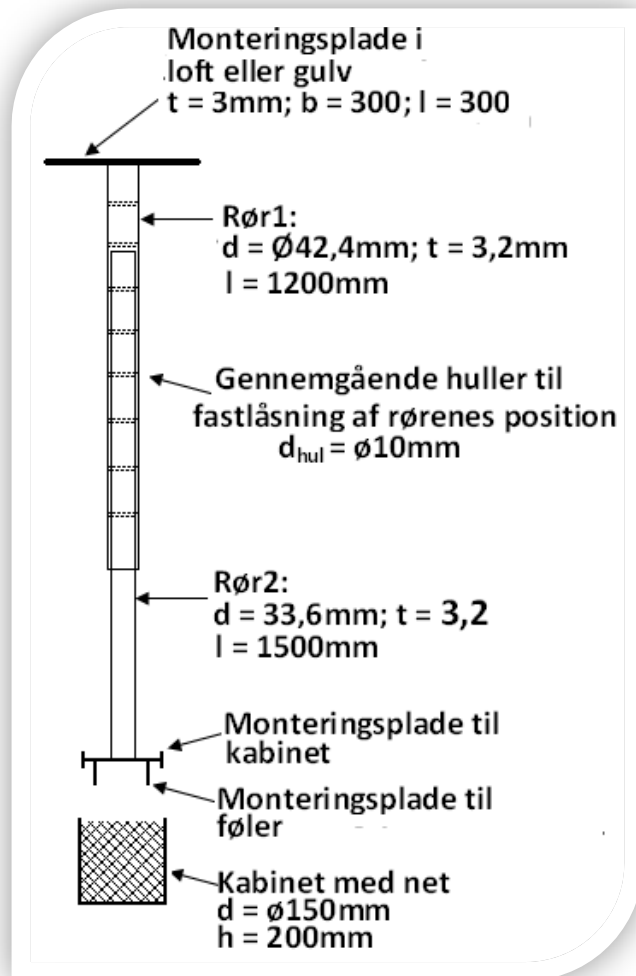
Rør1 og Rør2 er dimensioneret således at rør2 kan være inde i rør1 det er så muligt at finde en ønsket længde af rør1 + rør2. Rørens position låses ved at sætte en bolt eller split i et gennemgående hul som f.eks. kan sidde med 100mm mellemrum i begge rør.

Kabinettet: Cylindrisk net fastgøres på monteringsplader, som er fastgjort på rør2, med skruer således at kabinettet kan fjernes hvis følerne skal tjekkes, udskiftes etc.

Følerne: Hver føler fastgøres på hver sin monteringsplade med bolte / skruer. Monteringspladerne er fastgjort rør2

Materialer: målesonden kan laves både metal, plast eller træ eller en kombination af disse. Der givet et overslag på prisen af smed og plastproducent.

Hvis det findes nødvendig at gøre målesøjlen mere robust overfor kræftpåvirkninger er en gennemgående søjle fra gulv til loft en mulighed. Datalogger og anden elektronik placeres i et teknikrum.



## Økonomi for monitoreringen:

### Instrumenter og apparater til måling og fjernaflæsning

Temperatur-føler: TSBA BA R-500 fra ABB	882 kr.
CO <sub>2</sub> -føler: CO <sub>2</sub> transmitter KCD fra Motron	2500 kr.
Datalogger: ADC-11/10 fra Picotech	1000 kr.
Computer, antaget pris (Priser iht. bilag 5)	4000 kr.

### Målesøjle

Der er givet overslag på fremstillingen af hhv. 1 og 10 stk. målesøjler, konstrueret af forskellige materialer:

- Af stål (RM Stålteknik) – pris ekskl. moms: 1 stk. = 1700 kr.; 10 stk = 1450 kr. / stk.
- Af plast (BS Plastic A/S) – pris ekskl. moms: 1 stk. = 2.995 kr.; 10 stk = 2750 kr. / stk.  
(Målesøjlen bliver udført med PVC rør Ø40x3,0 PN16 og Ø32x2,4 PN16)

### El-installationer

Prisen for de nødvendige el-installationer er meget variabel. Der er mange faktorer som har indflydelse på prisen, som ifølge El-Strøm kan svinge fra 5000 kr. helt op til 100.000 kr. bare for el-installationer i ét lokale.

El-Strøm har givet et pris-overslag på prisen for 10 lokaler ud fra følgende rammer:

- Der skal etableres nye gennemføringer i klasselokalet
- Eksisterende kabelkasser over gang kan bruges
- Det er muligt at sætte kabelbakker op både under (kan ses i klasselokalet) og oven på loftet.
- Afstanden fra gulv til loft er 3m
- Gennemsnitlig 2\*25 m kabel til udgangssignal til datalogger
- Gennemsnitlig 1\*25 m kabel til spændingsforsyning

Prisen ud fra disse rammer bliver 40.000 kr.

### Drift og vedligehold

Drift og vedligehold omfatter:

- Udgifter til elforbrug
- Vedligeholdelse af følerne i form af rengøring og slitage
- En kalibrering af begge følere vurderes at være nødvendig hvert 3 år.
- Der forudsættes, at data-overførsel til ESCOen foregår via skolens internetforbindelse, og ESCOen har således ingen omkostninger herved.

Drifts- og vedligeholdelsesomkostningen vurderes til ca. 3000 kr./år pr. klasselokale.

### Samlede omkostninger til monitoreringen

En oversigt over ESCOens omkostninger ved monitorering i 10 klasselokaler ses i skemaet nedenfor. Der knytter sig en vis usikkerhed til priserne ved installering og opsætning.

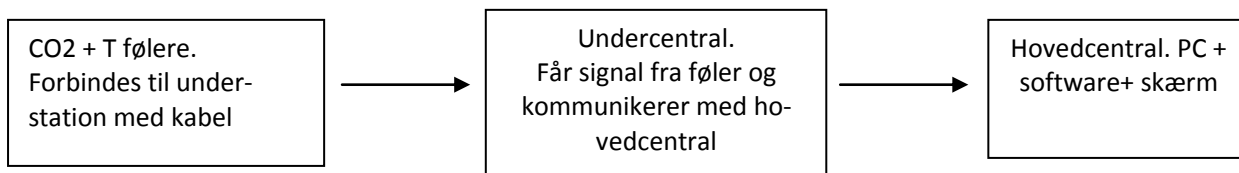
Prisoversigt for målinger og overvågning i 10 lokaler	Pris [dkr]
Målesøjler plast	27500
Målesøjler stål	14500
CO2-følere	25000
temperaturfølere	8820
Installering af elektriker	40000
2*Datalogger + software + PC (understation)	6000
PC + software (hovedstation)	4000
Opsætning af følere og datalogger + hovedcentral	15000
I alt (målesøjle plast)	126320
I alt (målesøjle smed)	113320
Vedligehold + drift	30000

Når man overvejer omkostningerne ved monitoreringen, er det værd at tage med i betragtning, at monitoreringsudstyret i reglen også vil kunne bruges i forbindelse med ESCOens afdækning af besparelspotentialerne – dvs. i de tidlige faser i ESCO-forløbet. Således kan det diskuteres, om hele omkostningen bør tilskrives monitorering, eller om dele af den kan gå ind under ESCOens potentialeafdækning.

Desuden kan monitoreringssystemet bruges som redskab i forbindelse med tilstandsbaseret vedligeholdelse, ligesom det var tilfældet for monitoreringen af belysningen (som beskrevet i afsnit 6.1).

## Samlet monitoreringssystem

I forbindelse med etableringen af et setup for monitorering, kan det overvejes, om det bedre kan betale sig at købe en "samlet pakke" – det er nemlig muligt at købe samlede systemer til overvågning af indeklimaet. Det foregår i store træk ved at følerne forbindes til en undercentral, som kommunikerer med en hovedcentral via et netværk f.eks. LON, KNX eller TCP / IP netværk. Undercentralen kan fx placeres i et teknikrum ved målestedet, mens hovedcentralen, i form af en pc, er placeret hos klienten, som skal bruge data fra monitoreringen.



Der er fra elteknik-firmaet Lindpro givet tilbud på overvågningssystemer fra to forskellige producenter:

- Wago
- Trend Controls

Lindpro har taget udgangspunkt i måling af CO<sub>2</sub>-koncentration og rumtemperatur. De har opstillet to muligheder for placering af følere:

- I udsugningskanal
- På væg

Lindpro foretrækker selv måling i udsugningskanal, fordi måling på væg kan kræve flere målere pga. lokalets størrelse, luftopblanding og opholdszoner. En måling i udsugningen vil dog, som tidligere beskrevet, muligvis ikke give et retvisende billede af indeklimaet. Netop dette forhold er der taget højde for i den målesøjle, som er beskrevet tidligere i dette kapitel. Derfor anbefaler vi i denne sammenhæng mulighed 2, men med placering af vægfølerne i målesøjlen, som placeres i opholdszonen.

Begge systemer anvender et åbent system med åbne protokoller (dvs. kommunikationssproget mellem undercentral og hovedcentral).

Af tabellen nedenfor fremgår omkostningerne for et samlet overvågningssystem fra henholdsvis Wago eller Trend Controls i 10 lokaler. Hertil kommer der en udgift til målesøjlerne, hvis sådan en løsning foretrækkes.

Tilbud fra Lindpro for overvågning af 10 lokaler	Wago [dkr]	Trend Control [dkr]
Installering og kombiføler	48.748	48.748
Underscentral	11.983	17.835
Installering af undercentral	60.731	66.583
Hovedcentral + installering	31.940	22.420
I alt	153.402	155.586

Sammenligner man disse omkostninger med omkostningerne ved "gør-det-selv-løsningen" som er beskrevet i de foregående afsnit, er der ikke noget at hente ved en samlet pakke.

## 7 ESCO-kontrakt, ventilation og belysning

I dette kapitel samler vi op på resultaterne fra alle de foregående kapitler, og kommer på den baggrund med nogle anbefalinger til, hvordan en ESCO-kontrakt der indeholder ventilation og belysning, kunne se ud. Dette gør vi med udgangspunkt i vores case, Nyrupskolen, men anbefalingerne gælder også for tilsvarende skoler, hvor man kunne drage fordel af at renovere belysning og ventilation som led i et ESCO-projekt.

### **ESCO-projekt på Nyrupskolen – overordnet**

#### **Hele bygningen under ét**

Vi vil anbefale, at forbedring af ventilation og belysning på Nyrupskolen gennemføres som led i en generel forbedring af skolens bygninger, hvor både klimaskærm, opvarmning, ventilation og belysning renoveres. Alt tyder på, at renoveringsomkostningerne dermed vil kunne nedbringes væsentlig i forhold til de beregninger, vi har lavet i dette projekt.

Også de omkostninger der er forbundet med monitoreringen af ventilations og belysningskvaliteten, vil kunne mindskes derved, idet der vil være synergi ved at indkøbe og installere monitoreringsudstyret for både ventilation og belysning (samt eventuelle yderligere kvalitetsparametre?) på én gang.

#### **Paraply-kontrakt**

Ligeledes anbefales det, at forbedringerne gennemføres som et led i en større paraply-kontrakt, hvor flere af Kalundborg Kommunes bygninger inddrages. På denne måde kan omkostningerne reduceres (via synergi både i udførelsen og mht. kontraktforhandling med ESCOen m.v.), og samtidig kan tiltag med kort tilbagebetalingstid finansiere tiltag med længere tilbagebetalingstid, sådan at den samlede volumen i projektet kan øges.

Som tommelfingerregel kan det anbefales, at man i et ESCO-projekt tilstræber at opnå et samlet energiomkostnings-volumen (el + varme + vand) på mere end 5 mio. kr. årligt, inden besparelser.

#### **Besparelsesgaranti**

For at kunne optage lån til at gennemføre forbedringerne, har kommunen brug for en form for sikkerhed, og det er oplagt at denne stilles i form af en besparelsesgaranti fra ESCOen. Garantien bør fungere således:

- I tilfælde af underpræstation (de faktiske besparelser er mindre end garanteret), udligner ESCOen differencen over for Kalundborg Kommune.
- I tilfælde af overpræstation (de faktiske besparelser er større end garanteret), deles de ekstra besparelser mellem ESCO og Kalundborg Kommune, sådan at der på begge sider er motivation for at maksimere besparelserne.

Med henblik på at eliminere usikkerhed i relation til stigende/faldende energipriser, stilles besparelsesgarantien på energiforbrug (kWh), frem for energiomkostninger (kr.).

#### **Finansiering via kommunalt lån**

Eftersom de danske kommuner kan opnå bedre lånevilkår end en ESCO, foreslås det at Kalundborg Kommune selv optager lån til de relevante forbedringer.

En typisk model for et kommunalt lån til et ESCO-projekt ville være et lån med 15 års løbetid, og med en rente på 5 % igennem hele lånets løbetid.

#### **Kontraktperiode**

Det ville være oplagt med en kontraktperiode med samme tidshorisont som lånets løbetid, dvs. 15 år. Derved får Kalundborg Kommune en besparelsesgaranti, der dækker samme periode som lånet skal afbetales over, og derved sikres det, at alle afdrag på lånet er dækket via besparelsesgarantien fra ESCOen.

## Rollefordeling i projektet

Rollefordelingen i et ESCO-projekt som omfatter Nyrupskolen kunne se således ud:

	ESCO	Kalundborg Kommune
<b>Fase 1 – forstudie</b>	Forstudie	
Kontrakt for fase 2	Der skrives kontrakt for fase 2	
<b>Fase 2 – Energigennemgang m.m.</b>	Detaljeret energigennemgang  Beregner baseline, besparelspotentiale osv.  Udformer besparelsesgaranti  Udformer kvalitetsgaranti på belysning og ventilation  (alt foregår i dialog med Kalundborg Kommune)	Finder finansiering – fx et 15-årigt fast forrentet lån med 5 % rente
Kontrakt for fase 3 + 4	Der skrives kontrakt for fase 3 + 4	
<b>Fase 3 – Gennemførelse</b>	Gennemførelse af entreprisen	
<b>Fase 4 – Drift</b>	Uddanner Nyrupskolens personale til at drive ventilations- og belysningsanlæggene korrekt.  Følger løbende op på, om de faktiske energibesparelser modsvarer de garanterede – og foretager de nødvendige foranstaltninger, hvis det ikke er tilfældet (ændringer i anlæg, drift m.v.)	Nyrupskolens personale står for den daglige drift – ud fra forskrifter som er fastlagt i kontrakten

## Økonomi i projektet

Det er vanskeligt at vurdere, hvordan økonomien i et ESCO-projekt som det ovenfor beskrevne rent faktisk ville se ud.

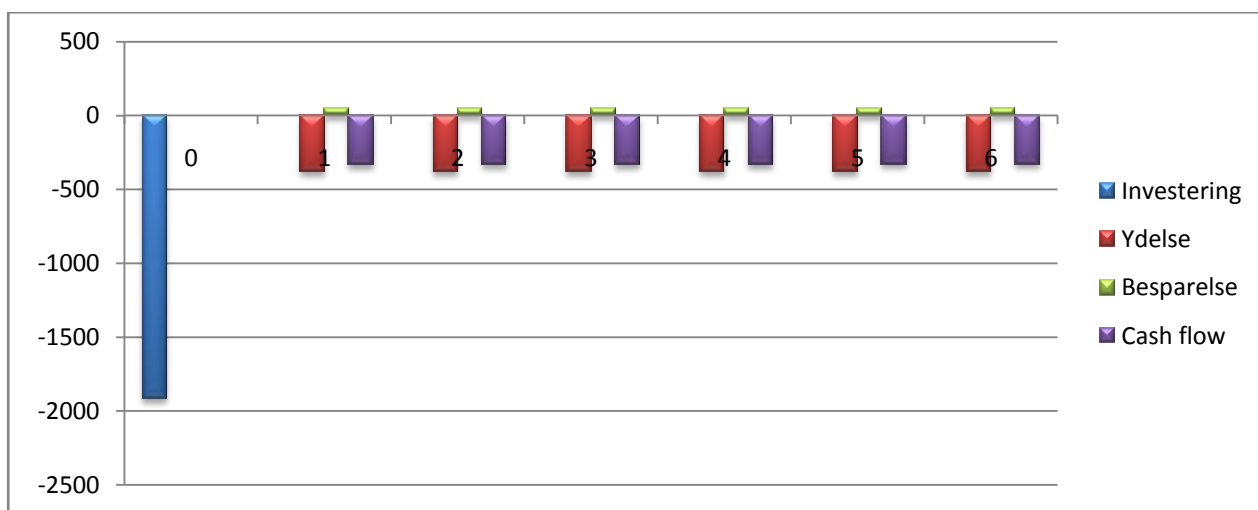
I dette projekt har vi udelukkende set på økonomiske effekter relateret til forbedring af ventilationen og belysningen på Nyrupskolen – men som nævnt ville det mest optimale være at gennemføre forbedringerne som led i et større ESCO-projekt, hvor bl.a. klimaskærm og opvarmning også tages med i betragtning, og hvor andre bygninger i Kalundborg Kommune også indgår. Derved bliver økonomien væsentligt bedre end ved at gennemføre tiltagene separat.

Derfor er det ikke helt fair at vurdere de foreslåede forbedringstiltag økonomisk ud fra en separat gennemførelse af hvert tiltag. Til gengæld kan vi bruge de økonomiske vurderinger af hvert tiltag til at sammenligne økonomien henholdsvis med og uden indregning af den forbedrede læring. Dette illustreres i graferne nedenfor via cash flow – her forstået som det beløb, som projektet årligt tilfører (eller trækker fra) kommunekassen.

I graferne nedenfor har vi sat kommunens omkostninger til en ESCO til 12,5 % af entreprisens sum – dette modsvarer de 10-15 % af entreprisens sum, som i ordinære renoveringsprojekter ville blive brugt til rådgivning i forbindelse med entreprisen. Omkostningerne til ESCOen ligger på samme niveau som omkostninger til en rådgiver i et ordinært projekt – i et ESCO-projekt er der blot mindre vægt på at fastlægge de udførelsesmæssige detaljer på forhånd, og i stedet mere vægt på at opnå enighed om udgangspunkt og målsætninger (baseline og forventet energibesparelse m.v.)

### Belysning

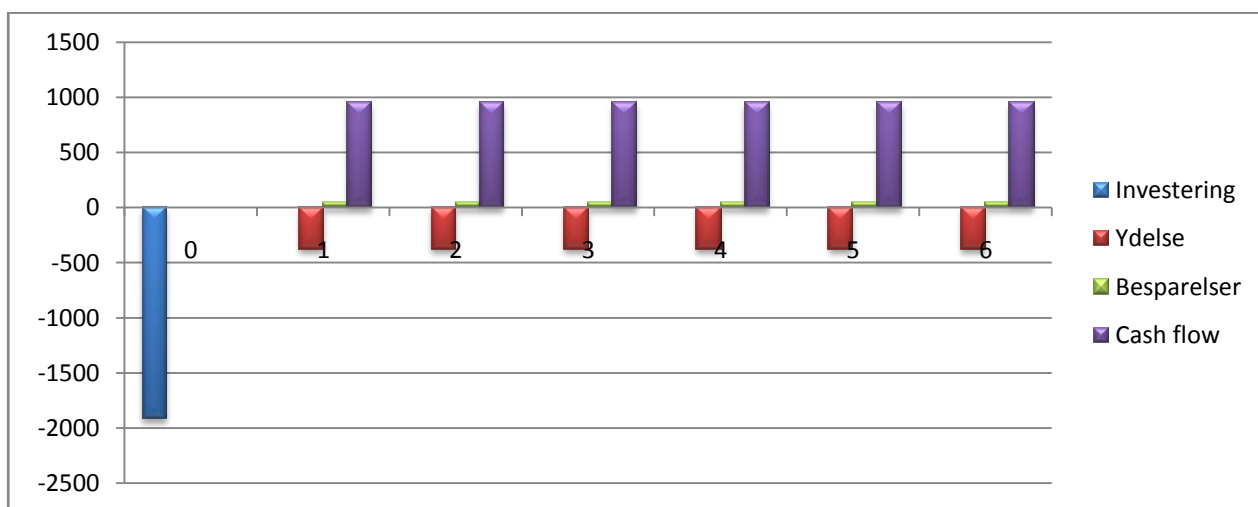
Indregner man udelukkende besparelser på driften – herunder energibesparelserne – ser cash flowet for et projekt med forbedring af Nyrupskolens belysning således ud:



**Figur 7 – Cash flow ved forbedring af belysningen på Nyrupskolen.** Forudsætninger: Renten er fastsat til 5 % i lånets løbetid. Belysningens tekniske levetid er sat til 6 år, og tilbagebetalingstiden er derfor også fastsat til 6 år.

Det ses af figuren ovenfor, at forbedringen af belysningen giver "underskud" i hvert fald i de første seks år efter forbedringen er gennemført.

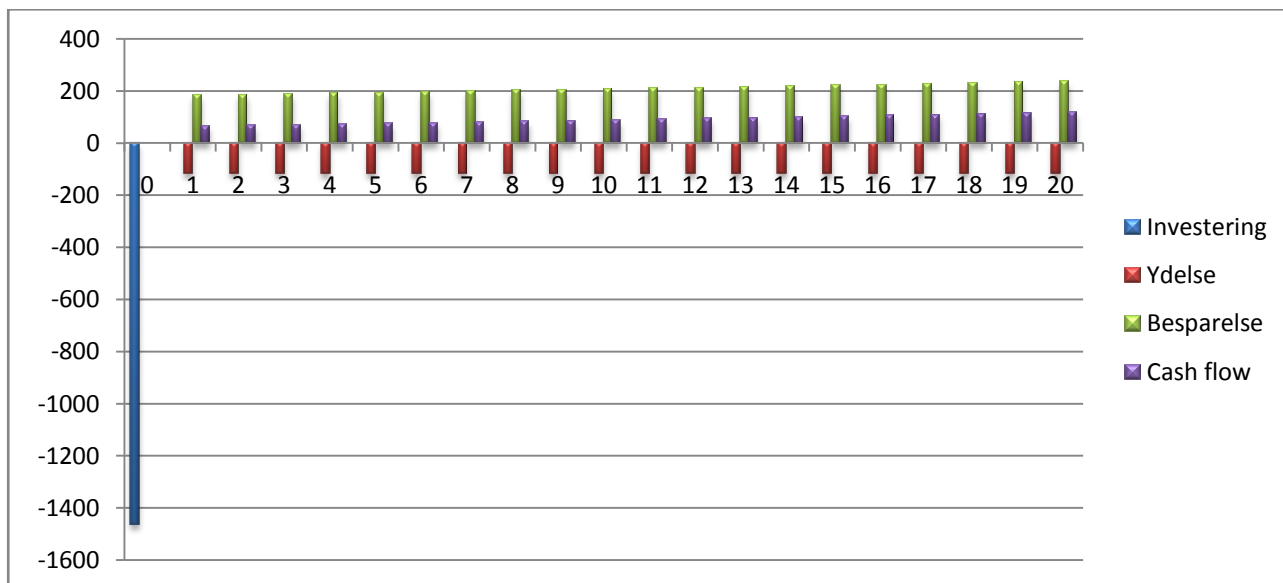
Indregner man derimod også gevinsten ved forbedret læring, ser cash flowet ud som vist i figuren nedenfor. Her giver projektet overskud allerede i år 1, takket være den store økonomiske gevinst ved den forbedrede læring.



**Figur 8 – Cash flow ved forbedring af belysningen på Nyrupskolen (5 % forbedret læring indregnet).** Forudsætninger: Renten er fastsat til 5 % i lånets løbetid. Belysningens tekniske levetid er sat til 6 år, og tilbagebetalingstiden er derfor også fastsat til 6 år.

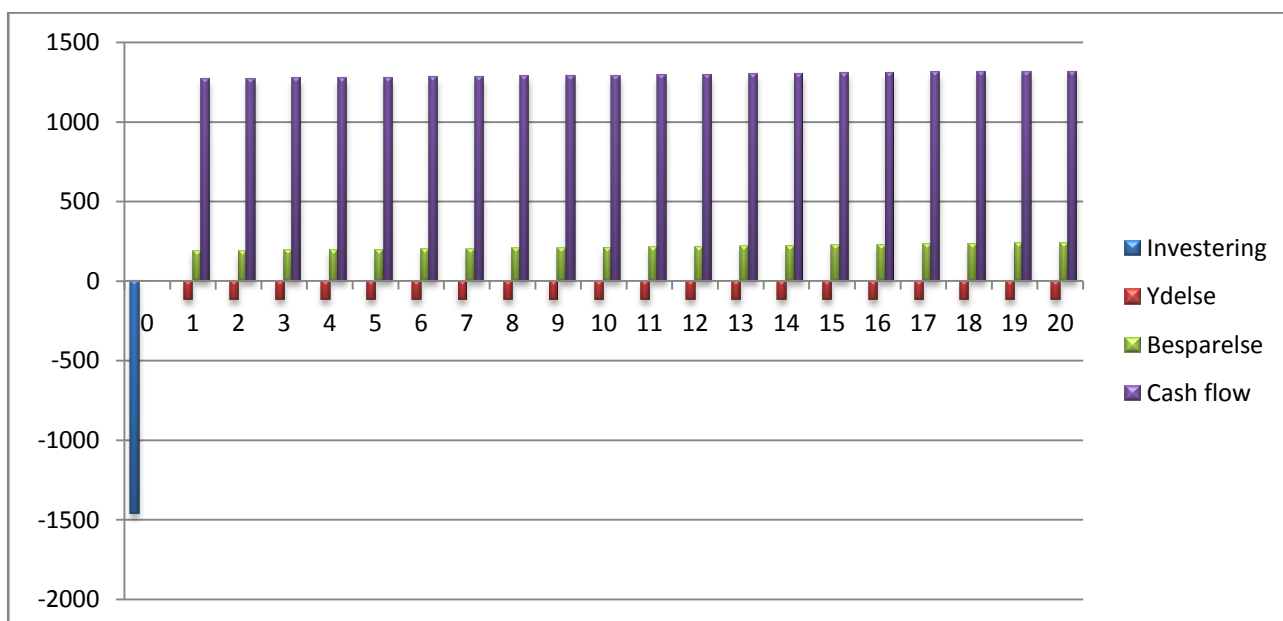
### Ventilation, den ældre del af Nyrupskolen

Laver vi likviditetspåvirknings-beregningen for renovering af ventilationen på den ældre del af Nyrupskolen (her forslag 2), får vi dette billede af cash flowet, når forbedret læring ikke indregnes:



**Figur 9 – Cash flow ved forbedring af ventilationen på den ældre del af Nyrupskolen.** Forudsætninger: Renten er fastsat til 5 % i lånets løbetid. Ventilationens tekniske levetid er sat til 20 år, og tilbagebetalingstiden er derfor også fastsat til 20 år.

Indregner man derimod også gevinsten ved forbedret læring, ser cash flowet således ud:

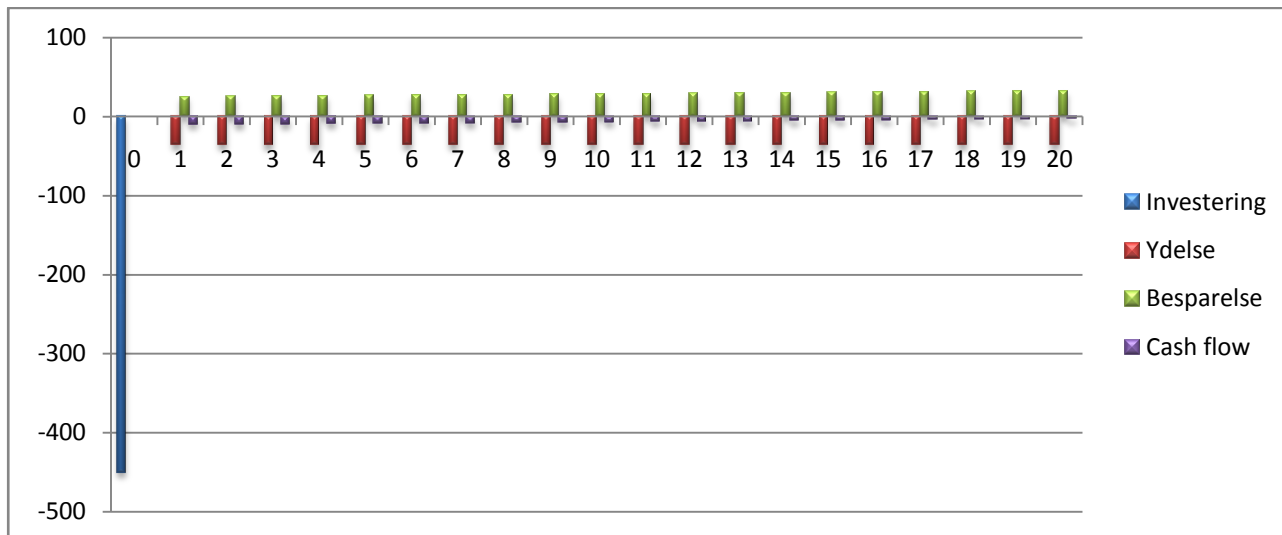


**Figur 10 – Cash flow ved forbedring af belysningen på den ældre del af Nyrupskolen (5 % forbedret læring indregnet).** Forudsætninger: Renten er fastsat til 5 % i lånets løbetid. Ventilationens tekniske levetid er sat til 20 år, og tilbagebetalingstiden er derfor også fastsat til 20 år.



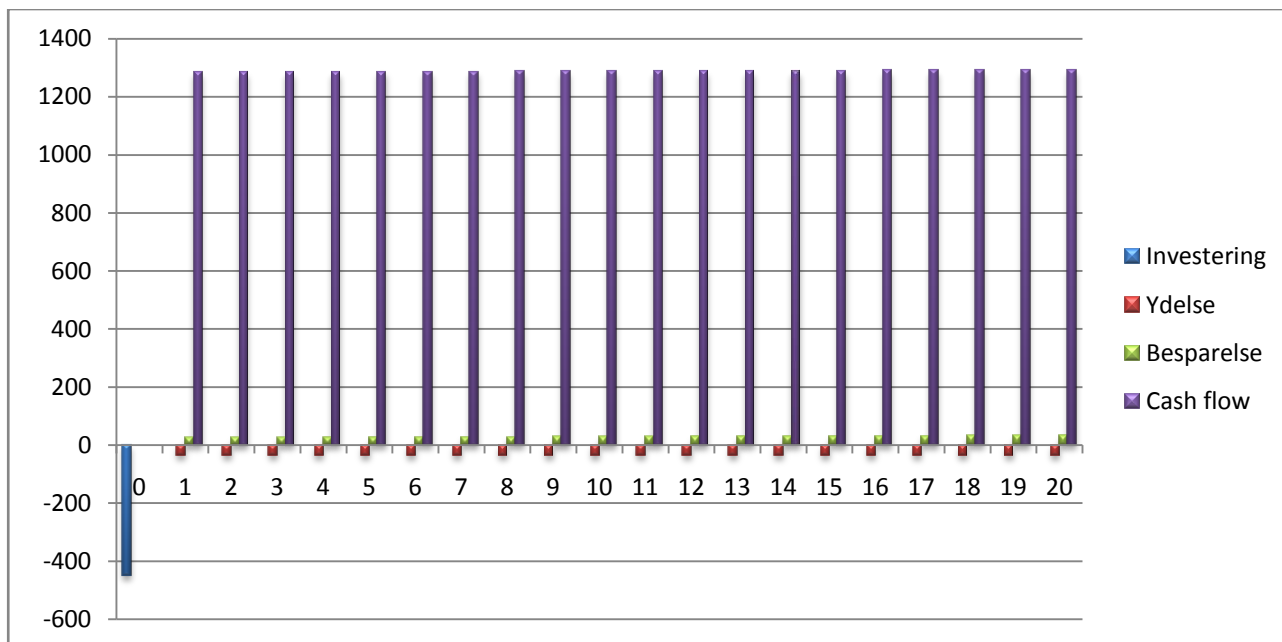
### Ventilation, den nyere del af Nyrupskolen

Laver vi TAC's likviditetsberegning for renovering af ventilationen på den nyere del af Nyrupskolen (her forslag 2), får vi dette billede af cash flowet, når forbedret læring ikke indregnes:



Figur 11 – Cash flow ved forbedring af ventilationen på den nyere del af Nyrupskolen. Forudsætninger: Renten er fastsat til 5 % i lånets løbetid. Ventilationens tekniske levetid er sat til 15 år, og tilbagebetalingstiden er derfor også fastsat til 15 år.

Indregner man derimod også gevinsten ved forbedret læring, ser cash flowet således ud:



Figur 12 – Cash flow ved forbedring af belysningen på den nyere del af Nyrupskolen (5 % forbedret læring indregnet). Forudsætninger: Renten er fastsat til 5 % i lånets løbetid. Ventilationens tekniske levetid er sat til 15 år, og tilbagebetalingstiden er derfor også fastsat til 15 år.

## **Kontrakttillæg: Kvalitetsgaranti på indeklima og belysning**

Vi har i dette projekt sat fokus på Nyrupskolen i Kalundborg Kommune – men situationen på Nyrupskolen er på ingen måde enestående. På mange danske folkeskoler døjer man med dårligt indeklima og dårlige belysningsforhold, som følge af at det er svært at finde finansiering til den nødvendige vedligeholdelse og forbedring af skolernes faciliteter. Og den ringe vedligeholdelse gælder naturligvis også andre områder – klimaskærmen, opvarmningen osv.

Konsekvensen kan være, at de kommunale folkeskoler på grund af de ringe fysiske rammer bliver valgt fra, når forældre skal vælge skole til deres børn. Ifølge en artikel i Nyhedsavisen d. 30. maj 2008 er skolens vedligeholdelsesstand et væsentligt parameter i forældrenes skolevalg, og de kortsigtede lappeløsninger kan derfor på langt sigt føre til, at flere børn flyttes fra de kommunale folkeskoler til privatskoler.<sup>21</sup>

Spørgsmålet er, om ikke den forbedrede læring og de øvrige gevinster ikke er så meget værd, at det kan forsvares at basere et ESCO-projekt på andet og mere end blot tilbagebetalingstiden for de energibesparende tiltag. Hvis værdien af bedre indeklima og belysning (målt i forbedret læring) indregnes i renoveringsbudgettet, kan der opnås et større rammebeløb for renoveringen, idet værdien af renoveringen øges. Det betyder, at flere bygninger og/eller flere tiltag i den enkelte bygning kan tages med i et ESCO-projekt.

Hvis den enkelte kommune finder dette relevant, kan den overveje at lade en "kvalitetsgaranti" indgå i ESCO-kontrakten, på samme måde som besparelsesgarantien gør det i dag.

Med de monitoreringskoncepter for henholdsvis belysning og ventilation, som vi beskrev i foregående kapitel, kan ESCOen levere en kvalitetsgaranti for belysning og ventilation. Vi har også vist, hvordan denne kvalitetsgaranti kan påvirke den økonomiske gevinst ved en renovering på Nyrupskolen.

Det næste skridt er at skrive et tillæg til ESCO-kontrakten, som definerer kriterierne for en sådan kvalitetsgaranti. Nedenfor præsenterer vi nogle simple bud på, hvordan en kvalitetsgaranti for henholdsvis belysning og ventilation kunne se ud i en ESCO-kontrakt. Disse er tænkt som tillæg til en ordinær ESCO-kontrakt, der fastlægger de generelle betingelser for samarbejdet mellem ESCO og kunde. De kan benyttes som udgangspunkt for en konkret forhandling mellem ESCO og kunde om kvalitetsgarantier på disse to ydelser.

---

<sup>21</sup> <http://avisen.dk/articles/2008/05/30/archive.aspx> (22. september 2008)

## Kvalitetsgaranti for belysning

### Omfattede bygninger og lokaler

Kvalitetsgarantien omfatter følgende lokaler i bygningerne A og B:

- 1
- 2
- 3
- 4

### Garanti-periode

Kvalitetsgarantien dækker perioden fra 1. januar 2010 til 31. december 2020.

### Driftstider

Inden for den ovenfor definerede garanti-periode dækker garantien i følgende tidsrum:

- Aktivitetsdage: Man-fre
- Aktivitetstid i løbet af døgnet: 08.00-16.00

Dog dækker garantien ikke i følgende ferieperioder:

- Vinterferie (1 uge i februar eller marts måned)
- Xx-ferie (1 uge i xx måned)
- Osv.

### Den garanterede kvalitet

Belysningskvaliteten defineres ud fra belysningsstyrken målt i lux. Det garanteres, at der i garantiperioden – i de ovenfor definerede driftstider – leveres minimum 200 lux (+/- 10 %) i de aftalte kontrolpunkter. Dog slukkes lyset i det enkelte lokale, når der ingen personer er i lokalet.

### Kontrolpunkter for belysningskvaliteten

Kontrolpunktet for belysningsstyrken i et lokale er den dårligst belyste bordflade i lokalet. Der måles dog ikke belysningsstyrke direkte på bordpladen – i stedet beregnes en omregningsfaktor mellem den dårligst belyste bordplade og en lysføler placeret i loftet over bordfladen. Denne omregningsfaktor beregnes inden garantiperiodens begyndelse, og bruges som udgangspunkt for løbende monitorering af belysningskvaliteten i lokalet. Belysningsstyrken måles i disse kontrolpunkter:

- Lokale 1: En bordflade 3 m fra vindues-væggen og 2 m fra tavlevæggen
- Lokale 2: En bordflade 4,5 m fra vindues-væggen og 3 m fra tavlevæggen
- Lokale 3: Som lokale 1
- Lokale 4: Som lokale 2

### Overvågning og dokumentation

Hvert 5. minut måles belysningsstyrken i kontrolpunkterne, og ESCOen opsamler og gemmer data for belysningskvaliteten 6 måneder tilbage i tiden.

På forespørgsel kan kunden få udleveret dokumentation for at kvalitetsgarantien er overholdt i et givent lokale på en given dag op til 6 måneder tilbage i tiden.

### Forudsætninger for garantien

Kvalitetsgarantien forudsætter, at der i kvalitetsperioden ikke ændres væsentligt på de garanti-omfattede lokalers brug eller indretning på en måde der påvirker belysningsstyrken væsentligt (herunder indre og ydre solafskærmning, indretning og møblering, driftstider m.v.)

Såfremt der i løbet af garantiperioden ændres væsentligt på driftstider, lokaler eller andre forhold, der har betydning for kvalitetsgarantien, har kunden pligt til at orientere ESCOen herom. Der skal i så fald aftales reviderede betingelser for kvalitetsgarantien.

## Kvalitetsgaranti for ventilation

### Omfattede bygninger og lokaler

Kvalitetsgarantien omfatter følgende lokaler i bygningerne A og B:

- 1
- 2
- 3
- 4

### Garanti-periode

Kvalitetsgarantien dækker perioden fra 1. januar 2010 til 31. december 2020.

### Driftstider

Inden for den ovenfor definerede garanti-periode dækker garantien i følgende tidsrum:

- Aktivitetsdage: Man-fre
- Aktivitetstid i løbet af døgnet: 08.00-16.00

Dog dækker garantien ikke i følgende ferieperioder:

- Vinterferie (1 uge i februar eller marts måned)
- Xx-ferie (1 uge i xx måned)
- Osv.

### Den garanterede kvalitet

Ventilationskvaliteten defineres ud fra CO<sub>2</sub>-koncentrationen målt i ppm og rumtemperaturen målt i °C. Det garanteres, at der i garantiperioden – i de ovenfor definerede driftstider – leveres luft, sådan at der i de garantidækkede lokaler er en maksimal CO<sub>2</sub>-koncentration på 1000 ppm (+/- 10 %) og en rumtemperatur på 20-22 °C (+/- 1 °C) i de aftalte kontrolpunkter.

### Kontrolpunkter for ventilationskvaliteten

Kontrolpunktet for luften i et lokale er et punkt i 1,1 m højde midt i lokalets opholdszone. Der installeres i midten af hvert lokales opholdszone en målesøjle, der måler CO<sub>2</sub>-koncentration og rumtemperatur i dette kontrolpunkt. Målesøjlerne placeres således:

- Lokale 1: 2 m fra vindues-væggen og 3 m fra tavlevæggen
- Lokale 2: 2,5 m fra vindues-væggen og 3 m fra tavlevæggen
- Lokale 3: Som lokale 1
- Lokale 4: Som lokale 2

### Overvågning og dokumentation

Hvert 5. minut måles CO<sub>2</sub>-koncentrationen og rumtemperaturen kontrolpunkterne, og ESCOen opsamler og gemmer disse data for ventilationskvaliteten 6 måneder tilbage i tiden.

På forespørgsel kan kunden få udleveret dokumentation for at kvalitetsgarantien er overholdt i et givent lokale på en given dag op til 6 måneder tilbage i tiden.

### Forudsætninger for garantien

Kvalitetsgarantien forudsætter, at der i kvalitetsperioden ikke ændres væsentligt på de garanti-omfattede lokalers brug eller indretning på en måde der påvirker CO<sub>2</sub>-koncentrationen og rumtemperaturen væsentligt (herunder indre og ydre solafskærmning, indretning og møblering, driftstider, personbelastning m.v.) Såfremt der i løbet af garantiperioden ændres væsentligt på driftstider, lokaler eller andre forhold, der har betydning for kvalitetsgarantien, har kunden pligt til at orientere ESCOen herom. Der skal i så fald aftales reviderede betingelser for kvalitetsgarantien.

## Målepunkter for ydelsen

Det er ikke noget nyt at inddrage ventilation og belysning i ESCO-projekter. Når der indgås en ESCO-aftale om renovering af en bygning, vil ventilationen og belysningen typisk blive gennemgået og forbedret, parallelt med klimaskærmen, varmeanlægget m.v. Og energibesparelser i relation til ventilationen og belysningen indgår dermed i den samlede energibesparelse i ESCO-projektet.

Derimod er der i dag ikke meget fokus på at sikre og påvise kvaliteten i ventilationen og belysningen – der er med andre ord ikke fokus på den "vare", ESCOen rent faktisk leverer, i form af godt indeklima og god belysning. En kvalitetsgaranti på ventilation og belysning (som beskrevet ovenfor), kan imidlertid give øget værdi for kunden (og dermed også for ESCOen).

Såfremt det ønskes, at ESCOen i kontraktperioden holdes ansvarlig for en høj kvalitet i henholdsvis ventilation og belysning, bør der udpeges målepunkter, som giver et retvisende billede af ventilationen og belysningen i opholdszonen i de lokaler, kontrakten dækker. I dette projekt har vi fundet frem til følgende målepunkter (suppleret af målemetode og måleudstyr) til dette formål:

	Ventilation	Belysning
<b>Målepunkter</b>	En CO <sub>2</sub> -føler og en temperaturføler, begge placeret midt i opholdszonen i 1,1 m højde.	En lyssensor i loftet angiver belysningsniveauet på den dårligst belyste bordplade i lokalet (via omregningsfaktor)
<b>Målemetode</b>	De to følere placeret midt i opholdszonen angiver den reelle CO <sub>2</sub> -koncentration og den reelle rumtemperatur i opholdszonen (modsat målinger i ventilations-udsug).	Via kortvarige indledende målinger i hvert lokale fastsættes en omregningsfaktor for hvert lokale (eller type af lokale), sådan at belysningsniveauet målt via sensoren i loftet kan omregnes til belysningsniveauet på den dårligst belyste bordplade.
<b>Monitoreringsudstyr</b>	CO <sub>2</sub> -føler, temperaturføler samt målesøjle til installation midt i opholdszonen. Desuden dataloggere for hver 5 lokaler. PC + software, som samler data fra dataloggerne, og sender til et webbaseret program, så ventilations- og belysningskvalitet kan følges online.	En lyssensor i loftet i hvert lokale samt en datalogger for hver 8 sensorer.

Den metode til monitorering af indeklima og belysning, som vi har udviklet i dette projekt, er tiltænkt konstant monitorering af indeklimaet og belysningen i de garanti-dækkede lokaler. Dette er naturligvis en forholdsvis omkostningstung form for monitorering, idet den kræver permanent montering af måleudstyret, herunder anskaffelse, installation og vedligeholdelse.

Forud for at en ESCO-kontrakt indgås, bør det drøftes mellem ESCO og kunde, hvor stor værdi kvalitetsgarantien har for kunden, og som følge heraf, hvor omfattende den skal være.

Monitoreringen kan givetvis modificeres (begrænses), sådan at omkostningerne mindskes, hvis kunden accepterer at nøjes med en lavere grad af sikkerhed for kvaliteten i ventilationen og belysningen. Eksempelvis kunne man aftale at gennemføre regelmæssige kvalitetstjek, hvor CO<sub>2</sub>-koncentrationen, rumtemperaturen og belysningsniveauet måles i de relevante målepunkter over en kort periode.

## 8 Perspektiv: Et stort dansk energiselskabs syn på ESCO-modellen

### **De Gamles By**

I et igangværende ESCO-projekt i De Gamles By på Nørrebro indgår DONG Energy som ESCO-virksomhed. Formålet med denne model er at opnå energibesparelser, samtidig med at kunden fritages fra økonomisk risiko.

DONG Energy er som ESCO-virksomhed hovedansvarlig for rådgivnings- og projekteringsydelser, entrepriser, drift og vedligeholdelse. Der er i den forbindelse udvalgt to underentreprenører: Kemp & Lauritzen, der skal iværksætte de enkelte energibesparelses tiltag; og OBH-Gruppen som skal stå for energimærkningen på de enkelte bygninger.

DONG Energy og Københavns Ejendomme ønsker med demonstrationsprojektet i De Gamles By at vise potentialet i et ESCO-projekt. Der opnås samtidig erfaringer, der rustar DONG Energy til at imødekomme kundernes fremtidige efterspørgsel på dette område.

Bebyggelsen i De Gamles By har et samlet etageareal på 67.491 m<sup>2</sup> og havde i 2007 et elforbrug på 4,1 mio. kWh/år og et varmeforbrug på ca. 11.000 MWh/år.

Besparelserne skal findes inden for varme, belysning og ventilation med en garanteret besparelse på 12 mio. kr. Perioden løber over 10 år, og herefter skal den garanterede energibesparelse på 12 mio. kr. være realiseret.

### **Procesforløb i De Gamles By**

- Fase 1: Analysefasen blev igangsat ultimo 2008 med energianalyse og energimærkningsordning(EMO) til endelig fastlæggelse af de garanterede energibesparelser.
- Fase 2: Hovedprojektering og udførelse af de aftalte energieffektiviseringsforanstaltninger.
- Fase 3: Drift og vedligeholdelse. Aftaleperioden kan blive op til ca. 10 år. Projektets gennemførelse er betinget af den politiske godkendelse i Københavns Kommune.
- Fase 4: Overdragelse af anlæg.

### **Det særlige ved ESCO-modellen**

”Det springende punkt i denne nye måde at gennemføre energibesparelser på er, at DONG Energy garanterer energibesparelserne. Vi i DONG Energy kan mærke, at vores kunder efterspørger ESCO-modellen, og derfor ønsker vi det for afgørende at få nogle praktiske erfaringer indenfor dette område. Det at garantere energibesparelser er både en fordel og en udfordring for et energiselskab som DONG Energy. Fordelen ligger i, at vi sikrer, at de rentable energibesparelser der bliver identificeret, også efterfølgende bliver realiseret.”

Nedenstående lister giver et overblik over, hvilke fordele og udfordringer DONG Energy vil overveje, før den fremtidige strategi på ESCO området fastlægges:

<b>DONG Energys fordele ved ESCO</b>	<b>DONG Energys udfordringer ved ESCO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frigiver energibesparelser som kunden ellers ikke havde realiseret grundet en lang tilbagebetalings-tid.</li> <li>• Som energiselskab kan DONG Energy knytte kunderne tættere til sig.</li> <li>• DONG Energy vil kunne øge omsætningen igennem salg af eks. kedeludskiftninger, solceller samt andre produkter.</li> <li>• DONG Energy vil få erfaringer, der kan imødekomme kundernes fremtidige efterspørgsel på disse områder.</li> <li>• ESCO kan bruges som løftestang til at komme ind på et marked.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• At skabe fælles opfattelse af hvordan besparelserne måles eller beregnes.</li> <li>• Risikoen forbundet med at garantere energibesparelser skal stå mål med indtjeningen.</li> <li>• Ressourceforbrug til transaktionsomkostninger.</li> <li>• Administrationstungt.</li> <li>• Ressourceforbruget ved at opgøre udgangsreferencen (base-line) og dokumentere den opnåede besparelse.</li> <li>• Hvis aktivitetsniveau og brugeradfærd ændres undervejs, kan dokumentation af besparelsen blive kompliceret.</li> </ul>

### **Perspektiver**

De langsigtede perspektiver ved at deltage i ESCO-projektet i De Gamles By er at ruste DONG Energy til den stigende efterspørgsel efter energitjenester hos kommuner og regioner. ESCO-ydelser ligger også godt i tråd med DONG Energys ønske om til stadighed at tillægge merværdi til vores primære produkter. Endvidere giver ESCO-modellen mulighed for, at DONG Energy kan optimere anvendelsen af den energi, der bliver leveret; og på den måde komme hele vejen rundt om vores kunders energiforbrug.

En evaluering af ESCO-projektet i De Gamles By skal danne grundlag for beslutninger om, hvorvidt ESCO-modellen i fremtiden skal være en central ydelse i DONG Energys produktportefølje, eller om andre modeller er mere fordelagtige.

De langsigtede perspektiver for DONG Energy ved at indgå i udviklingen af forskellige ESCO-modeller er, at modellen rummer en mulighed for at involvere de kunder, der før har været tilbageholdende med energioptimeringsarbejdet, for eksempel på grund af usikkerhed omkring omkostningerne og besparelspotentialet. Med det rette ESCO-produkt i hånden vil det være muligt at aktivere denne kundegruppe. ESCO-produktet giver samtidig mulighed for at få realiseret de energibesparelser, der tidligere blev opgivet grundet en lang tilbagebetalingstid (her tænkes der især på energibesparelser forbundet med en bygnings klimaskærm).

### **Energiaftalen fra 2008**

Energiaftalen af 21. februar 2008 fastsætter, at energiselskabernes energibesparelsesforpligtelser øges fra i dag 2,95 PJ årligt til 5,4 PJ årligt fra 2010 og frem. Disse øgede forpligtigelser svarer til 80 %. DONG Energy ser ESCO som en vej til at opfylde en del af disse forpligtigelser.

# Bilag 1 – Normer for ventilation og indeklima

## Ventilation og indeklima - bestemmelser, krav, anbefalinger og definitioner

Ved projektering af ventilation og indeklima skal man som minimum følge bygningsreglementet bestemmelser (BR08) og tilhørende standarder:

- EN ISO 7730 – ”Ergonomi inden for termisk miljø – Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregning af PMV- og PPD-indekser (forventet middel votering og forventet utilfredse) og lokale termiske komfortkriterier”
- DS/CEN/CR 1752 – ”Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet”
- DS 474 – ”Norm for specifikation af termisk indeklima”

Herudover er der en række standarder, som omhandler indeklimaet og de tilhørende parametre – nogle af de mest centrale er:

- Arbejdstilsynets vejledning ”Indeklima” med en række anbefalinger ang. indeklima
- Diverse SBI-anvisninger, bl.a. 130 - ”Måling af termisk indeklima”, 216 – ”Anvisning om Bygningsreglement 2008” og 196 – ”Indeklimahåndbogen”
- DS EN 15251 – ”Input-parametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik”

## Intervaller for beregnede værdier - PPD, PMV og DR indeks

Nedenstående er et uddrag af rekommanderede intervaller og normer, der er gældende for indeklimaet for personer med aktivitet svarende til kontorarbejde. Vi har valgt ikke at skele til rekommanderede størrelser for skoler, da disse intervaller ofte er vage.

PPD-indekset er en forkortelse af Predicted Percentage of Dissatisfied (forventet procent utilfredse). PPD-indekset giver en kvantitativ forudsigtelse af antallet af de personer, der vil være utilfredse med de termiske omgivelser, svarende til en generel termisk indeklimavurdering.

PMV-indekset er en forkortelse af Predicted Mean Vote, som angiver den forventede middel-votering.

DR-indekset anvendes for vurdering af lokalt ubehag på kroppen.

Nedenstående tabel viser kategorier af termisk miljø i DS/CEN/CR 1752:2001. I tabellen henvises der til 3 forskellige indeklima kategorier (hhv. A, B og C hvor A er den bedste), hvilket referer til normerne DS 474 og DS 1752.

Kategori	Termisk oplevelse for kroppen som helhed		Lokalt ubehag			
	Forventet utilfredse PPD %	Forventet middelvotering PMV	Utilfredse pga. træk %	Utilfredse ved lufttemperaturgradient %	Utilfredse ved for varmt eller koldt gulv %	Utilfredse ved strålingstemperatursymmetri %
A	<6	-0,2<PMV<+0,2	<15	<3	<10	<5
B	<10	-0,5<PMV<+0,5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7	<25	<10	<15	<10



Det skal bemærkes, at ifølge DS 474 anses det termiske indeklima at være acceptabelt ved  $-0,5 < PMV < 0,5$ , det vil sige, at der kan forventes mindre end 10% utilfredse, hvilket svarer til kategori B i ovenstående tabel.

### **Intervaller for målte værdier**

Følgende intervaller er der skelnet til i vurderingen af indeklimaet:

- Den operative temperatur bør ligge på  $22 \pm 1, 2$  eller  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  iht. kategori A, B eller C /DS 474/DS 1752/
- For at undgå træk bør lufthastigheden i opholdszonen i lokaler med stillesiddende arbejde ikke overstige  $0,15 \text{ m/s}$ . Ved temperaturer over  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  accepteres højere lufthastigheder /BR08 afsnit 6.3.1.1 stk. 3/.
- Den lodrette rumtemperaturdifferens (gradient) mellem  $0,1 \text{ m}$  og  $1,1 \text{ m}$  over gulvniveau – bør ikke overstige  $2-4 \text{ }^\circ\text{C}$  /Danvac 1991/DS1751/DS474/AT A1.2/.
- Rumtemperatur i lokalet målt i  $1,1 \text{ m}$  over gulvniveau, bør ligge på  $22 \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  /SBI-110/. På varme sommerdage stigende til  $24 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$  svarende til let sommerbeklædning.
- Daglige rumtemperaturændringer i lokalet på mere end ca.  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  føles ubehageligt /SBI-110/AT A.1.2/.
- Det er ikke nødvendigt at fysiologiske grund at affugte eller befugte luften i Danmark. Der vil kun være korte perioder om vinteren med relativ fugtighed lavere end  $25 \text{ } \%$  RF og om sommeren med højere fugtighed end ca.  $60 \text{ } \%$  RF ved  $21-22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Med hensyn til bygningskonstruktionen og til helbredsmæssige forhold sættes en øvre grænse for luftfugtigheden i vintersæsonen på ca.  $45 \text{ } \%$  ved  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ . /SBI-110/.
- Strålingstemperaturasymmetri forårsaget af varmt loft, kold væg, koldt loft eller varm væg bør ligge under:  
Varmt loft  $<5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kold væg  $<10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kold loft:  $<14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Varm væg:  $<23 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
Strålingsasymmetri er sjældent et problem i ventilerede/luftkonditionerede lokaler, men kan dog opstå ved høje belysningsniveauer eller ved store vinduesarealer. Direkte solindfald bør undgås i opholdszonen enten gennem udformningen af bygningen eller ved hjælp af solafskærmning /DS 1752/.
- Hvis stillesiddende personer antages at være de eneste forureningskilder, er  $\text{CO}_2$ -koncentrationen inkl. niveauet udendørs for de tre indeklimakategorier:  
A:  $840 \text{ ppm}$ , B:  $1040 \text{ ppm}$  og C:  $1190 \text{ ppm}$  /DS 1752/.
- Temperaturen ved stillesiddende arbejde og normale klima- og arbejdsforhold må ikke overstige  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . /AT A.1.2/SBI 110/
- Temperaturændringer på mere end  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  over en arbejdsdag føles ubehagelig. Temperaturforskellen ved gulvet og i hovedhøjde bør være mindre end  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  /AT A.1.2/.
- En temperatur på  $20-22 \text{ }^\circ\text{C}$  er passende ved let fysisk aktivitet i fx skoler, daginstitutioner og kontorer. Ved temperatur på  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  eller derover stiger antallet af klager over indeklimasympptomer ofte, og der bør træffes foranstaltninger til at nedbringe temperaturen. Temperaturen ved stillesiddende arbejde og normale klima- og arbejdsforhold må ikke overstige  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Ved stillesiddende og stående arbejde bør temperaturen ikke komme under  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  /AT A.1.12/

## Bilag 2 – Uddybende indeklima-vurdering Nyrupskolen

Nyrupskolens indeklima er vurderet med afsæt i de normer for indeklima, som er beskrevet i bilag 1.

I test-lokalerne er der målt på følgende værdier, med henblik på en vurdering af det termiske og atmosfæriske indeklima:

- Rumtemperatur i 0,1 m højde: ankelhøjde
- Rumtemperatur i 0,6 m højde: underlivshøjde (siddende)
- Rumtemperatur i 1,1 m højde: underlivshøjde (stående) samt hovedhøjde (siddende)
- Rumtemperatur i 1,7 m højde: hovedhøjde (stående)
- Den operative temperatur (OT)
- Lufthastigheden (mhp. træk-vurdering)
- Den relative luftfugtighed
- Strålingsasymmetri
- Solindfald
- Luftmængder hhv. udsugning og indblæsning
- CO<sub>2</sub>-koncentration

Desuden er følgende værdier er beregnet ud fra ovenstående målte værdier:

- PMV indeks - Predicted Mean Vote (forventet middel-votering)
- PPD indeks - Predicted Percentage of Dissatisfied (forventet procent utilfredse)
- DR indeks – Draw risk (trækvurdering)
- Temperatur variationen over dagen samt min og max temperaturer

For at få et generelt billede af indeklimaet og de målte og beregnede værdier, er der foretaget midling over udvalgte dage i måleperioden. Der er ved vurderingen af indeklimaet brugt en skoledag fra 8.00 til 14.00, da det er i dette tidsrum test-lokalerne er mest belastede. Tabellen nedenfor viser de samlede resultater af indeklimamålingerne i lokale 12 og 19.

Indeklimaparametre gennemsnit	Lokale 12		Lokale 19	
	22-04-2008 (9:30-13)	24-04-2008 (08 -12)	08-04-2008 (8-12)	09-04-2008 (10-14)
PPD	6,12	9,62	12,55	8,17
PMV	-0,03	-0,33	-0,57	-0,36
DR	3,75	6,06	1,11	2,22
OT	24,09	22,92	21,50	22,06
ΔT	1,10	1,20	1,42	0,86
T_1,1	25,00	23,80	22,35	23,30
Str. Ass	2,81	2,42	0,36	0,50
CO2	1297,60	1149,00	876,00	1368,00
OT variation	2,90	5,10	3,00	1,90
Min OT	22,60	19,40	19,70	20,80
Max OT	25,50	24,50	22,70	22,70
Max CO2	2124	1767	1082	1971
Min CO2	999	682	662	1004
solindstråling	46,1	492	11,4	7,16
ind radiator	36,5	31,3	23,8	23,4
Noter	Mellem kl 10:40 til 11:13 falder CO2 fra 2124 til 661,4	Allerede kl 8 er CO2 > 1200 (1281). Kl 8:50 - 9:15 falder CO2 fra 1750 til 700	CO2 ikke over 1100 ppm	CO2 ikke under 1000ppm

I det følgende uddybes målinger og resultater for lokalerne 12, 19, 13 og 18.

### Lokale 12, Ældre del, SØ (middel solbelastet)

Indeklima-parametre gennemsnit	Lokale 12			
	22-04-2008 (9:30-13)	Kategori	24-04-2008 (08 -12)	Kategori
PPD	6,12	B	9,62	B
PMV	-0,03	A	-0,33	B
DR	3,75	A	6,06	A
OT	24,09	A	22,92	B
$\Delta T$	1,10	A	1,20	A
T_1,1	25,00		23,80	
Str. Ass	2,81	A	2,42	A
CO2	1297,60	C	1149,00	B
Temp. variation	2,9	Max 4 C	5,1	Max 4 C

Som det fremgår af ovenstående tabel, overholder indeklimaet (gennemsnitlige værdier) i måleperioden for lokale 12 i alle tilfælde bortset fra ét, kategori B (jf. de i Bilag 1 beskrevne kategorier for indeklima), hvilket er tilfredsstillende.

Temperaturen i lokalet er den ene dag lidt høj (middel over perioderne omkring 25 °C), hvilket sammen med et højt støjniveau iht. SBI-199 kan give gener som træthed, hovedpine og tørhedsfornemmelse. Generne opstår dog oftest først ved temperaturer over 24-30 °C.

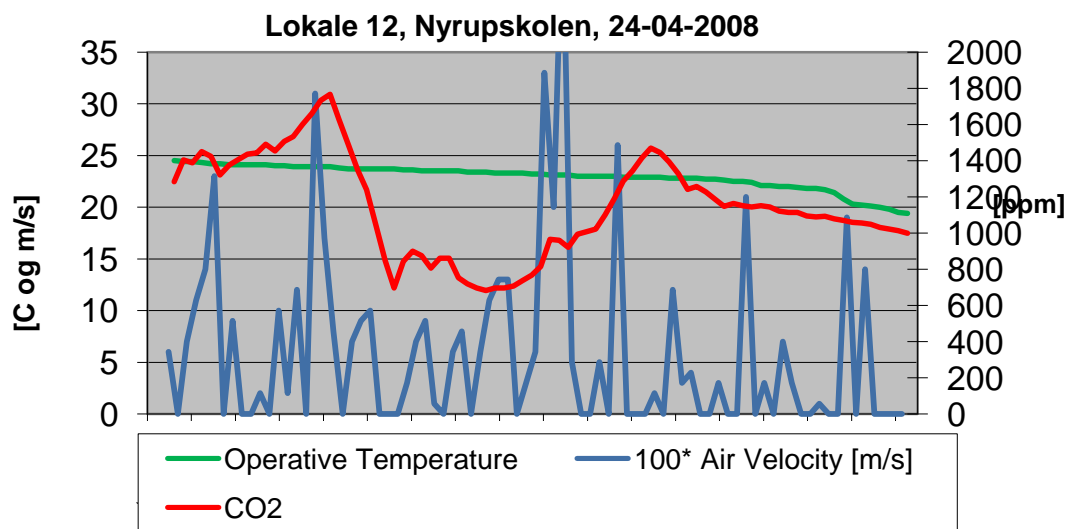
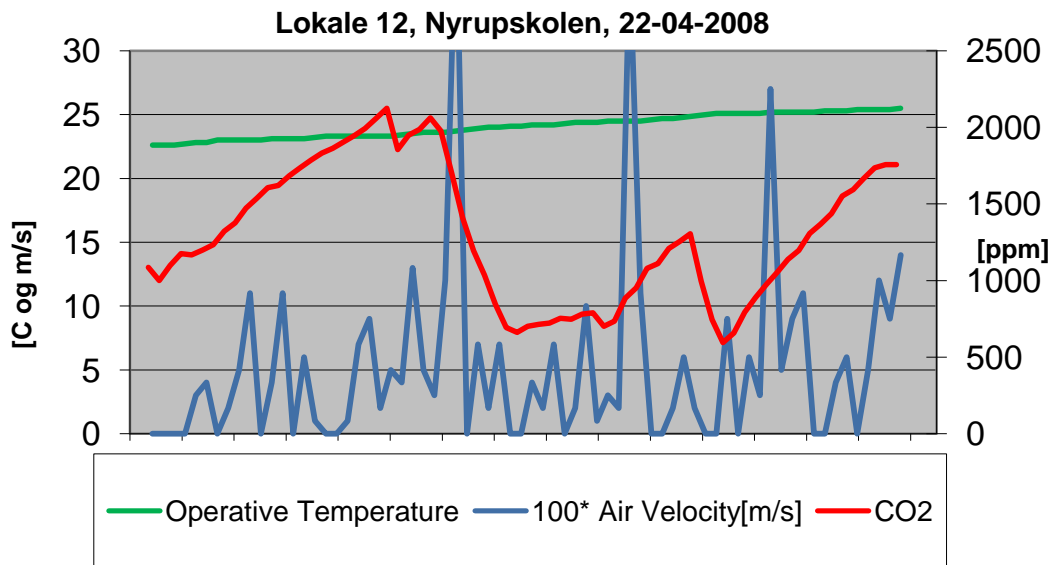
Temperaturen i lokale 12 er en del højere end i lokale 19, højst sandsynligt pga. varmeydelsen fra radiatoren samt det faktum at solindstrålingen er højere. Det ses endvidere, at den operative temperatur varierer op til 5 °C på en dag hvilket er over den anbefalede maksimale variation på 5 °C.

Den gennemsnitlige CO<sub>2</sub>- koncentrationen i lokalets brugstid er henholdsvis ca. 1300 ppm og 1150 ppm de to dage, men stiger over dagen op til 2100 ppm og 1750 ppm, hvilket kun reduceres pga. udluftning i frikvarteret. Ifølge Arbejdstilsynet er ventilationen utilstrækkelig, når CO<sub>2</sub>-koncentrationen overstiger 2000 ppm i korte perioder – dette er tilfældet i lokale 12, som det fremgår af tabellen ovenfor og kurverne nedenfor.

Den høje CO<sub>2</sub> koncentration kan iht. SBI rapport 199 give anledning til øget risiko for hovedpine og træthed samt mindske koncentrationen og indlæringsevnen.

Af røgprøver samt CO<sub>2</sub>-målingen fremgår det, at der ikke kommer tilstrækkelig friskluft ned i opholdszonen pga. ringe ventilering. Tilsyneladende er der ikke nogen problemer med trækgener, hvilket kan skyldes at der ingen indblæsning/friskluftventiler er, og at der hentes varm luft fra gangen via spalten under døren. Dog optræder der enkelte perioder med lufthastigheder over 0,15 m/s (over Arbejdstilsynets anbefalinger), hvilket fremgår af nedenstående kurver.

Det skal bemærkes at måleperioden ikke var en varm periode, hvorfor det med rimelighed kan antages, at temperaturerne er højere i årets varmeste perioder. Omvendt kan det tænkes, at eventuelle problemer med kuldefald og trækgener forværres i den koldere del af året.



**Lokale 19, Nyere del, NØ (lidt solbelastet)**

Indeklimaparametre gennemsnit	Lokale 19			
	08-04-2008 (8-12)	Kategori	09-04-2008 (10-14)	Kategori
PPD	12,55	C	8,17	B
PMV	-0,57	C	-0,36	B
DR	1,11	A	2,22	A
OT	21,50	C	22,06	B
$\Delta T$	1,42	A	0,86	A
T <sub>1,1</sub>	22,35		23,30	
Str. Ass	0,36	A	0,50	A
CO2	876,00	B	1368,00	C
OT variation	3	Max 4 C	1,9	Max 4 C

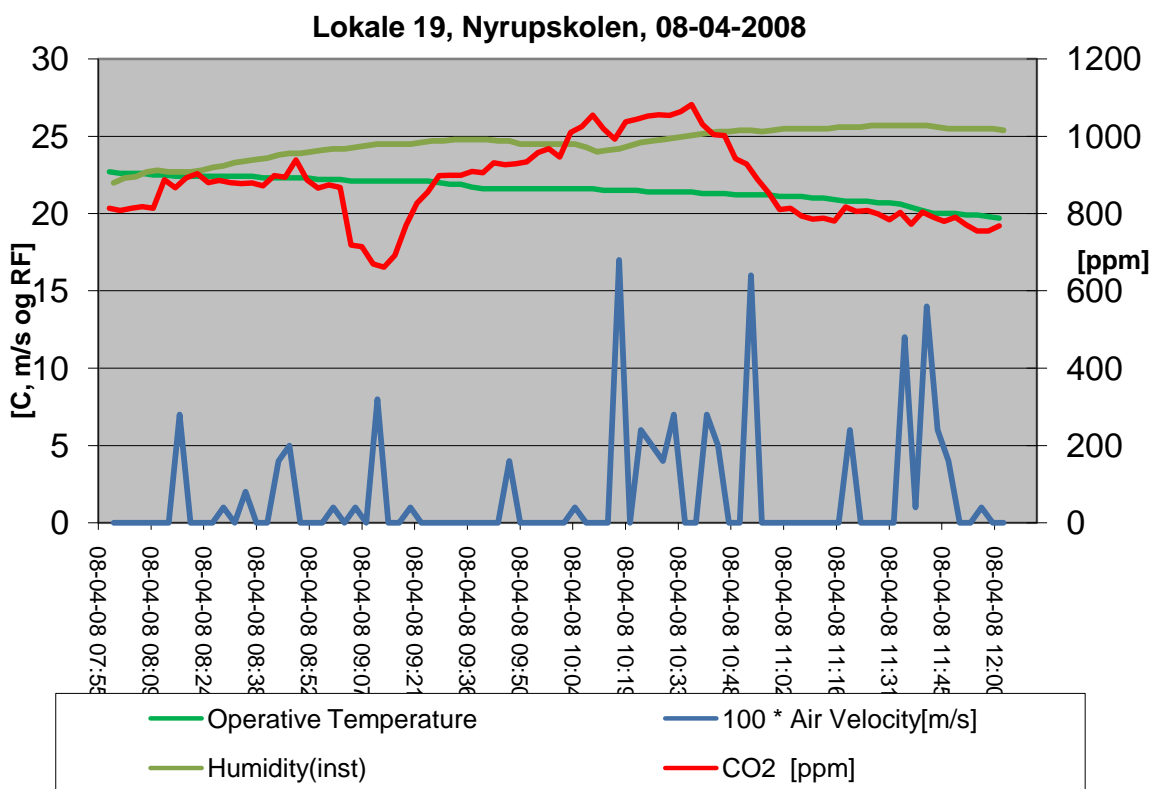
Som det fremgår af ovenstående tabel overholder indeklimaet i måleperioden for lokale 19 i alle tilfælde kategori C (markeret med gult), hvilket er acceptabelt med de pågældende installationer taget en mente, men absolut ikke at anbefale.

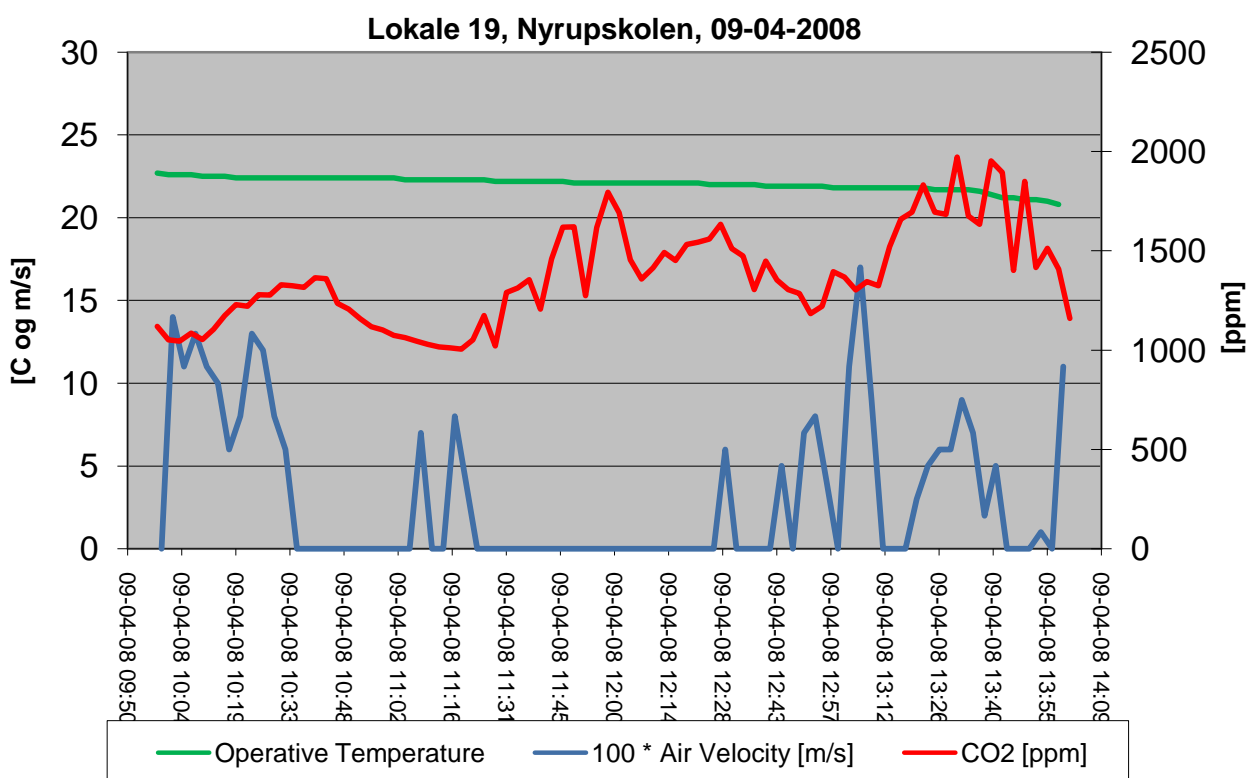
Temperaturen i lokalet er en smule lav – det kan dog diskuteres om man skal vurdere efter vinter- eller (som valgt her) sommer-kategorierne. Hvis vi havde valgt at vurdere efter vinterskalaen, er temperaturen tæt på optimal, også efter Arbejdstilsynets anbefalinger.

Der er ingen trækgener, hvilket bl.a. skyldes at indblæsningstemperaturen er høj i måleperioderne (over 25 °C), og det ikke er koldt udenfor (hvilket kunne have resulteret i kolde flader med kuldenedfald og træk til følge).

Den gennemsnitlige CO<sub>2</sub>- koncentrationen ligger i lokalets brugstid på henholdsvis 876 ppm og 1369 ppm de to dag – men stiger én af dagene til 2000 ppm, hvilket er alt for meget. Den høje CO<sub>2</sub>-koncentration kan iht. SBI-rapport 199 give anledning til øget risiko for hovedpine og træthed, samt mindske koncentration og indlærings-evnem. Af røgprøver samt CO<sub>2</sub>-målingen fremgår det yderligere at der ikke kommer tilstrækkelig friskluft ned i opholdszonen pga. ringe ventilering.

Det skal bemærkes at måleperioden ikke var en varm periode, hvorfor det med rimelighed kan antages, at temperaturerne er højere i årets varmeste perioder. Omvendt kan det tænkes, at eventuelle problemer med kuldenedfald og trækgener forværres i den koldere del af året.





### Lokale 13, ældre del, NV (lidt solbelastet) og lokale 18, nyere del, SV (middel solbelastet)

#### Solindstråling og temperatur i opholdszonen

Solindstrålingen i lokale 18 er to dage i måleperioden middel belastende (ca. 300 w/m) og højt belastende (over 500 w/m) – ellers er solindstrålingen ikke belastende i måleperioden. Temperaturen ligger på 23-25 °C i opholdszonen 1,1 m over gulv, og temperaturniveauet i de to dage der er solindstråling, er ikke forskellig fra de dage hvor der ikke er nogen solindstråling.

Temperaturen i opholdszonen svarer til kategori A/B, hvilket er tilfredsstillende. Temperaturniveauet er dog alligevel højere end hvad der betragtes som det optimale temperaturniveau ved let fysisk aktivitet som fx i skoler, nemlig 20-22 °C.

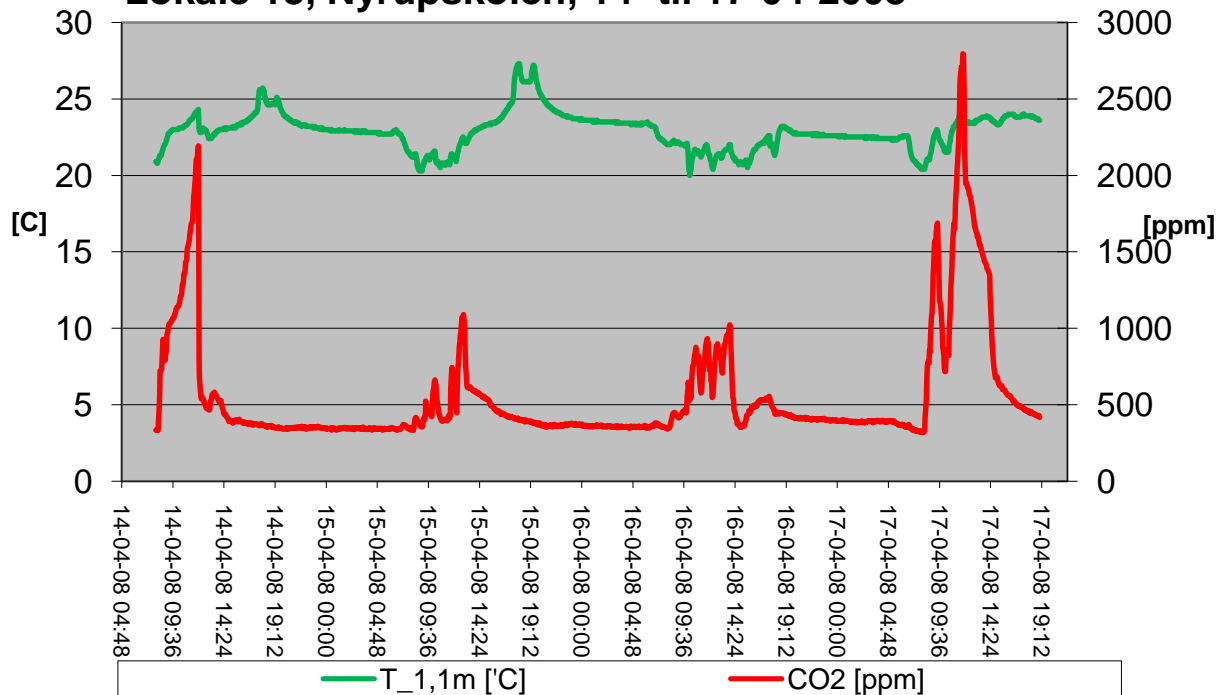
#### CO<sub>2</sub>-koncentration

CO<sub>2</sub>-niveauet i lokale 13 ligger på ca. 1000 ppm i brugstiden i 2 af de 4 måledage, hvilket er et tilfredsstillende niveau. De to andre dage kommer CO<sub>2</sub>-niveauet dog helt op på hhv. 2000 ppm og 2500 ppm, hvilket er et meget højt CO<sub>2</sub>-niveau og har stor indflydelse på elevernes koncentrationsevne i en undervisningssituation.

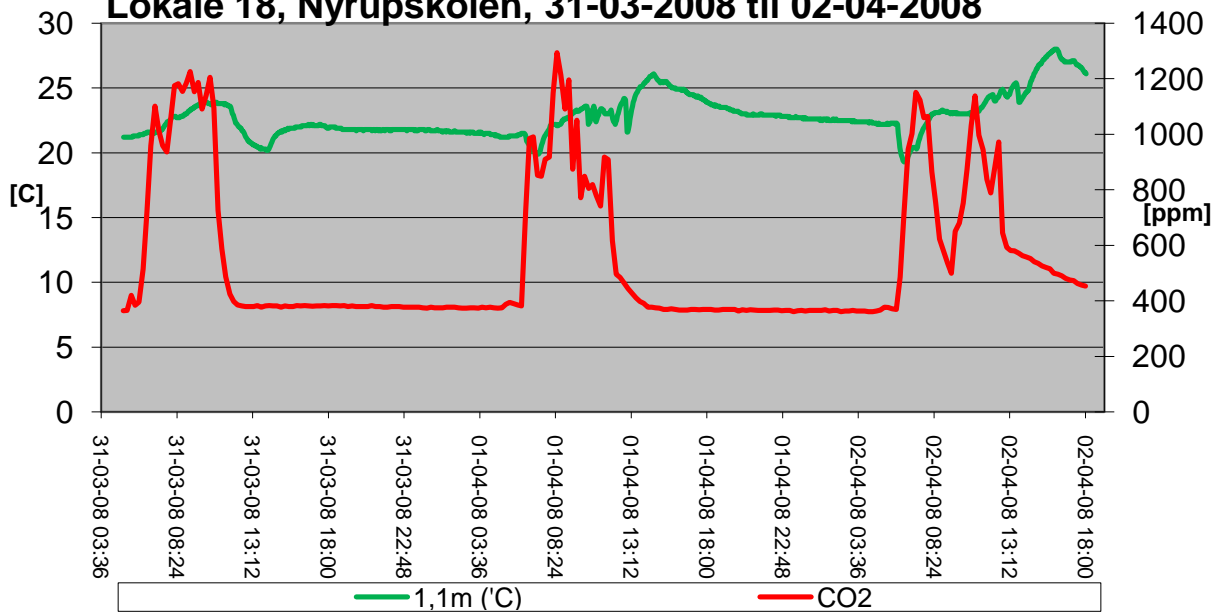
I lokale 18 er billedet det samme. I 3 ud af 4 måledage kommer CO<sub>2</sub>-niveauet op på ca. 1500 ppm, hvilket er kritisk, og den sidste dag er CO<sub>2</sub>-niveauet over 2500 ppm, hvilket betyder at ventilationen er utilstrækkelig.

Grunden til det høje CO<sub>2</sub>-niveau er en ringe opblandingen af friskluften og tilførsel af friskluft. I lokale 13 kommer "friskluften" fra gangen, hvor det må formodes, at CO<sub>2</sub>-niveauet er højere end udeluftens niveau på ca. 380 ppm.

### Lokale 13, Nyrupskolen, 14- til 17-04-2008



### Lokale 18, Nyrupskolen, 31-03-2008 til 02-04-2008



#### Sammenfatning

Det atmosfæriske indeklima på Nyrupskolen er ikke tilfredsstillende. CO<sub>2</sub>-niveauet er generelt for højt, og det overstiger ofte 2000 ppm, hvilket ifølge Arbejdstilsynet indikerer en utilstrækkelig ventilation. De høje CO<sub>2</sub>-niveauer svækker koncentrationsevnen i en undervisningssituation.

Den operative temperatur er (når man ser på gennemsnitstemperaturen over dagen) acceptabel iht. gældende standarder. Dog er den i henhold til Arbejdstilsynets anbefalinger til tider for høj. Der er i mindre udstrækning problemer med træk, da det kun er i korte perioder at lufthastigheden kommer over 0,15 m/s, og ifølge skema-planen er det hovedsagelig i pauser, hvor døre og vinduer typisk åbnes. Eftersom måleperioden hverken var en varm eller en kold periode, er det dog sandsynligt at temperaturerne er højere i årets varme perioder, ligesom det kan tænkes, at der i den kolde periode kan opstå problemer med træk.

# Bilag 3 – Tilbud fra PRO VENT A/S på forbedring af ventilering på Nyrupskolen

Teknologisk institut  
Energi, Ventilation og Proces  
Gregersensvej

Att.: Christian G. Nicolaisen

Rødovre, den 20. maj 2009

---

**Vedr.: Overslag Nyrup skolen**  
**Entreprise: Ventilation**  
**Vort tilbud nr.: 09-1039B**

---

Vi har med tak modtaget Deres forespørgsel og har hermed fornøjelsen at fremsende overslag på ventilationen i henhold til nedenstående omfangs beskrivelse.

## **Overslags pris 1. andrager:**

Levering og montering af 2 ventilations anlæg for ca. 7 500m<sup>3</sup>/h pr. stk. med roterende veksler, der placeres på taget, kanaler føres til gang og pladekappe isoleres. Udsugning foretages via gangen og ny rist i hver klasse lokale, Inkl. Nye huller i væg. Indblæsning føres via kanal i gang til eksisterende huller hvor der sættes nye indblæsnings riste i væggen, Der udføres blandesløjfe for varmefflade, Automatik er inkl. **Bemærk at hovedstrøms forsyning er udenfor overslag.**

**kr. 1.200.000,00 excl. Moms**

## **Overslags pris 1A. andrager:**

Levering og montering af kanalsystem for nuværende udsugnings anlæg inkl. Nye udsugnings riste i vægge i lokaler. Indregulering og opdatering af ventilatorerne (Rens osv.)

**kr. 450.000,00 excl. Moms**

## **Overslags pris 2. andrager:**

Ny Bygning: Levering og montering af nyt ventilations anlæg for ca. 7 000m<sup>3</sup>/h med roterende veksler, der placeres i kælder hvor der nu er et indblæsnings anlæg, kanaler føres til stue etagen og samles med eksisterende kanaler i kælderen. VVS arbejde ved varmefflade inkl. Automatik er inkl. Isolering af indtag. Demontage af diverse kanaler samt 2 ventilations anlæg. Indtag hæves ca 50 cm over jord niveau. Automatik til anlæg inkl. **Bemærk at hovedstrøms forsyning er udenfor overslag.**

**kr. 400.000,00 excl. Moms**



**Overslags pris 2A. andrager:**

Ny Bygning: Levering og montering af Væske koblede batterier på nuværende anlæg, anlæg opdateres med indregulering så luftmængderne passer sammen. Inkl. Blandesløjfe og rørsystem.

**kr. 200.000,00 excl. Moms**

**Overslags pris 3. andrager:**

Lofter: Demontage af de lofter der er behov for i forbindelse med arbejder over loft i gangområder, efterfølgende sættes loftplader op igen og der males i området (Ikke hele loftet).

**kr. 100.000,00 excl. Moms**

**Overslags pris 4. andrager:**

Lofter: Demontage af lofter i gang områderne uden træ underlaget, efter vores arbejder over loft opsættes nyt 60 x 60 cm system loft op igen. **Bemærk at loftet sænkes ca. 7 cm.**

**kr. 185.000,00 excl. Moms**

**Overslags pris 5. andrager:**

Levering og montering af VAV inkl. Strøm, spjæld, co2 følere og trykstyringer til alle 3 nye anlæg.

**kr. 450.000,00 excl. Moms**

**Overslags pris 6. andrager:**

Levering og montering af Spjæld, Trykstyring og pir føler til alle 3 nye anlæg.

**kr. 200.000,00 excl. Moms**

**Udenfor vort tilbud er følgende:**

Alle bygningsarbejder, herunder alle murede og støbte kanaler, snedker- og malerarbejde, el arbejder samt evt. efterreparationer. Myndighedsgodkendelse af enhver art. Styring til varmefladen, Isolering af kanaler på tag, strøm til automatik tavle.

**Leveringstid:** I henhold til nærmere aftale.

**Leveringsbetingelser:** I henhold til AB92.

Vi håber ovenstående er som ønsket og er gerne til tjeneste med yderligere oplysninger.

Med venlig hilsen  
**PRO ventilation a/s**

Henrik Rasmussen

## Bilag 4 – Vejledning til indeklimaet i et klasselokale

Det følgende er en kort vejledning til god ventilation og indeklima i et klasselokale i en normal dansk folkeskole. De væsentligste parametre for indeklimaet er kort beskrevet, samtidig med at der foreslås til hvordan man undgår problemer med de beskrevne parametre.

Når man taler om indeklima, opdeles indeklimaet ofte i termisk og atmosfærisk indeklima. Det termiske indeklima har at gøre med temperaturen i et rum, samt hvordan personerne i rummet oplever denne temperatur (afhængig af påklædning, aktivitetsniveau, træk i rummet m.v.). Det atmosfæriske indeklima har at gøre med luftens kvalitet, forstået som luftens indhold af gasarter (fx CO<sub>2</sub>) og støv samt diverse lugtgener.

### CO<sub>2</sub>

Som beskrevet ovenfor er luftens CO<sub>2</sub>-indhold afgørende for det atmosfæriske indeklima, idet CO<sub>2</sub>-indholdet har stor indflydelse på elevens koncentration og indlæringssevne. Det er derfor vigtigt at holde CO<sub>2</sub>-koncentrationen nede på et acceptabelt niveau.

I BR08 (BygningsReglement 2008) stilles der krav om et CO<sub>2</sub>-niveau i undervisningsinstitutioner på max 1200 ppm. Arbejdstilsynet (AT) anbefaler at luftens indhold af CO<sub>2</sub> ikke bør være større end 0,1 % (1000 ppm), hvis personerne er den største forureningskilde i lokalet. Dette må siges at være tilfældet i et klasselokale. Yderligere betegnes luftskiftet som utilstrækkeligt, hvis luftens CO<sub>2</sub>-indhold overstiger 0,2 % (2000 ppm) i korte perioder af en dag.<sup>22</sup>

Ved dimensioneringen af luftskiftet betyder det at det ikke er nok at følge BR08's bestemmelser: BR2008 6.3.1.3 stk. 2 og 3.4.2 stk. 2 angående luftskiftet og arbejdsrum i undervisningsrum i skoler og lignende:

- 5 l/s pr person
- 0,4 l/s pr m<sup>2</sup> gulv

Eks.

Klasselokale: gulvareal=60 m<sup>2</sup>, højde= 3m, antal elever + lærer: 30. Dvs. at BR08's krav til at der skal være 6m<sup>3</sup> pr person er overholdt.

Jf. ventilation ståbien figur 7.13 vil en person der er i hvile eller udfører et stillesiddende arbejde udånde 0,02 (m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> / h person)

Efter BR08 krav til luftskiftet giver dette:

$$Luftskifte_{BR08} = \left( 5 \frac{l}{s} \times 30 \text{ pers} \times 0,4 \frac{l}{s} \times 60 \text{ m}^2 \right) \times 3,6 = 626,4 \frac{\text{m}^3}{h}$$

Dette giver et CO<sub>2</sub> niveau efter en time på:

$$CO_2 = \left( \frac{30 \text{ pers.} \times 0,02 \frac{CO_2}{h \text{ pers.}}}{626,4 \frac{\text{m}^3}{h}} \right) \times 1000000 + 375 \text{ ppm} = 1336 \text{ ppm}$$

Dvs. at CO<sub>2</sub>-niveauet er over på BR08's CO<sub>2</sub> grænse på 1200 ppm og næsten 350 ppm over AT's anbefalinger. Det kan endvidere diskuteres om 0,02 (m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> / h person) er for lavt sat da skoleelever godt kan have et større aktivitetsniveau end "stillesiddende arbejde".

### Temperatur

<sup>22</sup> At-Vejledning, Arbejdsstedets indretning - A.1.2 Indeklima - 3. Ventilation - 3.1 Generelt

Temperaturen i et lokale er, som beskrevet ovenfor, et af de mest afgørende parametre hvad angår det termiske indeklima. En persons oplevelse af temperaturen i et lokale påvirkes af mange forskellige faktorer – herunder solindstråling, varmeafgivelse fra personer og elektriske apparater i et lokale, radiatorer til opvarmning og naturligvis udetemperaturen. For at vurdere en persons samlede oplevelse af temperaturen i et lokale, anvendes begrebet Operativ Temperatur (OT), som sammenholder rumtemperatur med varme- eller kuldestråling fra radiatorer, vinduer m.v.:

$$T_{operativ} = \frac{(T_{middelstr} + T_{rum})}{2}$$

Hvor  $T_{operativ}$ ,  $T_{middelstr}$ . og  $T_{rum}$  er henholdsvis den operative, middelstrålings- og rumtemperaturen

Hvis den operative temperatur holdes inden for et bestemt variationsområde (afhængig af beklædning og aktivitet), og er der ingen generende lokale termiske påvirkninger, vil højst 10 % være utilfredse med det termiske indeklima, hvilket er tilfredsstillende i henhold til de gældende standarder.

Den operative temperatur anbefales at være:

- Sommer 24,5 °C ± 1,5 °C
- Vinter 22 °C ± 1,5 °C.

En del erfaringer (herunder den tidligere nævnte undersøgelse af skoleelevers præstation ved forskellige temperaturer, udført af Pawel Wargocki, DTU) viser dog, at den optimale temperatur ved let fysisk aktivitet som fx i skoler, daginstitutioner og kontorer, er 20-22 °C.

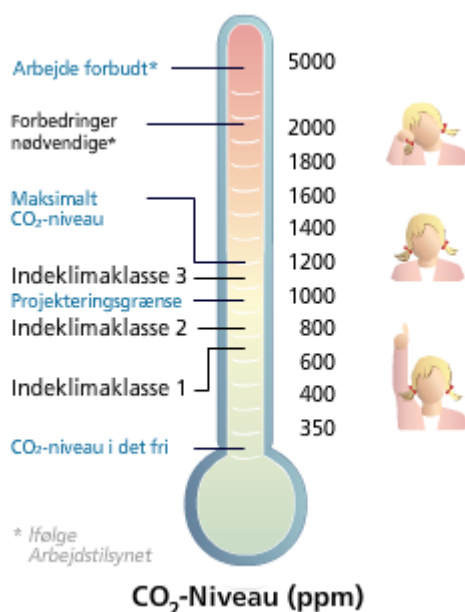
Regulering af temperaturen kan både foregå automatisk og manuelt. Automatisk styring kan foregå ved af vinduer som regulerer efter et temperatursetpunkt, afskærmning og varmekilder.

### ”Learn-o-meter”

Exhausto har som en del af en projekteringsguide for skoleventilation udviklet et såkaldt Learn-o-meter med indbygget CO<sub>2</sub>-sensor, der måler CO<sub>2</sub>-niveauet i et klasselokale. Learn-o-meteret måler CO<sub>2</sub>-niveauet i et klasselokale og illustrerer det ved lys i tre forskellige farver skala (se illustration nedenfor). Det skulle således være let for elever og lærere at følge CO<sub>2</sub>-niveauet i lokalet, hvilket giver dem en indikation af, hvornår de skal lufte ud. Samtidig fungerer Learn-o-meteret som indikator for et eventuelt behov for forbedring af skolens ventilation.

Learn-o-meteret viser på en enkel og overskuelig måde sammenhængen imellem:

- CO<sub>2</sub>-niveauet i klassen
- Børns indlæringssevne
- Indeklimakategorier iht. EN15251



Exhausto har endvidere lavet et gratis program til beregning af CO<sub>2</sub>-nivauet og en vejledning til et godt indeklima et klasselokale. Learn-o-meteret kan være et nyttigt pædagogisk redskab i processen med at skabe bevidsthed omkring indeklimaets betydning for børns indlærings.

### **Kolde flader og solafskærmning**

Et stort vinduesparti kan være til stor gene både om vinteren og sommeren.

I kolde perioder kan vinduerne være kolde flader og der kan opstå kuldenedfald. Udover kuldenedfald kan strålingsasymmetrien fra en kold flade også give utilfredsstillende oplevelse af det termiske indeklima. Om sommeren kan det hurtigt blive for varmt når solen skinner på et vindue, hvilket kan forringe koncentrationsevnen og indeklimateoplevelsen.

#### **Kuldenedfald**

Træk i et lokale kan være til stor gene for indeklimateoplevelsen. Selv om den målte temperatur og CO<sub>2</sub> niveauet er tilfredsstillende kan mange mennesker i lokale med træk føle ubehag og at det er for koldt. Store kolde flader som en glasrude en vinterdag kan skabe træk pga. kuldenedfald. Kuldenedfald er en form for termisk genereret luftstrøm, som skyldes at en lodret kold flade køler luften ned som derefter vil falde ned mod gulvet pga. af at den nedkølede luft har en højere densitet end den varmere luft som føres frem mod fladen. Når kuldenedfaldet når gulvet breder det sig langs gulvet i et stabilt lag, dette vil, udover træk, give kulde om fødderne, som har en væsentlig indflydelse på oplevelsen af indeklimaet.

For at dæmpe kuldenedfaldet placeres der ofte en radiator eller anden varmekilde under kuldeflader som til dels kan varme kuldenedfaldet op og bremse det, dog ikke altid tilstrækkeligt nok.

#### **Stråling fra en kold flade**

Erfaringer har vist at hvis personer placeres 0,5m fra et vindue en på en kold dag, så skal den operative op med 1-2 °C. Dette skyldes at mennesker er følsomme over for strålingsasymmetri forårsaget af kolde flader. Det er derfor vigtigt at elever ikke sidder så tæt på et vindue.

Kolde flader kan undgås ved skifte til gamle vinduer ud med energiruder eller installere indvendig afskærmning f.eks. i form af persiener eller gardiner.

Solindstråling kan også have en dårlig indflydelse på indeklimaet da den kan hæve temperaturen betydeligt i et lokale. Det er derfor nødvendigt at have en form for solafskærmning, i de fleste tilfælde er det en fordel at afskærmningen sidder udvendigt og det er muligt at regulere afskærmningsgraden. Det er vigtigt at der også kommer naturligt dagslys inde i lokalet, dette skal naturligvis overvejes når der bliver installeret solafskærmning.

### **Træk**

Selv om der er en lufthastighed under 0,15m/s i et lokale og temperaturen ligger mellem 20 – 22 °C så kan flere personer godt finde ubehag på grund af træk.

Træk kan opstå ved lækager i bygningen, termisk opdrift pga. kolde flader (som beskrevet ovenfor i afsnittet om kolde flader og solafskærmning) eller temperaturredifferens mellem gulv og loft, åbne vinduer og døre, for kraftig indblæsning pga. for høj indblæsningsmængde eller forkerte indblæsningsarmaturer som betyder at indblæsningshastigheden er for høj, hvis der bliver indblæst med en for lav temperatur i opholdszonen kan der også opstå trækgener.

Hvis der er trækgener i et lokale pga. af lækager i bygningen kan det undersøges ved en trykprøve eller sporgastest. Lokale trækgener kan undersøges ved målinger i kortere perioder.

### **Lugtgener**

Lugtgener er tit en stor gene i et klasselokale og kan tit løses ved simple tiltag. De værste lugtgener stammer som regel fra skraldespanden som i løbet af dagen bliver fyldt op med madrester og emballage fra mad og drikkeprodukter. Som en del af dette projekt er der taget målinger på to skoler og der blev det erfaret at dunsten af gamle madpakker i næsten alle lokaler og var med til skabe et dårligt indeklima. Hvis skraldespanden tømmes løbende i løbet af en skoledag kan de fleste lugtgener undgås, ydermere, vis det er muligt, burde skolerne selv sørge for regler om at eleverne ikke må spise i klasselokalerne.

## Bilag 5 – Måleudstyr til monitorering

### CO<sub>2</sub>- og temperaturfølere:

---

**Exhausto** har et såkaldt Learn-O-Meter, som er designet til CO<sub>2</sub>-måling i et klasselokale (se bilag 4).

Der kan købes en datalogger til Learn-o-meteret – dataloggeren kan samtidig benyttes til andre følere.

Learn-o-meter fra Exhausto – pris inkl. moms: 4500 kr.

Learn-o-meter datalogger – pris inkl. moms: 1500 kr.

---

**ABB** har to typer af temperatursensorer med de rette egenskaber til måling af rumtemperaturer i kanaler eller lokaler:

- TSBA BA R-500 er en robust, alsidig føler som både kan bruges indenfor og udenfor.
- TSBA BA R-750 er også en alsidig føler, dog kun til målinger indenfor.

For begge følere gælder det, at der er forskellige muligheder for valg af udgangssignal:

- PT 100 signal
- 4...20mA, analog signal, lineært med temperaturen.
- 4...20mA, HART protocoll (kræver en transmitter, TR04)

Dvs. at de har de rette egenskaber til dataopsamling og fjernaflæsning

TSBA BA R-500 – pris ekskl. moms: 882 kr.

TSBA BA R-750 – pris ekskl. moms: 842 kr.

---

Amun 716 KNX fra **Theben**. Ifølge forhandleren i Danmark (Gycom) foretager den en præcis måling af CO<sub>2</sub>-koncentrationen, luftfugtigheden og temperaturen i rummet. Enheden har et åbent protokol, knx, og kan derfor frit sættes op til fjernaflæsning.

Amun 716 KNX – pris ekskl. Moms: 2580 kr.

---

**Motron A/S** er et dansk firma, som producerer elektroniske sensorer. De har bl.a. leveret CO<sub>2</sub>-føleren til Exhaustos Learn-o-meter. CO<sub>2</sub>-transmitter KCD er en af Motrons produkter – den har et analogt udgangssignal og er velegnet til fjernaflæsning via datalogger.

CO<sub>2</sub>-transmitter KCD - pris inkl. moms: 2500 kr.

---

**Siemens** laver en række følere til målinger af diverse indeklimaparametre. Til CO<sub>2</sub>-måling er der bl.a. QPA2000 og PPA2060, som både måler temperatur og CO<sub>2</sub>-koncentration.

QPA2000 – pris ekskl. moms: 3700 kr.

PPA2060 – pris ekskl. moms: 4158 kr.

---

### Dataloggere:

---

**Picotech** laver bl.a. low cost-dataloggere: ADC-11/10 og ADC-11/12 er begge dataloggere, som har 11 kanaler og kan sættes op til både et volt-signal og 4-20mA signal. Forskellen på de to dataloggere er målepræcisionen der er henholdsvis 1 % og 0,5 %.

Dataloggerne kan forbindes til en computer med et tilhørende usb-kabel og et softwareprogram. Dette setup fungerer som en server, der kan sende data videre via internettet til ESCOen.

ADC-11/10 – pris ekskl. moms: ca. 1000 kr.

ADC-11/12 – pris ekskl. moms: ca. 1500 kr.

---

**TandD** har lavet en lille datalogger, Voltage recorder VR-71, som kan modtage 0-10V signal fra to følere.

VR-71 har en målepræcision på 0,5 %. Hukommelsen er på 8000 aflæsninger pr kanal – dvs. at hvis der fx samples hvert 3. minut, er der 400 timer eller næsten 17 dages historik.

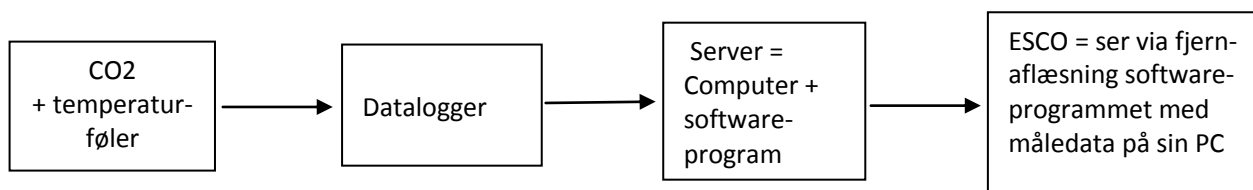
Opsætningen til fjernaflæsning fungerer på samme måde som for Picotech dataloggeren.

TandD dataloggeren forhandles bl.a. af Motron, som sælger den for: 1593 kr. ekskl. moms.

---

## **Fjernaflæsning**

Med udgangspunkt i de ovennævnte følere og datalogger kan fjernaflæsning ske på følgende måde:



Følerne har et udgangssignal på fx 0-10 V eller 4-24 mA, som via et kabel tilkobles en datalogger. Dataloggeren er placeret i et teknikrum, hvor den er forbundet med en computer. På computeren er der installeret et til dataloggeren tilhørende softwareprogram. Således kan monitoreringen foregå på computeren, som samtidig fungerer som en server, der kan videresende det hele til ESCOens computer. ESCOen kan således via internettet fjernaflæse og gemme samlede data. Det kræver dog en tilladelse til at tilkoble sig skolens internetforbindelse.

## **Trådløs løsning**

Med henblik på at mindske kabelføringen (og dermed etableringsomkostningen) ved opsætning af følere, datalogger osv., kan det overvejes om trådløs kommunikation mellem følere og datalogger/computer er en fordel. Vi vurderer dog, at der på nuværende tidspunkt ingen gevinst er at hente ved en trådløs forbindelse, da trådløs overførsel af data mellem CO<sub>2</sub>-måler og datalogger er forholdsvis dyrt og da det ydermere ikke er tilstrækkeligt gennemtestet endnu. Det kan dog ikke udelukkes, at trådløse løsninger kunne blive fordelagtige engang i fremtiden.