

## Forord

---

”Systemintegrasjon i bygg”. Nærmere bestemt Kantarellveien 10, Rudolf Steinerskolen i Lørenskog. Dette var bacheloroppgaven som ble valgt av to studenter i 3RA for å fullføre endt utdanning på Høgskolen i Oslo ved ingeniørutdanningen. Det aktuelle tidsrommet der oppgaven ble gjennomført gikk i vårsemesteret 2010 fra januar til mai.

I løpet av denne tidsperioden ble det erfart at et slikt prosjekt krever god kommunikasjon, tålmodighet og mye hardt arbeid. Veien frem til et godt sluttprodukt har vært lang og noen ganger humpete, men læringskurven og erfaringen har til gjengjeld steget i riktig retning. Med disse inntrykkene friskt i minnet er det med en viss selvsikkerhet at vi i skrivende stund kan fastslå at prosjekt er en omfattende, men god læringsmetode.

For at oppgaven skulle se dagens lys er det på sin plass at det må rettes en stor takk til overingeniør Øystein Andersen for hans bistand til innkjøp av nødvendig utstyr til dette prosjektet, samt tålmodighet og hans generelle gode veiledning. Takk til høgskolelektor Heidi Liavåg for hennes bistand til utførelsen av selve rapporten og den verdifulle veiledningen. Videre rettes det også stor takk til ekstern veileder Vidar Henning Hansen ved BSI AS for god støtte, tilbakemeldinger og veiledning under hele perioden.

Med denne rapporten ønsker vi å formidle en interessant lesning og at rapporten kan gi et godt innblikk i hva ”Systemintegrasjon i bygg” går ut på.

Oslo, 20.05.10

Jørgen S. Mathiesen

Anders Sørnes

## Innhold

Sammendrag .....	4
1 Innledning.....	5
1.1 Bakgrunn .....	6
1.2 Mål.....	7
1.3 Begrensninger.....	7
2 Teori.....	7
2.1 Systemintegrasjon i bygg.....	7
2.2 Inneklima .....	11
2.2.1 Atmosfærisk miljø.....	11
2.2.2 Termisk miljø .....	12
2.2.4 Naturlig ventilasjon .....	18
2.2.5 Varmetap i bygning .....	19
2.2.6 Andre påvirkende faktorer .....	22
2.3 Det aktuelle bygget .....	23
2.4 Fire nyoppførte bygg i Danmark.....	23
2.5 Lover, normer, organisasjoner og forskrifter .....	24
2.5.1 Arbeidsmiljøloven.....	24
2.5.2 Teknisk Forskrift (TEK) .....	25
2.5.3 Norsk standard, NS 3031 .....	27
2.5.4 Norsk standard, NS3935 .....	27
2.5.6 Smarthus guiden.....	28
2.5.7 Scanvac .....	28
3 Metode .....	28
3.1 Lysberegninger for kontor 211 .....	28
3.2 Lover, normer, organisasjoner og forskrifter .....	30
3.3 Usikkerhet ved målinger.....	30
3.4 KNX .....	31
3.4.1 Kurs.....	31
3.4.2 Oppkobling og bruk av KNX.....	31
3.4.3 Bruk av ETS 3.1 Professional.....	32
3.4.4 Oppbygning av produkt bibliotek .....	32
3.4.5 Oppretting av fysiske adresser .....	32
3.4.6 Gruppe adresser (telegramadresser) .....	33

3.4.7 Feilsøking, testing og manuell oppretting av fysiske adresser .....	33
3.4.8 Parametring av komponenter .....	34
3.4.9 Visualisering av funksjoner .....	34
3.4.10 Forbindelse mellom iPhone og KNX .....	34
3.5 Utstyrliste.....	36
4 Resultat.....	37
4.1 Valgt rom med KNX .....	37
4.2 Valgte scenarier for SFO .....	38
4.3 Valgte løsninger for alle rom .....	41
4.4 Energibruk vedrørende kontor 211 .....	42
4.5 Beregning av energibruk i tilknytning til lys .....	43
4.6 Fire nyoppførte bygg i Danmark.....	44
5 Diskusjon .....	44
5.1 Valgt rom med KNX .....	44
5.2 Valgte scenarier for SFO .....	44
5.3 Valgte løsninger for alle rom .....	45
5.4 Energibruk vedrørende kontor 211 .....	45
5.5 Beregning av energibruk ved hjelp av dimmeanlegg .....	45
5.6 Fire nyoppførte bygg i Danmark.....	46
6 Konklusjon .....	47

## Sammendrag

Denne rapporten tar for seg en helt ny skole der smarte løsninger innenfor inneklima, sikkerhet og komfort står høyt i fokus. Det er også gått dypere inn på de forskjellige løsningene, med både fordeler og ulemper. Et KNX anlegg muliggjør at komponenter fungerer sammen og det er mulig å programmere ferdige scenarier.

På skolen er det hovedsakelig to rom det har blitt valgt å integrere med forskjellige løsninger. Det ene rommet er en SFO. Her er det prosjektert oppsett for KNX og en omfattende forklaring på ferdigprogrammerte scenarier. Eksempelvis har man en "ikke tilstede"-funksjon, hvilket hjelper brukeren til å senke energibruken. Apparater som kaffetrakter blir avslått, varmekåpdraget senkes, vinduer og dører lukkes, alt dette ved et tastetrykk.

På et av kontorene er det foretatt en beregning av lys med hensyn på energibruk, dette for å bevisstgjøre sparepotensialet ved klokere energibruk og utnytte dagslyset. Her kan også solvarmen utnyttes ved oppvarming, som igjen kontrolleres av persiener.

Innførende teori og fakta i de utvalgte rommene er skrevet og diskutert for å danne et godt helhetsbilde av de forskjellige løsningene. Det er lagt vekt på KNX, naturlig ventilasjon, inneklima, lover og forskrifter.

Problemet for et typisk norsk bygg er å kvitte seg med overskuddsvarme. Det er prosjektert naturlig ventilasjon i bygget og en innføring med strategier omkring dette. Ettersom dette er et bygg som ikke er tatt i bruk i skrivende stund, er kun lysmålinger utført. Resultatene ble vurdert opp mot lover og forskrifter slik at alle løsninger bidrar til å skape et best mulig inneklima. Rapporten avslutter med å konkludere at det ikke er vanskelig og oppnå et lavt energiforbruk, vanskeligheten er og samtidig oppnå et godt inneklima. KNX delen konkluderer i at komforten høynes og det vil være enkelt å foreta endringer.

## 1 Innledning

I disse dager rettes det mye fokus på miljø og energibesparing rundt omkring i hele verden. Ved prosjektering av nye bygg, påbygning eller renovering av eksisterende bygg dukker til stadighet ordet miljø opp under hele prosessen. Det settes spesielt stor fokus på skoler grunnet en rekordvekst av antall barn i grunnskolen. I løpet av den neste ti-årsperioden forventes det en vekst på hele 12.500 elever bare i Oslo-området. Rudolf Steinerskole i Lørenskog er en av skolene som satser stort på nemlig miljøet.

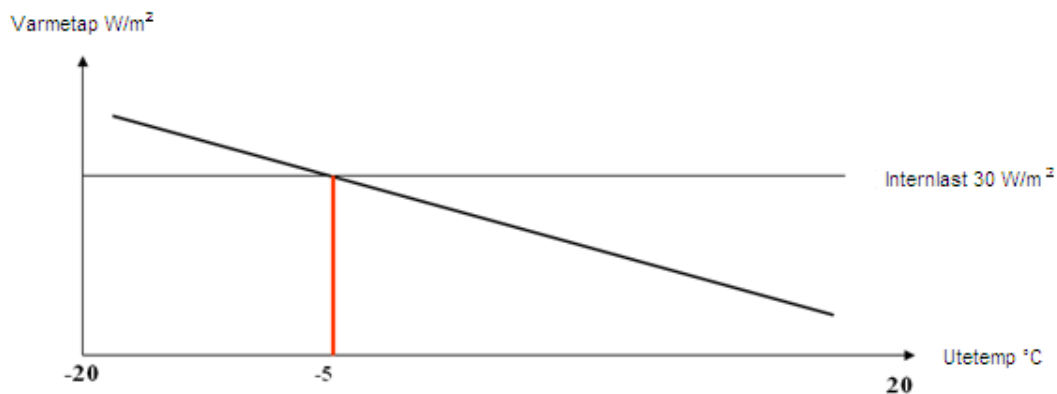
Steinerskolen er en skole som ser på alternative løsninger og er ikke en livssynsskole slik som mange andre privatskoler i Norge, men et pedagogisk alternativ til den offentlige skole. Hvert klasserom har sin egenart og et læringsmiljø som er harmonisk tilpasset barnas og de unges utviklingsbehov på de ulike alderstrinn. I læringsplanen er alt det obligatoriske innholdet som forventes fra det offentlige skoleverk, men det innlæres på en alternativ måte. Uansett læringsform er det en nødvendighet at det termiske og atmosfæriske miljøet er tilfredsstillende for at elevenes konsentrasjons- og ytelsesevne skal fungere gjennom en lang skoledag. I en artikkel om Rudolf Steinerskole står det at den bærende idéen er troen på det enkelte menneskes uendelige muligheter. Det passer veldig godt inn med utviklingen av det fjerde bygget, nemlig med uendelige muligheter. Med det menes smarte og nytenkende løsninger for å spare miljøet, spare energi, øke komforten og ta vare på sikkerheten. Dette kalles smarthus.

Formålet med dette prosjektet er å benytte seg av løsninger som smarthus står for. I korte trekk vil det si at en smarthusenhet sender og mottar informasjon og fungerer som en liten PLS (programmerbar logisk styring). Dette for å tilpasse løsninger for å få den mest optimale tilværelsen for de forskjellige bruksområder. Her settes det spesielt stor fokus på naturlig ventilasjon, komfort, sikkerhet og et godt inneklima. Ved f. eks sommerdager når solen er meget sterk, hvorfor ikke benytte seg av persiener der lamellene er vinklet slik at sollyset sendes direkte i taket? Det vil automatisk stenge mye av solvarmen ute, samtidig at energibruken blir lavere ved å begrense bruken av kunstig belysning. En annen løsning er motoriserte vinduer som åpnes automatisk og kjører en lufting hvis CO<sub>2</sub> nivået skulle overskride den gitte grense. Her gjelder det å tenke alternativt gang på gang for og skape et godt inneklima.

Høgskolen i Oslo har i denne sammenheng engasjert to energi- og miljøstudenter til å prosjektere det fjerde påbygget til Rudolf Steinerskole. Rapporten skal kunne vise et intelligent og moderne bygg som har miljø, komfort og sikkerhet i fokus samt sørge for en tilfredsstillende hverdag til brukerne av skolen som elever, lærere og administrasjon. Prosjektet vil berøre faktorer som omhandler den teoretiske delen av en slik prosjekteringsfase.

## 1.1 Bakgrunn

Før oppstart av oppgaven hadde gruppen i bakhodet at dette skulle bli et bygg med bygningsintegreerte og automatiserte løsninger innenfor ventilasjon, varme, lys og belysning. Først og fremst for optimalt innemiljø og energibruk, men også løsninger som skulle bidra til å forenkle hverdagen til både ansatte og elever ved Rudolf Steinerskole. Valg av riktig materialer og plassering av komponenter har en viktig rolle for å bidra til et godt innemiljø og økt komfort. Fra tidligere kjente gruppen til en del bygninger hvor det var installert bygningsintegreerte og automatiserte løsninger og hadde dermed mange ideer. Hva slags løsninger kan en SFO trenge? Hva er viktig å ta hensyn til overfor elever og brukervennlighet? Hvordan få smarte løsninger og samtidig bedre komforten? Dette var spørsmål som ble diskutert før oppstart av oppgaven.



**Tette bygg med minimalt varmetap "balanserer" energimessig helt ned til -5 grader.**

- Liten effekt av varmegjenvinner
- Hovedproblemet i moderne bygg er overskuddsvarme

*Figur [1.1]: Graf som viser forholdet mellom varmetap til omgivelsene og utetemperatur, der W er watt og m<sup>2</sup> er kvadratmeter.*

Grafen viser sammenhengen mellom varmetap til omgivelsene og utetemperatur. Dette gjelder med en internlast som er typisk for Norge[20]. Ut ifra figuren vises det at disse tre faktorene balanseres ved omtrent -5°C. Oppvarmingsbehovet vil da være nødvendig fra -5°C, videre nedover mot -20°C. Dette er temperaturer som statistisk sett er 2-3 måneder årlig[28]. Dermed vil dette bety at hovedproblemet for et typisk norsk moderne bygg er overskuddsvarme.

Ser man nærmere på det aktuelle bygget er dette et nytt bygg som skal stå klart sommeren 2010. Det er et bygg med store vindusflater over to etasjer som rommer blant annet SFO, kantine, lærerværelse, kontorer, arkivrom og toaletter.

## 1.2 Mål

Denne rapporten har som hensikt å kaste lys over det nyeste og mest intelligente av de fire byggene som Rudolf Steinerskole i skrivende stund består av. Ved hjelp av måleinstrumenter, teori, programmerte scenarier og en modell av hvordan systemet fungerer i praksis vil leseren av denne rapporten kunne forstå teknologien, både når det gjelder fordeler og ulemper, som omhandler systemintegrasjon i bygg.

## 1.3 Begrensninger

Ettersom dette prosjektet tar for seg et bygg som er under utbygging og som enda ikke er tatt i bruk, har det ikke vært mulig å foreta beregninger på det aktuelle bygget. Grunnet tidsgrense på prosjektet ble det kun valgt to forskjellige rom der det har blitt valgt å "installere" KNX-komponenter og komme med forslag til løsninger.

De nevnte rommene har blitt lysmessig kartlagt ved hjelp av luxmåler, som også har brakt med seg visse begrensninger med tanke på lysforhold og vær.

Begrensninger vi møtte på i oppgaven startet med punkt 4: "Utføre konstantlysberegninger for hele eller deler av bygget". Dette ble noe problematisk da bygget ikke er ferdig. Det ble opprettet kontakt med Jonny Nersveen som har en doktorgrad i lys. Dermed ble det bestemt i samråd med overingeniør Øystein Andersen, høgskolelektor Heidi Liavåg og Jonny Nersveen at punkt nr 4 skulle omskrives til lysberegninger for et enkelt rom.

Når det gjaldt løsninger for de resterende rommene på Steinerskolen i Lørenskog ble dette begrenset. Her bør det gås i dybden og ses på flere og andre alternative metoder for å få de mest korrekte avgjørelsene. Grunnet et begrenset tidsskjema og at oppgaven ikke innebar beregninger av de resterende rommene ble dette utelatt.

Det ble i utgangspunktet planlagt å benytte dataprogrammet Simien for og energiberegne bygget, men etter diskusjon om blant annet at Simien ikke ville gi et realistisk bilde med hensyn til naturlig ventilasjon, ble dette utelatt. I oppgaven var det heller ikke noe krav om energiberegning av bygget.

Etableringen av KNX på SFO og brukerkomponenter har vi begrenset i den forstand at det er en SFO med barn i alderen 6-13 år. Det skal dermed ikke være mulig for elevene og kunne styre disse komponentene, eksempelvis lukke vinduer opp og ned, projektorlerret opp og ned osv. Kartlegging av inneklime er heller ikke utført, da bygget ikke er tatt i bruk.

## 2 Teori

### 2.1 Systemintegrasjon i bygg

Smarthusteknologi er en samlebetegnelse for informasjons- og kommunikasjonsteknologi anvendt i boliger.

Et smarthus går ut på å forenkle hverdagen med å overvåke, varsle og utføre handlinger til de personer som skulle ønske dette ved hjelp av smarte, tekniske og moderne løsninger. Samtidig bidrar et smarthus til å gjøre boligen mest mulig energieffektivt og gi brukeren høyest mulig komfort. Det finnes enkle installeringer fra for eksempel lys som aktiveres av eller på ettersom det befinner seg folk i rommet eller ikke, til omfattende installeringer som å sende tekstmelding til komfyren hvis noen skulle ha glemt å skru den av før man dro ut. Det varierer fra enkle varmestyringer til komplette løsninger der de ulike komponentene kommuniserer med hverandre via et lokalt nettverk. Hvordan de valgte løsningene skal betjenes eller styres kan velges ved hjelp av fjernkontroll, et kontrollpanel, internett eller med brytere på veggen. I samtlige alternativer er det også mulighet for tidsinnstilling. Muliggjøring av dette skjer ved hjelp av systemintegrasjon, altså en rekke komponenter som er koblet sammen. Her er det med andre ord bare fantasien som setter grenser. [2][3]

De vanligste bruksområdene her til lands er som følgende:

### **Lysstyring**

Hovedbrytere ved utgangsdører og soverom, ferdige lysscener med tidsstyring og bevegelsesdetektorer er blant de vanligste funksjonene. Dette regnes som en naturlig del av et smarthus.

### **Varmestyring**

Riktig varmestyring uansett type oppvarming. Også mulighet for behovs- og tidsstyring som gir stort sparepotensial. Her justeres temperaturen i tråd med daglige rutiner. Med en enkel berøring spares det tid og strømforbruk da systemet har kort og presis responstid sørger for riktig temperatur til enhver tid i alle rom i boligen.

### **Enøk og miljøgevinst**

Med automatisk behovsstyring kan du spare kostnader og miljø. Ved hjelp av ur kan du bestemme nødvendig dag og nattsenkning og at ønsket komforttemperatur kun oppnås ved hjelp av hovedbrytere.

Ved å kontrollere ditt eget elektriske anlegg på en enkel og oversiktlig måte med dimming av lys og ferdiglagrede lysscener vil komforten få en høy plass i hjemmet. Samtidig kan et smarthus system registrere tilstedeværelse og personbelastning slik at energikomponentene i rommet ikke bruker mer energi enn nødvendig, som igjen bidrar til miljøgevinst.

### **Sikkerhet**

Smarthus bidrar med økt sikkerhet ved hjelp av for eksempel vannlekkasjefølere, bevegelsesdetektorer og at alle potensielle brannkilder kobles ut via hovedbrytere. Mange systemer kan også ha en bortefunksjon som fungerer ved at lys, tv el. slås av og på til ulike tider i døgnet for at huset virker bebodd.

### **Solavskjerming**

Her kan du kontrollere din valgte solavskjerming med fjernkontroll eller helt automatisk ved hjelp av følere og modulstyring. Solavskjerming brukes nødvendigvis ikke bare til å holde solen ute på varme sommerdager, men også til å holde varmen ute. Med persienner nede, vil nemlig et vindu få en lavere u-verdi enn ved oppkjørte persienner. En tilleggsfunksjon for persienner er en breddegradsmodul. Den fungerer ved at den følger soloppgang og solnedgang i forhold til lengde- og breddegrad. Denne funksjonen kan også overstyres.

### **Styring og varsling**

Det finnes utallige måter for hvordan man ønsker og kontrollere sitt smarthus. Her kan det benyttes alt fra touchpad til mobiltelefon. Alle sikkerhets og alarmfunksjoner kan varsles til de mobiltelefoner eller vaktelskap en måtte ønske.

### **Underholding**

Med smarthus kan en også styre underholdningssystemene i hjemmet, enten det bare er dvd spilleren eller hele hjemmekinoen. En av fordelene med systemet er muligheten for å forandre, legge til komponenter, endre brytere etc.

### **Kommunikasjon**

Som nevnt tidligere finnes det mange måter og kombinasjoner for hvordan man velger å kontrollere systemene. Under følger vanlige grensesnitt som benyttes:

- IR grensesnitt brukes hvis man ønsker og styre stereoanlegg og TV.
- FunkBus grensesnitt brukes hvis man vil styre anlegget ved hjelp av trådløse brytere eller radiofjernkontroll.
- Bluetooth grensesnitt brukes hvis du vil styre anlegget ved hjelp av PDA.
- Jung Facility Pilot brukes hvis man vil styre og kontrollere anlegget ved hjelp av PC.

### **KNX**

KNX er en nettverks kommunikasjonsprotokoll for intelligente bygninger og er et ledende system for alle husautomasjonsløsninger. Det er denne som gjør det mulig at smarthus kan fungere. Ved hjelp av egen busskabel, radio eller TCP/IP muliggjøres kommunikasjon mellom de forskjellige komponentene. KNX er standarden for hjem og bygningskontroll, alle komponenter med formål til bruk i et KNX system må godkjennes. [4] [5] [8]

Det finnes tre typer KNX-enheter:

- A – Automatic-mode: Enheter som tilpasser seg automatisk og er beregnet på å selges til sluttbrukere for installasjon
- E – Easy-mode: Preprogrammerte enheter som krever litt opplæring for å installere og tilpasse den enkelte bruker.

- S – System-mode: Enheter som skal programmeres for å passe i inn i skreddersydde systemer

### Binær inngang/utgang

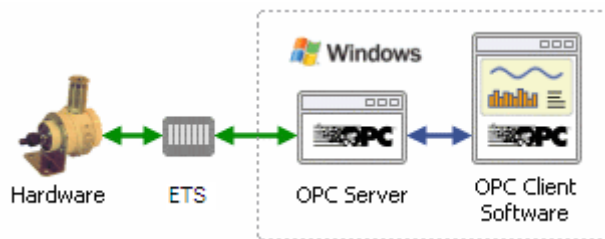
En binær inngang/utgang er bindeledd mellom KNX og et konvensjonelt anlegg, heretter kalt "pille". En "pille" har ofte flere kanaler som enkelt kan defineres som inngang/utgang.

### ETS 3.1 Professional og OPC

Bruk av KNX komponenter krever et data program til programmering. ETS 3.1 Professional er programmet som ble benyttet, heretter kalt ETS. Tilkoblingen er via USB, men kan også være trådløs eller ved en router. Selve programmeringen har blitt nøye forklart i metode kapitlet.

Programmerings- og fysiske begrensninger ligger i at det maksimalt kan være 15 områder med 15 linjer og 64 komponenter per linje. Største avstand mellom strømforsyner og komponent skal ikke overskride 350m. Totalt antall meter kabel per linje skal ikke være lenger enn 1000m.

OPC er et visualiseringsverktøy til et ferdig programmert KNX system. Her visualiseres informasjonen systemet skriver. OPC står for OLE for Prosess Control og gjør det mulig for Windows å kommunisere med KNX komponentene. En OPC finnes i en rekke forskjellige utgaver og krever en klient, en klient kan kun kommunisere med et KNX system og er avhengig av en server den får informasjonen ifra.



Figur [2.1]: oversikt KNX-system med OPC

### OpenRemote KNX

OpenRemote KNX er et program for iPhone (mobiltelefon laget av Apple), dette muliggjør styring av KNX anlegget ved hjelp av en iPhone via nettverket. Programmet som er brukt i dette prosjektet er en gratis demoversjon med en del begrensninger i forhold til fullversjonen.

### Scenarier

En av fordelene med at alle komponentene i et smarthus er koblet på samme BUS kabel, gir muligheten å programmere gitte scenarier.

Scenariene som også kalles settinger, kan være tidsstyrt, reagere ved ønsket oppnådd verdi eller kontrollert fra bryter. Et eksempel på et scenario er å ha en "ikke tilstede" knapp som kan brukes hvis bygningen midlertidig forlades. Ved å benytte denne bryteren, vil alle stikkontakter med f.eks kaffetrakter etc., lys og komfyrer bli avslått. Projektorlerret trekkes opp og alarmen aktiveres. Altså gir dett mulighet at flere komponenter kommuniserer med hverandre. Alt dette med mer er mulig å ha i en bryter.

## 2.2 Inneklima

Inneklima omfatter syv forskjellige elementer kalt "de syv søstre". Disse elementene er: Termisk-, atmosfærisk-, akustisk-, aktinisk-, mekanisk-, estetisk-, og psykososialt miljø. Disse elementene er med å påvirke inneklimaet i et bygg/rom. I dette prosjektet vil det for det meste ikke bli foretatt noen målinger av disse elementene, kun lysmålinger. Men det er drøftet omkring disse.

### 2.2.1 Atmosfærisk miljø

Atmosfærisk miljø tar seg alt som har med forurensningene fra damper, gasser, partikler og mikroorganismer. Det atmosfæriske miljøet omhandler følgende parametere:

- CO<sub>2</sub>
- CO
- Emisjoner
- VOC (flyktige organiske forbindelser)
- CPU (soppsporer)

Disse forurensningene tilføres rommene via lufting, ventilasjon eller gjennom andre utettheter. Byggforsk har utarbeidet standarder for disse verdiene som ikke bør overskrides hvis man vil opprettholde et behagelig inneklima. Ser man på karbondioksid så er grensen for konsentrasjon av denne gassen satt til ca 1000ppm. Dette er riktignok en indikerende parameter, men den er med på å sette en tydelig pekepinn på hvor godt det aktuelle rommet er ventilert og kvaliteten på luften vi puster inn. Videre har vi karbonmonoksid. Dette er en gass som kommer fra diverse forbrenningsprosesser, slik som røyking. Maksimalverdi for denne gassen i et rom er satt til 10 mg/m<sup>3</sup> (= 8,75 ppm) ved én times midlingstid. Bygningsmaterialene i bygget er også en påvirkende faktor. Her kan det forekomme utånding av flyktige organiske forbindelser (VOC). På denne verdien er det ikke satt noen øvre grense, men i Byggforsk står det nevnt man skal unngå unødvendig eksponering.

## Emisjoner

Emisjon forekommer når damptrykket i materialporene er høyere enn damptrykket i luften omkring. Når dette skjer, avgis gassene i materialet og blander seg med luften i rommet, helt til likevekt oppnås. Men dersom mengden gass blir høyere enn likevektkonsentrasjonen, kan gass bli absorbert på flater så sant de har passende egenskaper. Et lavemitterende materiale med passende absorpsjonsegenskaper kan altså oppta en gass og senere avgi denne. Det er forskjellige faktorer og egenskaper hos materialene som påvirker emisjonsprosessen, bla mengde, binding, flyktighet, fuktinnhold og temperatur. På visse materialer fører fukt til økt emisjon og soppvekst. Varme kan også gi økt emisjon. Direkte sollys kan føre til at temperaturen på en flate kan nå helt opptil femti grader. Slike temperaturer gjør at visse materialer reagerer, noe som igjen kan føre til økt emisjon. Emisjoner kommer for det meste fra overflater som vender inn mot luften i rommet. De får imidlertid også hjelp fra underlag og hjelpeprodukter som lim, avrettingsmasser, sparkel og grunninger. Disse kan også virke som en katalysator til emisjonsprosessen. [16]

Det er tre former for emisjon [17]:

- Avgassing av frie, ubundne forurensninger i materialet. Både syntetiske og naturlige materialer inneholder frie, flyktige, organiske forbindelser som kan avgis til omgiende luft.
- Bundne stoffer i materialet blir frigjort etter nedbryting på grunn av aldring, fukt e.l. Enkelte materialer kan få en akselererende avgivelse av forurensninger under levetiden ved at stoffer omdannes/nedbrytes. Eksempler er økt avgassing av formaldehyd fra fuktige sponplater, samt sterke lukter og misfarging fra fuktskadde golvbelegg.
- Avgassing i forbindelse med at «lodne» materialer absorberer forurensninger fra inneluften og deretter desorberer disse tilbake til inneluften. De fleste bygningsmaterialer kan i større eller mindre grad absorbere forurensninger fra inneluften. Absorpsjonen er avhengig av et høyere damptrykk i romluften enn i materialets porer.

Det er to hovedgrupper av stoffer som avgis i form av emisjon; gassformede og partikkelformede. Begge disse gruppene omfatter organiske og uorganiske stoffer.

### 2.2.2 Termisk miljø

Det termiske miljøet omhandler følgende parametere:

- Lufttemperatur
- Middel strålingstemperatur
- Operativ temperatur
- Lufthastighet
- Luftfuktighet
- Metabolisme, CLO og OLF

I et godt inneklima vil alle disse faktorene være tilfredstilt i forhold til vår opplevelse av et roms termisk komfort.

Det har ikke blitt foretatt målinger i termisk miljø i dette prosjektet. Når målinger skal utføres, gjøres dette også her ca 1,1 meter over gulvnivå. Grunnen til dette er at temperaturredifferansen mellom fot- og hodehøyde ikke skal være for avvikende. Dette kan medføre ubehag, samt samme årsak som lysmålingene. Er det temperaturforskjell mellom fot- og hodehøyde er kravet satt til at de misfornøyde ikke skal utgjøre mer enn fem prosent. Ser man nærmere på den optimale temperaturen ser man at den er avhengig av aktivitet og bekleddning. Ved normal bekleddning og sittende stille på en stol, har man en optimal temperatur på ca 24 grader. Men disse forholdene kan bli påvirket av utenforstående påvirkninger, slik som trekk. Dette kan forårsake en ubehagelig, lokal nedkjøling av kroppen. Men ved trekk er det viktig å huske på at det er bar hud som er mest utsatt. Lufthastigheten er altså viktig i denne sammenhengen, ettersom den er med på gi følelse av trekk. Lufthastigheten skal helst ikke overskride 0,2 m/s i nye bygninger. Her er kravene satt til at det ikke skal være mer enn femten prosent misfornøyde brukere.

I denne sammenhengen er det viktig å nevne vinduene. Ved Steinerskolen på Lørenskog er de fleste rommene utstyrt med forholdsvis store vinduer. Dette er med på å bidra til å senke middelstråletemperaturen og samtidig øke den operative temperaturen. Disse store, kalde vindusflatene kan forårsake nedkjøling én side av kroppen som kan føre til ubehag. Generelt kan forskjellige temperaturer på forskjellige flater oppleves som forstyrrende.

### *2.2.2.1 Termisk energi*

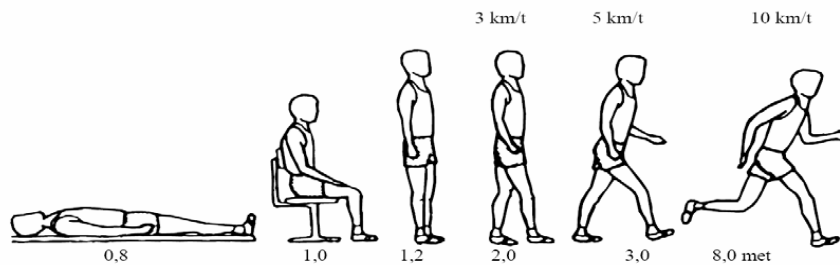
Termisk energi (indre energi) er knyttet til indre forhold i et legeme eller et system av legemer. Dette vil si energi skapt av bevegelsen til atomer og molekyler. Indre energi er en sammenheng mellom atomenes kinetiske og innbyrdes potensielle energi som kan tenkes å endre seg under termiske prosesser. Jo høyere temperatur et legeme eller stoff har, desto større er bevegelsen (den kinetiske energien) til atomene. Dette er også grunnen til at materialer og stoffer ekspanderer i takt med oppvarming.

Temperaturen til et legeme er et mål på den gjennomsnittlige kinetiske energien til molekylene/atomene i legemet. Ved det absolutte nullpunkt (0 Kelvin, -273,15 °C) har den termiske energien et minimum. Da er atomene helt i ro.[27]

### *2.2.2.2 Termisk komfort og metabolisme*

Termisk komfort er den optimale temperaturen i et rom. Dette er en følelse eller sinnstilstand der man er tilfreds med de termiske omgivelsene. Termisk komfort for et rom er avhengig av brukerne og deres aktivitetsnivå og bekleddning etc. Metabolismen i det aktuelle bygget ansees å være lav. Selv om elevene betraktes og holde et betydelig høyere

aktivitetsnivå enn gjennomsnittspersonen kan det leses ut ifra ISO 8896 at et barns metabolisme ligger betydelig lavere enn hos en voksen. Det er derfor blitt beregnet med samme metabolisme til en stillesittende gjennomsnittsperson på grunn av et høyere aktivitetsnivå hos elevene [16]



Figur[2.2]: En illustrering av de forskjellige aktivitetsnivåene. [16]

Under følger to viktige punkter om metabolisme:

- Energiomsetningen avhenger av den fysiske aktiviteten og angis i enheten  $W/m^2$ , eller den relative enheten *met*.
- 1 met tilsvarer  $58 W/m^2$ , dette tilsvarer aktiviteten for en stillesittende, avslappet gjennomsnittsperson. Dette nivået vil bli det samme for elevene, da de vil holde et betydelig høyere aktivitetsnivå. [16]

### 2.2.2.3 PMV- og PPD-indeks

For å oppnå termisk komfort kreves totalt fravær av lokalt termisk ubehag. Dette innebærer temperaturforskjeller lokalt på kroppen. Dette vil for eksempel da være opplevelsen av trekk på åpen hud, stor temperaturforskjell mellom hode og føtter samt strålingsutveksling mellom kropp og overflater der temperaturredifferanse er stor. Det er ikke mulig å oppnå et inneklima som tilfredsstillende alle. I ethvert tilfelle vil det være en ventet andel misfornøyde (PPD-indeks). PPD-indeksen viser til den prosentvise andelen av brukergruppen som vil være misfornøyd med et roms termiske inneklima med gitt beklledning og aktivitet. PPD-indeksen kan regnes ut i fra ventet gjennomsnittelig vurdering (PMV-indeks) som viser en gruppe personers vurdering av rommets termiske inneklima basert på en syvtrinns skala fra kaldt til varmt. Det er ikke mulig å oppnå en PPD-indeks under 5 %.

Betingelsen for å oppfylle og opprettholde termisk komfort i kroppen, innebærer at kroppens kjernetemperatur og overflatetemperatur er termisk nøytral. En annen betingelse er at produsert varme må være lik avgitt varme til omgivelsene.

### 2.2.2.4 Operativ temperatur

Operativ temperatur er et temperaturmål som kombinerer effekten av lufttemperaturen og strålingstemperaturen fra omgiende flater i et rom. Den operative temperaturen er et mål på inneklimaet i forhold til varmekomfort i sin helhet. I denne sammenheng er luftfuktighet og lufthastighet neglisjerbart. En god operativ temperatur vil være mest mulig lik

lufttemperaturen. [17] Dersom lufthastigheten er lavere enn 0,2 m/s, teoretisk 0,0 m/s, eller når differansen mellom lufttemperaturen  $t_1$  og middelstrålingstemperaturen  $t_{str}$  er mindre enn 4°C, kan operativ temperatur  $t_0$  regnes som gjennomsnitt av disse etter formelen:

$$t_0 = \frac{(t_1 + t_{str})}{2} \quad (1)$$

*Formel [2.4]: Beregning av operativ temperatur, der  $t_0$  er operativ temp,  $t_1$  er lufttemp og  $t_{str}$  er strålingstemp.*

### 2.2.2.5 Kaldras

Blir luft avkjølt av en flate, f. eks vindu vil det oppstå kaldras. Årsaken til kaldraset er at den nedkjølte luften er tyngre enn luften forøvrig i rommet og vil dermed "rase" nedover. Hvor mye kaldras som vil oppstå varierer med høyde, størrelse og overflatetemperatur på vinduet. Luften vil synke hurtigere ved høyere og kaldere vindu.

Et bevis på god isolering vil være ved høy luftfuktighet og lav natt-temperatur at det forekommer utvendig dogg og rim på rutene. Dette krever en lav u-verdi på vinduene. [33]

Kaldras kan motvirkes ved plassering av varmekilde under vindu. Ved luftpassering gjennom eller rundt ovnen vil luften bli oppvarmet. Den oppvarmede luften vil bli lettere enn romluften, stige opp og blande seg med kaldraset. [34]

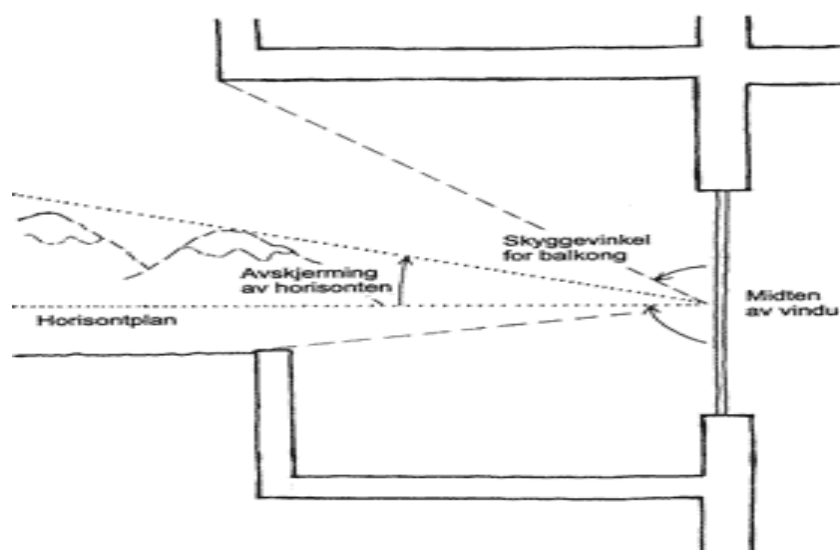


*Figur [2.3]: Illustrasjon av kaldras fra Enova. [33]*

### 2.2.3 Aktinisk miljø

Aktinisk miljø omhandler all form for stråling som kan forekomme i et rom.

Et aktuelt tema i dette prosjektet er dagslys. Her er det interessant å se på daglysfaktoren. Dette er belysningen på et horisontalt plan inne i rommet, i prosent av lyset på en utendørs horisontal flate med uskjermet horisont. I denne sammenhengen må vi se på kravene for rom med varig opphold, eksempelvis klasserom. I teknisk forskrift står det beskrevet at rom med varig opphold skal ha tilgang på dagslys når dette kreves. Dette kravet er oppfylt hvis daglysfaktoren er minst én prosent. Måten man går frem på er at man måler flere steder i rommet hvor det er naturlig å oppholde seg. Målingene utføres, som tidligere nevnt 1,1 m over bakken. Etter at målingene er gjennomført regner man ut gjennomsnittet og deler på målingen utendørs.



Figur [2.4]: Illustrasjon av skjerming/skyggevinkelet for et vindu.

Her er det viktig å huske på at glassarealet må være minst ti prosent av gulvarealet. Hvis bygninger eller terreng skjerner mer enn tyve grader over et horisontplan gjennom midten av vinduet, må dagslysflaten økes. Se [figur 2.5]

Kravene til lysforholdene på en arbeidsplass er spesifisert i NS-EN 12464-1. Dette er den europeiske standarden for lysforhold. Forholdet mellom lux-verdien i arbeidsområdet og i de nære omgivelsene skal ikke være mindre enn forholdet 2:3. Forholdet mellom lux-verdien på arbeidsområdet og den minste luxverdien bør ikke være mindre enn 1:5. På f.eks pulten i et klasserom skal forholdet mellom den laveste belysningsstyrken og middelbelysningsstyrken være mindre enn 0,5. Belysningsstyrken i klasserom skal ligge på ca 500 lux.

Daglysfaktoren gir en god beskrivelse av tilgangen man har av daglys innendørs. Den tar for seg både vindusåpninger og geografisk plassering av bygget. [31][32]. Denne beregnes etter formelen:

$$\overline{DF} = \overline{DF}_0 \cdot K_{\text{nedenfra}} \cdot K_{\text{ovenfra}} \quad (2)$$

#### Formel [2.5]

- $\overline{DF}$  er gjennomsnittlig dagslysfaktor
- $\overline{DF}_0$  er gjennomsnittlig dagslysfaktor uten skyggeeffekter
- $K_{\text{ovenfra}}$  er faktoren som angir skyggevirkingen av balkongen
- $K_{\text{nedenfra}}$  er faktoren som angir skyggevirkingen av lysgrav, støttemur eller avskjermet horisont

#### 2.2.3.1 Lys generelt

Lyset er det medium som formidler all visuell informasjon. Lysets forskjellige virkemidler er lysstyrke, luminansfordeling i rommet, blending, reflekser, lysetes regulerende evne og varmt/kaldt lys. [31]

#### 2.2.3.2 Dagslysfaktor

Dagslysfaktoren er definert som målt horisontal belyningsstyrke uten bruk av kunstig lys på et arbeidsplan inne i rommet i prosent av tilsvarende belysning på en horisontal flate ute ved fri horisont. Denne faktoren kan regnes ut enten manuelt eller ved hjelp av EDB-programmer.

#### 2.2.3.3 Daglysets egenskaper

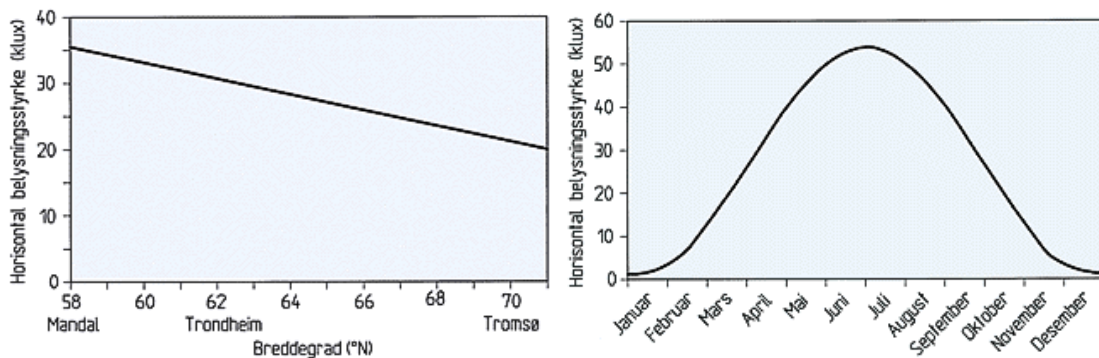
Daglys er elektromagnetisk stråling fra solen. Lyset som er synlig for oss mennesker har bølgelengde på mellom 380 – 760 nm. Øyet har en maksimal oppfatningsevne ved daglys i forhold til kunstig lysning belysning. [31]

Mennesket er helt avhengig av solen som varmekilde. Lysets stimuli aktiverer også kognitive prosesser i hjernen.

Solen varmer helt fra nedre grense for synlig lys og ned til radarstrålene. Varmen som kommer fra solen kan være et problem relatert til energibalansen i en bygning. Ideelt sett bør en bygning slippe varme inn når den trenger det, og holde den ute hvis det ikke er nødvendig.

Generelt varierer daglyset ved årstider, døgnvariasjoner, geografisk plassering og værvariasjoner. Dette vil, grunnet store variasjoner føre til behov for tillegg av kunstig belysning og muligheter for beskyttelse av blending og mot varmestråling. [31][32]

Den geografiske plassering gjør at lysforholdene vil variere med årstiden og er også avhengig av breddegraden. Figur[2.6] viser tilgjengelig lys ved den 66° N breddegrad. Tilgangen på lys varierer også mye i løpet av året. Som det vil gå frem ifra [figur 2.6] vil desember ha den laveste solhøyden, og juni den høyeste.



Figur [2.5]: Horizontal belysningsstyrke. [32]

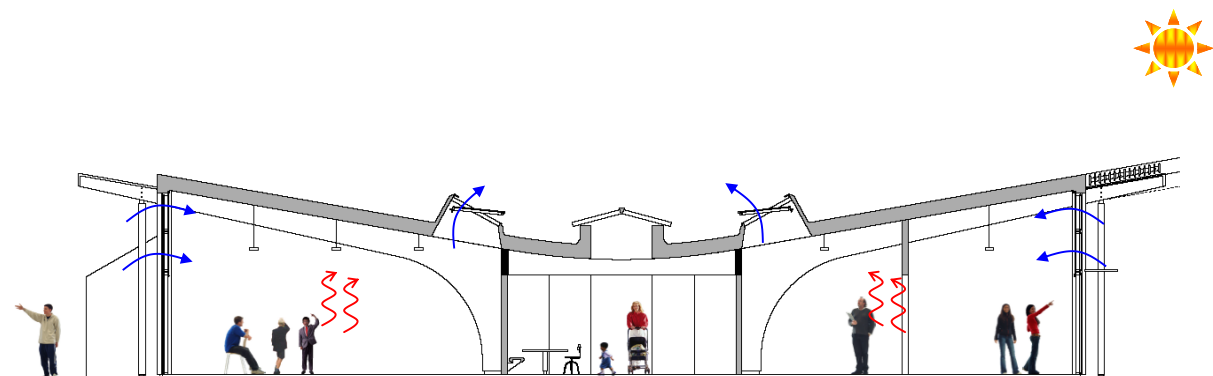
Variasjoner i daglys relatert til tid på døgnet og værforhold er også en viktig faktor. De største variasjonene er logisk nok mellom dag/natt, og mellom klart vær/lettere skydekke.

Summen av daglyset og den elektriske belysningen skaper det visuelle arbeidsmiljøet. Det er i hovedsak daglyset som gjør dette. Elektrisk belysning skal brukes hvis det ikke er tilstrekkelig tilgang på daglys, eller aktiviteten som skal utføres krever et spesielt lysbehov. [32]

### 2.2.4 Naturlig ventilasjon

Prinsippet med naturlig ventilasjon er at bygget/rommet skal kunne forsyne seg selv med luft uten form for mekanisk ventilasjon. Drivtrykket blir bestemt ut ifra temperaturdifferanse mellom inne/ute og høyden mellom innløp/utløp.

Ved naturlig ventilasjon vil det som regel være høyere under taket, siden det baserer seg på oppluftsprinsippet. Ofte blir det også plassert ovner under vinduene, kald luft synker og blir varmet opp av ovnen igjen og den stiger. På denne måten blir all luften blandet. Fordelen ved naturlig ventilasjon er at det er billig, støyfritt og det kreves ikke noe særlig vedlikehold. Ulemper er trekk, temperaturavhengighet og det er i dag vanskelig å oppfylle dagens forskriftskrav. [15]



Figur [2.6]: Naturlig ventilasjon.

### Ventilasjonsstrategi:

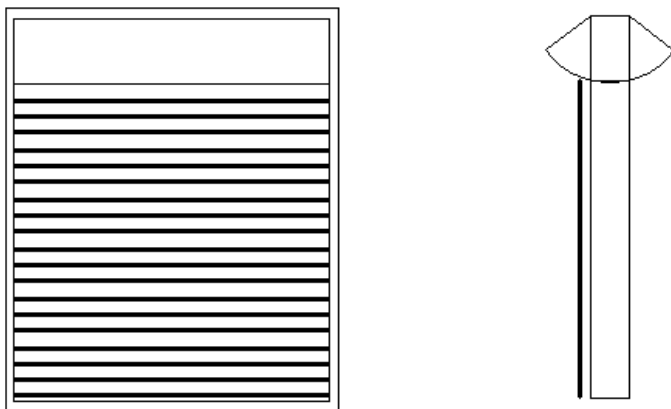
Bruker og entreprenører vil med naturlig ventilasjon hovedsaklig oppnå tilfredsstillende inneklime, men samtidig holde energibruken nede.

Ved naturlig ventilasjon stilles, som tidligere nevnt krav til blant annet utforming, materialvalg, overflatebehandling og plassering av radiatorer. I bygg med naturlig ventilasjon vil takhøyden være utformet noe høyere enn tradisjonelle bygg. Dette for å oppnå full effekt av luftens naturlige strømminger. Med naturlig ventilasjon vil brukeren bli nødt til tider å akseptere høyere CO<sub>2</sub>-konsentrasjon enn anbefalingskravene. Strategien for ventileringen kan f. eks være en pulslufting hver time og ekstra luftinger ved behov.

En rekke forskjellige faktorer spiller inn, har gått nærmere inn på noen av disse:

Materialvalg og overflatebehandling har stor innvirkning, det finnes materialer som er kapable til å holde på kulde/varme avhengig av hva som er mest gunstig.

Solavskjerming benyttes ikke kun med formål for å skjerme for sollys, men også for å holde varmen ute. Persienner gir en lavere u-verdi på vinduene som kan holde varmen fra solen ute men samtidig slippe inn noe sollys. Utforming av vindu kan gjøre det mulig å skjerme en del av vinduet (som oftest den største og nederste, mens en liten spalte kan gi lys og luft inn). Illustrert på [figur 2.7]



Figur [2.7]: Illustrasjon av vindu fra forskjellige vinkler, utarbeidet av gruppen. Illustrasjon til høyre viser mulighet for åpning av øverste del.

## 2.2.5 Varmetap i bygning

### 2.2.5.1 Kuldebro

En kuldebro er punkter i et byggs konstruksjon der isolasjon er delvis eller fullstendig utelatt. Kuldebroer oppstår også på steder der konstruksjonen ikke tillater noe plass til isolasjon eller

der det er homogent materiale gjennomgående i konstruksjonen. Dette kan for eksempel være i stender- og bindingsverk, i hjørner og spesielt i konstruksjonen rundt et vindu.

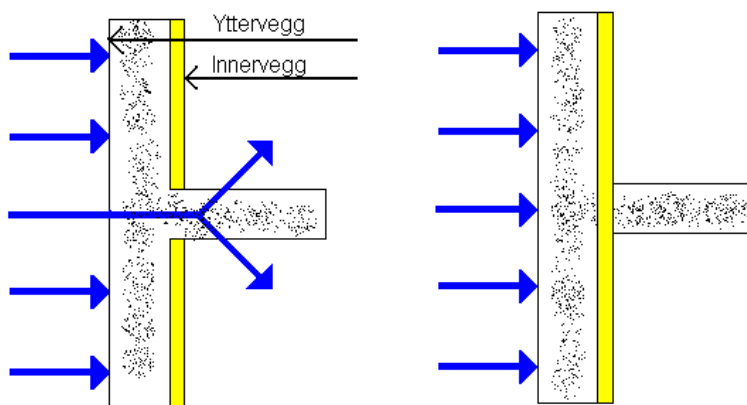
Grunnen til at kuldebroer bør unngås, er at det vil føre til varmetap gjennom deler av konstruksjonen. Det vil skje ved varmeledning i et uisolert, fast materiale fordi det har en vesentlig høyere tetthet enn forskjellige typer isolasjon og luft. Videre vil konveksjon føre til at det nedkjølte materialet kjøler luften inne. Mange kuldebroer i et bygg vil da kunne være med på å gjøre energibruket høyere enn byggets potensial. Økonomisk sett vil det også være uheldig med tanke på økte utgifter til oppvarming og drift av det aktuelle bygget.

Et annet problem med kuldebroer er risikoen for kondens. Kondens oppstår når inneluft med et gitt fuktinnhold kjøles ned tilstrekkelig på kalde flater. Det kan også forekomme kondens på skjulte områder i bygget. Luftfuktigheten er vesentlig med tanke på kondens. Høyere luftfuktighet, desto høyere er risikoen for kondens. På steder med mye kondens kan det forkomme vekst av muggsopp som igjen kan føre til økt helserisiko. [29]

Kuldebroer i bygninger kan kartlegges ved termografering av potensielle deler av konstruksjonen. De mest vanlige stedene vil være alle materialoverganger/skiller, hjørner, vinduer og dører. Kuldebroverdien  $\psi''$  beregnes ut ifra summen av alle kuldebroene og gir oss samlet kuldebrotap i et bygg:

$$\psi'' = \frac{\sum \psi \cdot l}{BTA} \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \quad (3)$$

Formel [2.3]: Beregning av samlet kuldebro tap i et bygg. Hvor  $\psi''$  er kuldebroverdien.



Figur 2.8: Eksempel på Kuldebro, Kald luft (piler) trenger inn i boligen via betongen (venstre side). Ved riktig isolering (høyre side) stoppes kulden fra å trenge inn i boligen. (laget av gruppen)

### 2.2.5.2 Varmekapasitet

I termodynamikkens 1.hovedlov heter det at "energi verken kan oppstå eller forsvinne, men bare gå over til en annen energiform av samme eller lavere kvalitet." Det finnes tre forskjellige former for energi. Disse er; termisk energi, Kinetisk energi (bevegelses energi) og potensiell energi.

Varmekapasitet er et materiales evne til å lagre varme. Tunge bygningsmaterialer som tømmer, mur/betong og tegl har høy tetthet og holder godt på varme. Slike typer materiale avkjøles dermed sakte når oppvarmingen slås av. Til gjengjeld tar det lenger tid å oppvarme disse materialene. Et bygg av bygningsmaterialer med god varmekapasitet vil lettere kunne ha en stabil temperatur og blir ikke så lett påvirket av plutselige og store svingninger i utetemperaturen. Slike materialer vil da for eksempel bidra til at en bygning vil føles sval om sommeren da store deler av solenergien lagres i bygningsmassene. [30]

Den spesifikke varmekapasiteten er et mål på varmeenergien som må til for å heve temperaturen til et stoff eller materiale med en grad. Det er tre typer spesifikke varmekapasitet:

- Massespesifikk varmekapasitet
- Volumspesifikk varmekapasitet
- Molspesifikk varmekapasitet

Dette vil si et stoffs spesifikke varmekapasitet i forhold til henholdsvis masse, volum og molmengde. Spesifikk varmekapasitet er en egenskap til selve stoffet og har ingen sammenheng med størrelse, mengde eller form. Alle stoffer, både grunnstoffer og kjemiske bindinger, har sin egen spesifikke varmekapasitet. [30]

### 2.2.5.3 U-verdi og varmetap

U-verdien eller varmegjennomgangskoeffisienten  $[\frac{W}{K \cdot m^2}]$  er et uttrykk for den mengde varme som passerer en kvadratmeter av en konstruksjon pr tidsenhet med en temperaturforskjell på en grad celsius mellom de målte sidene. U-verdien er ikke entydig. Den kan beregnes og måles på flere vis. U-verdien kan si noe om konstruksjonen som en helhet, men også eventuelle randsoner, eller bare midtsonen på en bestemt glassenhet. Skal man sammenligne U-verdien for to forskjellige konstruksjoner er det viktig å ta utgangspunkt i de samme måleområdene og materialene man måler for at sammenligningen skal bli korrekt. U-verdi brukes spesielt ofte til å angi varmeisolasjonen til et vindu. De nye forskriftene fra 2007 krever en U-verdi på 1,2 på vinduer. U-verdien er ikke et entydig mål og kan beregnes på forskjellige måter. U-verdi er en tilpasning til ISO-standard av det som tidligere ble kaldt k-verdi. For hver tiendel vinduets U-verdi reduseres, får du en årlig energibesparelse på 10 kWh per m<sup>2</sup> vindusareal. [13]

Et annet sentralt tema rundt varmegjennomgangen er varmetapet selve veggen står for. I slike tilfeller er det vanlig at man ikke kjenner temperaturen på de to respektive sidene av

veggen, men kun temperaturen på selve veggen. Det er flere formler som tas i bruk i en slik sammenheng, men her skal det kun trekkes frem to:

Varmeledning gjennom vegg:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot A \cdot t_{v1} - t_{v2} [W] \quad (4)$$

*Formel [2.4]: Beregning av varmeledning gjennom vegg. Hvor  $\lambda$  er varmeledningsevnen,  $A$  er areal,  $\delta$  er og  $t$  er temperaturer.*

Skulle den aktuelle veggen kan ha flere sjikt og man er ute etter u-verdien må denne formelen anvendes:

$$u = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \sum \cdot \frac{1}{\frac{k_{luft}}{k}} + \sum \cdot \frac{\delta}{\lambda}, \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (5)$$

*Formel [2.5]: U-verdi gjennom flere sjikt.*

## 2.2.6 Andre påvirkende faktorer

Sol, vind, geografisk plassering og skjermingsforhold er faktorer som på sin måte påvirker inneklimaet. Hensikten med en bygning er i hovedsak å skjerme brukerne fra variasjonene i været og opprettholde et stabilt inneklima. Det er mange byggetekniske utfordringer knyttet til dette.

### 2.2.6.1 Sol

Når man oppholder seg i et bygg med store vinduer merker man solen gjennom stråling og varme. Sitter man i et klasserom og blir utsatt for direkte sollys, kan dette oppfattes som ubehagelig. På en annen side gir solen et naturlig og behagelig form for lys. Ved bygging må man være oppmerksom på nettopp dette. Sollyset er en viktig energikilde og det er viktig å få riktig mengde inn i igjennom våre vinduer. Solavskjerming er derfor en viktig del av prosjekteringen av en bygning. For å oppnå dette er det mulig med en form for intelligent solavskjerming v.h.a. sensorer og innebygde persienne moduler.

### 2.2.6.2 Vind

Vinden har ikke like stor påvirkning på et bygg som sol. Det aktuelle bygget er nytt og reist etter nye standarder. Vindens påvirkning blir altså nedkjøling av de utvendige fasadene som medfører at varmetransporten gjennom de utvendige fasadene øker. Er ikke bygget helt tett, kan vinden være med på å øke infiltrasjonen i bygget. Dette kan igjen føre til trekk.

### 2.2.6.3 DUT og midlere årstemperatur

Midlere årstemperatur er temperaturen som brukes i kalibrering av ulike klimasystemer i bygninger. Selve temperaturen er i praksis den høyeste sommertemperaturen og den laveste vintertemperaturen. Ut ifra dette finner man middeltemperaturen over tre døgn for en spesifikk periode. DUT, dimensjonerende utetemperatur er laveste/høyeste middeltemperatur over 3 døgn for utelufttemperaturen.

## 2.3 Det aktuelle bygget

Rent teknisk er Rudolf Steinerskole en skole på til sammen 1673 m<sup>2</sup> fordelt på tre bygg. Skolen har en klasserække på 1-10 og som i skrivende stund huser ca 160 elever og over 30 lærere. Skolen startet med en klasse i Bøndernes hus skoleåret 1982/83. Videre flyttet klassen til Vallerud barnehage for så å flytte inn i brakker på skoletomten i skoleåret 1985/86. Siden den gang har det vært store forandringer både på bygget og personalet. Tre nybygg er reist og det fjerde bygget er under utvikling og skal stå ferdig sommeren 2010. Den nye delen skal inneholde SFO, kantine, møterom og læreværelse. Arkitektfirmaet Architectopia ved siv. ark Andrew Holt har stått for planleggingen av bygget. De hadde sett for seg bruk av fjernvarme til oppvarming, men valget endte opp med vannbåren varme og el-kjel grunnet lavere investering og vesentlig høyere drift. Når det gjelder løsninger, valg av materialer og tekniske bestemmelser, er det BSI AS / Windowmaster AS i samarbeid med Architectopia som kom frem til at det nye bygget skulle ha et høyt fokus på smarte løsninger innen systemintegrasjon i bygg. Et moderne bygg med intelligente løsninger ved bruk av scenarier, naturlig ventilasjon og annen energibesparing, samtidig som et godt innemiljø opprettholdes, er noe av filosofien rundt dette bygget.

## 2.4 Fire nyoppførte bygg i Danmark

For å få nærmere innsikt til energibruk, ventilasjon og inneklima har det blitt innhentet data fra fire nyoppførte bygg i Danmark. Dette for å kaste lys over hvordan dette virker i praksis, da det ikke har blitt foretatt noen målinger på Steinerskolen.

Alle de fire nye byggene har forskjellige valg av energiltak. Det ene bygget benytter seg av naturlig ventilasjon, det andre har tatt i bruk et automatisk styrt klimaanlegg, det tredje bygget har installert et tradisjonelt ventilasjonssystem mens det fjerde bygget benytter seg av havvannkjøling og et solcelleanlegg. Sammenligningen skal vise fordeler og ulemper med forskjellige valg av energiltak.

### **Bygg 1, Mediehuset, lo-Interactive:**

Energi og miljø      Byggets areal: 5.800 m<sup>2</sup>

- CTS - anlegg, (Sentral tilstandskontroll og styring)
- Naturlig ventilasjon

- Passiv kjøling (nattkjøling)
- Manuelt styrt solavskjerming
- Coated lavenergiglass

### **Bygg 2, HSH nordbank:**

- Energi og miljø
- Byggets areal: 8.300 m<sup>2</sup>
  - CTS - anlegg, (Central Tilstandskontroll og Styring).
  - Vinduer med coated lavenergiglass
  - Varmegjenvinningsanlegg
  - Reguleringsutrustning
  - Årlig energirapport

### **Bygg 3, Center for miljø:**

- Energi og miljø
- Byggets areal: 3.745 m<sup>2</sup>
  - CTS - anlegg, (Central Tilstandskontroll og Styring).
  - ISO 14001 miljøsertifikat
  - Miljøledelsessystem
  - Løpende registrering og offentliggjørelse av forbruksstall

### **Bygg 4, Ingeniørforeningen i Danmark:**

- Energi og miljø
- Byggets areal: 11.600 kvm
  - CTS - anlegg, (Central Tilstandskontroll og Styring)
  - Havvann til kjøling
  - Solceller (polykrystallinske / monokrystallinske)
  - Lavenergiruter m/ solacskjermende (coated) glass
  - Regnvannsoppsamling
  - Miljøpulje

## **2.5 Lover, normer, organisasjoner og forskrifter**

I denne rapporten er det benyttet lover og forskrifter fra Arbeidsmiljøloven, Plan- og bygningsloven (PBL), Teknisk forskrift (TEK) fra PBL, byggforsk, NS 3031, NS 3935 samt Smarthusguiden. Disse er sammen med på å sette normer, forskrifter, krav og regler forbundet med innemiljø og Smarthus.

### **2.5.1 Arbeidsmiljøloven**

Arbeidsmiljøloven har som formål å sikre et arbeidsmiljø som gir grunnlag for en helsefremmende og meningsfylt arbeidssituasjon. Den skal gi full trygghet mot fysiske og

psykiske skadevirkninger og med en velferdsmessig standard som til enhver tid er i samsvar med teknologisk og sosial utvikling i samfunnet.

Utdrag fra Arbeidsmiljøloven § 4-1. *Generelle krav til arbeidsmiljøet:*

*(1) Arbeidsmiljøet i virksomheten skal være fullt forsvarlig ut fra en enkeltvis og samlet vurdering av faktorer i arbeidsmiljøet som kan innvirke på arbeidstakernes fysiske og psykiske helse og velferd. Standarden for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø skal til enhver tid utvikles og forbedres i samsvar med utviklingen i samfunnet.*

*(2) Ved planlegging og utforming av arbeidet skal det legges vekt på å forebygge skader og sykdommer. Arbeidets organisering, tilrettelegging og ledelse, arbeidstidsordninger, lønnsystemer, herunder bruk av prestasjonslønn, teknologi mv. skal være slik at arbeidstakerne ikke utsettes for uheldige fysiske eller psykiske belastninger og slik at sikkerhetshensyn ivaretas.*

*(5) Atkomstveier, sanitæranlegg, arbeidsutstyr mv. skal så langt det er mulig og rimelig være utformet og innrettet slik at arbeidstakere med nedsatt funksjonsevne kan arbeide i virksomheten.*

## 2.5.2 Teknisk Forskrift (TEK)

Teknisk forskrift (TEK) er en veiledning til plan- og bygningsloven og ble første gang utgitt i 1997. Veiledningen ble revidert våren 1999 (2 Utgave), 2003 (3 Utgave) og 2007 (4 Utgave). Både 2. Og 3. Utgave av veiledningen beskrev samme krav som første utgave mens 4. Utgave er oppdatert i forhold til endringene i TEK 2007. Nye energikrav i Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven (TEK) var på plass fra 1. februar 2007, med en overgangsperiode frem til 1. august 2009 hvor man kan velge det nye eller det tidligere regelverket. De nye kravene vil redusere det totale energibehovet i nye bygninger med gjennomsnittlig 25 prosent. [18]

Om veiledningen sier TEK [19]:

*Forskriften om krav til byggverk og produkter til byggverk er i det vesentlige bygget opp med krav til funksjoner. Denne veiledningen fortolker forskrift ved å angi minimum ytelser som legges til grunn ved prosjektering og utførelse av byggverk. Ulike metoder for å verifisere at byggverket tilfredsstiller forutsatte ytelser er omtalt i Kap VI Metoder og utførelse.*

*Forskriftens krav fortolkes i veiledningen ved at vi benytter **skal**, **må**, **bør**, **kan** og **vil** med slik betydning:*

- **skal**, angir absolutt krav og benyttes bare i forskrift.

*Eksempel: «I nærheten av byggverk skal det være tilstrekkelig antall parkeringsplasser tilrettelagt for bevegelsehemmede».*

- **må**, angir absolutt krav og forutsetning for valg.

*Eksempel: «Dersom lokale klimadata benyttes, må disse også legges til grunn ved beregning av rammen».*

- **kan**, angir valgfrihet.

*Eksempel: «Innenfor dette rammekravet kan man justere vindusarealet og U-verdiene».*

- **bør**, angir en anbefaling.

*Eksempel: «I bygninger med måleverdig areal på loft bør alle vertikale ytterkonstruksjoner tilfredsstillere kravet til yttervegg».*

- **vil**, angir følge av valg.

Eksempel: «Forskriftens krav til lufttetthet vil være oppfylt når disse tabellverdiene legges til grunn».

Videre om veiledningens virkemåte står det [19]:

*Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk, teknisk forskrift, setter krav til tiltak som omfattes av plan- og bygningsloven. Kravene gjelder i utgangspunktet for alle byggearbeider, uavhengig av om arbeidene er søknadspliktige eller ei.*

*Det spiller ingen rolle for bruk av reglene, om byggverket er oppført på land eller i sjø. De relevante kravene blir de samme, men de tekniske løsningene blir forskjellige tilpasset oppføringsstedet.*

### 2.5.2.1 Inneklima

Teknisk Forskrift (TEK) har satt krav til et byggs inneklima. § 8.3 omhandler bestemmelser for generelt innemiljø. Under kapittel VIII § 8.3 er alle forhold tilknyttet innemiljø beskrevet. Ventilasjon, luftkvalitet, fukt, rengjøring og termisk inneklima, som er mest relevant for rapporten er beskrevet under § 8.3. Videre tar den for seg flere forhold innefor De Syv Søstere som lys, lyd og forurensinger. Forskjellige krav til dokumentasjon av inneklimaet er også skrevet under § 8.3. Generelt om innemiljø sier TEK § 8.3 [20];

*Bygning med installasjoner skal planlegges, prosjekteres, oppføres, vedlikeholdes og drives slik at innemiljøet oppleves tilfredsstillende. Det skal ikke oppstå helse- og sikkerhetsrisiko og utilfredsstillende hygieniske forhold, verken for bygningens brukere eller dens naboer, når rommene brukes som tilsiktet.*

*CO<sub>2</sub>-krav i nyeste TEK: Kategori II er et normalt forventningsnivå. Dette vil si 500 ppm CO<sub>2</sub> over utenivå. Bør brukes i nye og rehabiliterte bygninger.*

I forhold til lys sier TEK: *TEK krever at rom for varig opphold skal ha tilfredsstillende tilgang på dagslys, med mindre oppholds- og arbeidssituasjonen tilsier noe annet. TEK krever også at rom for varig opphold skal ha vinduer og utsyn. . I følge TEK sier veiledningen at kravet til dagslysmengde er oppfylt dersom dagslysfaktoren er minst 1 % i et punkt som ligger halvveis inn i rommet fra vindusfasaden, 1,0 m fra sidevegg og i en høyde på 0,8 m over gulv.[26]*

Arbeidsmiljøloven om lys: *Arbeidsmiljøloven regulerer kravene til arbeidsplasser.*

*Arbeidsplassen skal innrettes slik at arbeidsmiljøet blir fullt forsvarlig ut fra hensynet til arbeidstakernes sikkerhet, helse og velferd. Det skal sørges for gode lysforhold, om mulig dagslys og utsyn. Klimaet skal være fullt forsvarlig med hensyn til luftvolum, ventilasjon, fuktighet, trekk, temperatur o.l.*

### 2.5.2.2 Energibruk

TEK § 8.2 tar for seg energibruk og energikrav i bygninger. § 8.2 tar grundig for seg energieffektivitet i bygninger og krav til U-verdier i forskjellige typer bygg. Krav for en type byggs totale årlige energiforbruk pr. m<sup>3</sup> er, sammen med u-verdier gitt i tabeller.

Energiforsyning er også med i TEK § 8.2 og sier at en vesentlig del energiforsyning ikke skal være fossilt brensel eller elektrisitet, som veiledningen til § 8.2 sier [21]:

*Bygningsmassen står for store deler av den samlede energibruken i landet. Hensyn til forsyningssikkerhet, miljøet og privatøkonomi tilsier at lavt energibehov bør prioriteres når bygninger prosjekteres og oppføres. Energiforbruk til romoppvarming og varmtvann bør i størst mulig grad dekket med annen energiforsyning enn elektrisitet og/eller fossile brensler.*

Videre sier § 8.2 fra 2007;

*Byggverk skal utføres slik at det fremmer lavt energibehov. Byggverk skal lokaliseres, plasseres og/eller utformes med hensyn til energieffektivitet, avhengig av lokale forhold.*

### 2.5.3 Norsk standard, NS 3031

Norsk standard 3031 eller NS 3031 er utarbeidet av Standard Norge og er et dokument som beskriver beregninger for bygningers energiytelse. NS 3031 kan brukes til å:

- Vurdere om bygningen tilfredsstiller energikrav gitt i Forskrift om krav til byggverk (TEK).
- Dokumentere teoretisk energibehov etter energisertifikat for bygninger.
- Vise et typisk nivå på eksisterende bygningers energibehov og dokumentere en bygningens energiytelse i forbindelse med energisertifisering.
- Optimalisere energiytelsen til en ny bygning ved å bruke metoden på alternative løsninger eller spesifiserte bruksbetingelser.
- Vurdere virkningen av mulige energiltak på eksisterende bygninger ved å beregne energibehovet med og uten energiltak, både med hensyn på redusert energibruk, CO<sub>2</sub> utslipp og reduserte energikostnader.
- Anslå fremtidig behov for energiresurser på nasjonalt og internasjonalt nivå ved å beregne energibehovet for flere bygninger som kan anses som representative for hele bygningsmassen.

Standarden kompletterer og følger reglene og metodene der de finnes i de europeiske standardene knyttet til Bygningsenergidirektivet (Europaparlaments- og rådsdirektiv 2002/91/EF om bygningers energiytelse), og gir brukeren de nødvendige valgene og beregningsdata som det åpnes for i de europeiske standardene. [26]

### 2.5.4 Norsk standard, NS3935

Dette er også en Norsk Standard utarbeidet av Standard Norge som brukes for rådgivning og koordinering av prosjektering, kontroll av utførelse og idriftsettelse av automatisk styring, regulering og overvåking av tekniske installasjoner i bygg. Den definerer termer og forkortelser for bruk i forbindelse med integrerte tekniske bygningsinstallasjoner - ITB

NS3935 kan benyttes til:

- planlegging og installering

- å beskrive integrering mellom tekniske installasjoner
- generelle krav til teknologi
- egenskaper til integrerte tekniske bygningsinstallasjoner – ITB

Selv om standarden ikke er på mer enn 30 sider er den med på å skreddersy prosessen til et bygg fra start til stopp. [6][7]

### 2.5.6 Smarthus guiden

Smarthus guiden som også har fått betegnelsen NEK 406:2007 er en bok utviklet av mange av de fremste ekspertene på smarthus i Europa. Inneholder blant annet politiske føringer som universell utforming og energiøkonomisering av bygninger.

Først og fremst skal denne boken kunne bistå med detaljer og gi teknisk bistand til systemutviklere.

Bolig- og byggesektoren står for 40 % av energibruken og 60 % av elektrisitetsforbruket i Norge. Hvert år brukes ca. 130 milliarder på bygging og rehabilitering, og nye krav til isolering skal redusere energibehovet på nybygg med over 400 millioner kilowattimer. Hvordan fremtidens energibruk vil bli, påvirkes direkte i fremtidens investeringer. [9][10]

### 2.5.7 Scanvac

Scanvac er en fellesorganisasjon mellom VVS-foreningene i de skandinaviske land, Finland og Island. Det er et klasseinndelt inneklimasystem som gir ulike kvalitetsvurderinger av inneklimaparameterene og kunne gi et mer nyansert bilde av tilstanden enn forskriftene.

Scanvac er et klasseinndelt inneklimasystem som er utarbeidet av Svenska Inneklimainstitutet i samarbeid med de skandinaviske landene. Denne tar for seg inneklimaparametre og stiller krav til verdier som må oppfylles etter forskjellige kvalitetsklasser. Scanvacs system kan brukes som underlag for bedømmelse av inneklimakvalitet, som referansedokument for prosjektering og kontraktering av inneklimasystem. [22]

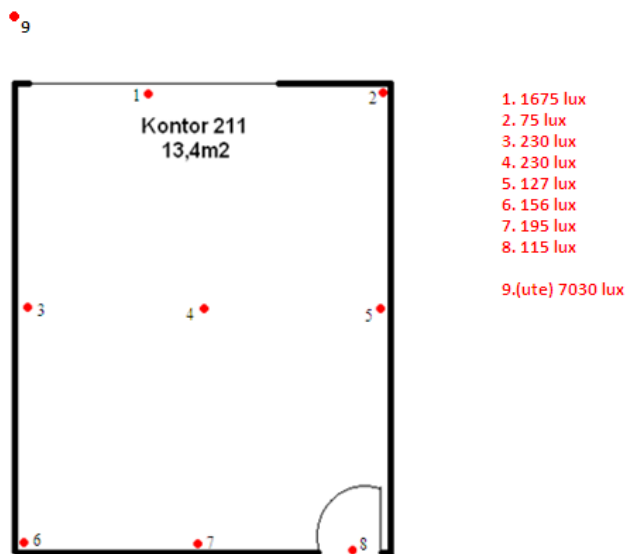
## 3 Metode

I denne rapporten sees det nærmere på parametre som  $CO_2$ , lufthastighet, temperatur, energibruk, lys og belysning, systemintegrasjon, effektbehov og inneklima. Skolen består hovedsakelig av kontorer, møterom, SFO og toaletter. Ut ifra de tidligere nevnte parametrene vil det dannes et godt inntrykk av inneklima og energibruk på skolen.

### 3.1 Lysberegninger for kontor 211

Det blir i teori kapittelet [2.2.3] opplyst at lysforhold varierer med geografisk plassering. Her er Rasta på Lørenskog markert på kartet [Vedlegg 1]

Ved beregning av gjennomsnittlig dagslysfaktor for det valgte kontoret ble det valgt å gjøre dette manuelt fremfor å bruke et EDB-program. For å få en mest mulig nøyaktig gjennomsnittlig dagslysfaktor ble det utført flere målinger med en høyde på ca 0.8 m over gulvet. Det ble foretatt en gjennomsnittsverdi av målingene. Et viktig punkt i denne sammenhengen var å utføre samtlige målinger med overskyet himmel[vedlegg 5]. Grunnen til dette er at overskyet himmel gir det best realistiske bildet av gjennomsnittlig værforhold. Ved måling utendørs ble det tatt hensyn til bygninger, trær og lignende som kunne hindre sikt for sollyset. Figuren under gjengir et bilde av kontoret, der de røde punktene viser hvor målingene ble utført innendørs.



Figur[3.1]: Målepunkter og verdier for daglysberegning for kontor 211

Da innvendige målinger var utført, ble det foretatt en utendørs måling. For å beregne dagslysfaktoren ble verdiene plassert inn i følgende formel:

$$DF = \frac{E_{inne}}{E_{ute}} \quad (5)$$

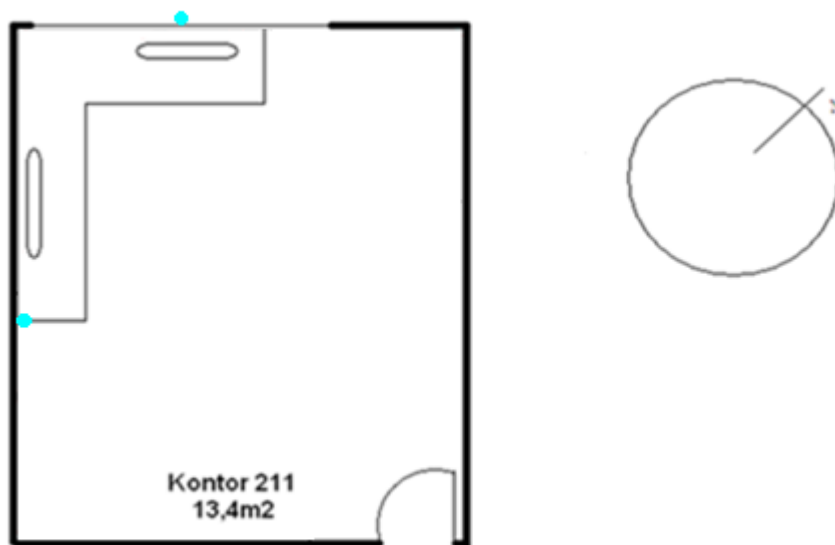
Formel[3.1]: beregning av dagslysfaktor,

$$E_{inne} = df \text{ innendørs i lux}, E_{ute} = utendørs df \text{ i lux}$$

Det ble prosjektert at kontoret skulle ha en lysmåler i rommet og en værstasjon med lengde- og breddegradsmodul utenfor. Stasjonen utendørs skulle være koblet sammen med en persienne, så brukeren unngår blinding og for å skjerme for solvarmen. Blendingen vil ikke oppstå som noe stort problem, grunnet retningen kontoret er bygget [figur 3.2]. De innendørs lysmålerene er koblet sammen med lyset og disse har blitt valgt til å bidra med kunstig lys når lux nivået er på under 500 lux.

Viktig at lysanlegget blir dimensjonert til å kunne levere ønsket lysstyrke uten bidrag fra dagslys. På grunn av de store vinduene og at brukeren av rommet stort sett vil sitte på en datamaskin vil det ikke være nødvendig med så mye tilførsel av kunstig belysning. TEK krever

minimum 2 % dagslysfaktor i arbeidsrom med tilgang på kunstig tilleggsbelysning, som ble oppfylt (se punkt 4.5).



Figur 3.2: Plassering av lysmålere i kontoret og himmelretning.

Figuren viser kontoret der det ble foretatt beregninger samt himmelretningen kontoret er plassert. Plassering av lysmålere er markert. Lysmåleren ble plassert på syd-vest side av rommet ved skrivebordspulten på kontoret.

Lys med dimmer ble regnet ut ifra tabeller [vedlegg 1,2,3].

### 3.2 Lover, normer, organisasjoner og forskrifter

Resultatene ble planlagt og evaluert etter utvalgte forskrifter, normer og lover fra blant annet NS3031, NS3935, Arbeidsmiljøloven, Plan- og bygningsloven (PBL), Teknisk forskrift (TEK) fra PBL, Byggforsk og ifra organisasjonen Scanvac.

### 3.3 Usikkerhet ved målinger

Under målinger utført på selve bygget har det kun blitt benyttet ett instrument. Til lysmålingene ble luxmåleren TES light meter benyttet. På KNX - modellen er det temperatur, CO<sub>2</sub> og lys målere. Det er bare realistisk å anta at en usikkerhet og viss unøyaktighet eller feil vil forekomme ved slike målinger. I denne sammenhengen er det to typer feil som kan forekomme:

- **Tilfeldige feil.** Dette er en type feil som kan unngås ved å utføre mange målinger. På denne måten reduserer man feil man gjør ved den første målingen.
- **Systematiske feil.** Eksempler på denne type feil:

✓ Instrumentsfeil

- ✓ Metodefeil
- ✓ Plasseringsfeil
- ✓ Programmeringsfeil

## 3.4 KNX

### 3.4.1 Kurs

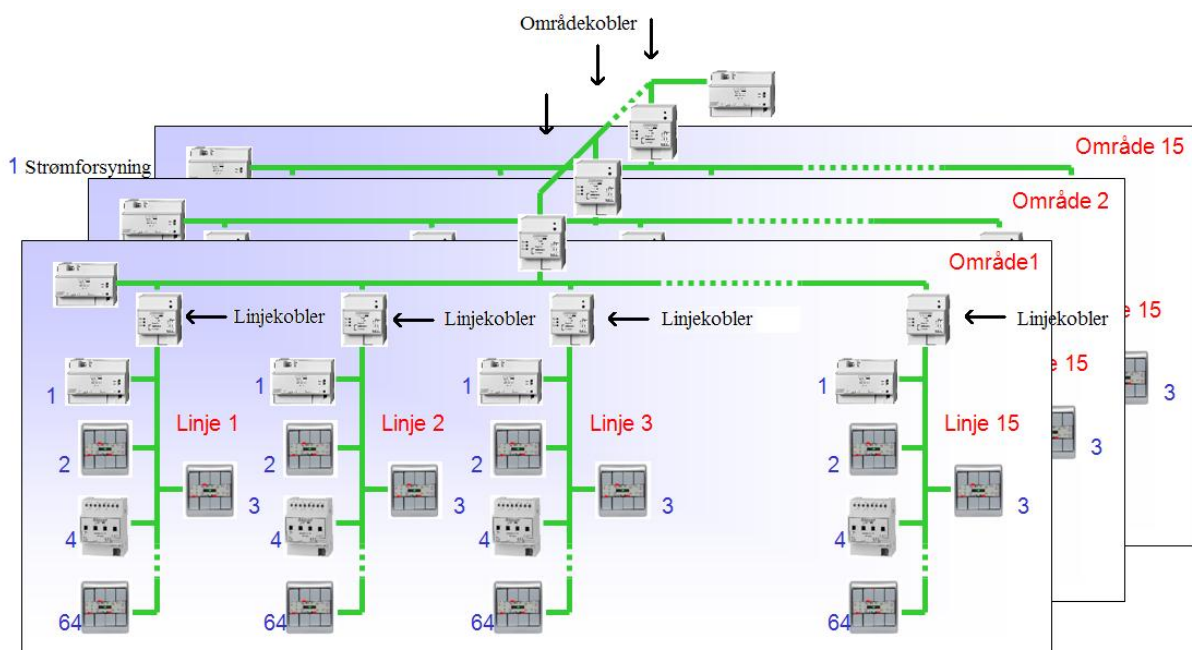
Det ble holdt kurs av BSI-AS for å heve kompetansenivået til studentene. Kurset bestod av en grundig gjennomgang av KNX, hvordan det fungerte fysisk og sammen med dataprogrammet ETS

### 3.4.2 Oppkobling og bruk av KNX

Utstyret som i utgangspunktet var tilgjengelig var to skinner med et ferdig koblet mini KNX system(3.5 Utstyrliste), som kursingen tok utgangspunkt i og dataprogrammet ETS 3.1 Professional. Videre fikk studentene tilgang på ekstra deler og komponenter, som ble koblet ved siden av.

Alle komponentene ble koblet sammen ved hjelp av en BUS kabel. Hver linje går inn i en linjekobler, som igjen gikk videre til områdekobler. Disse danner også et slags filter av signaler. Oppbygningen av dette kalles topologien.

Topologien illustrert på [figur 3.3]

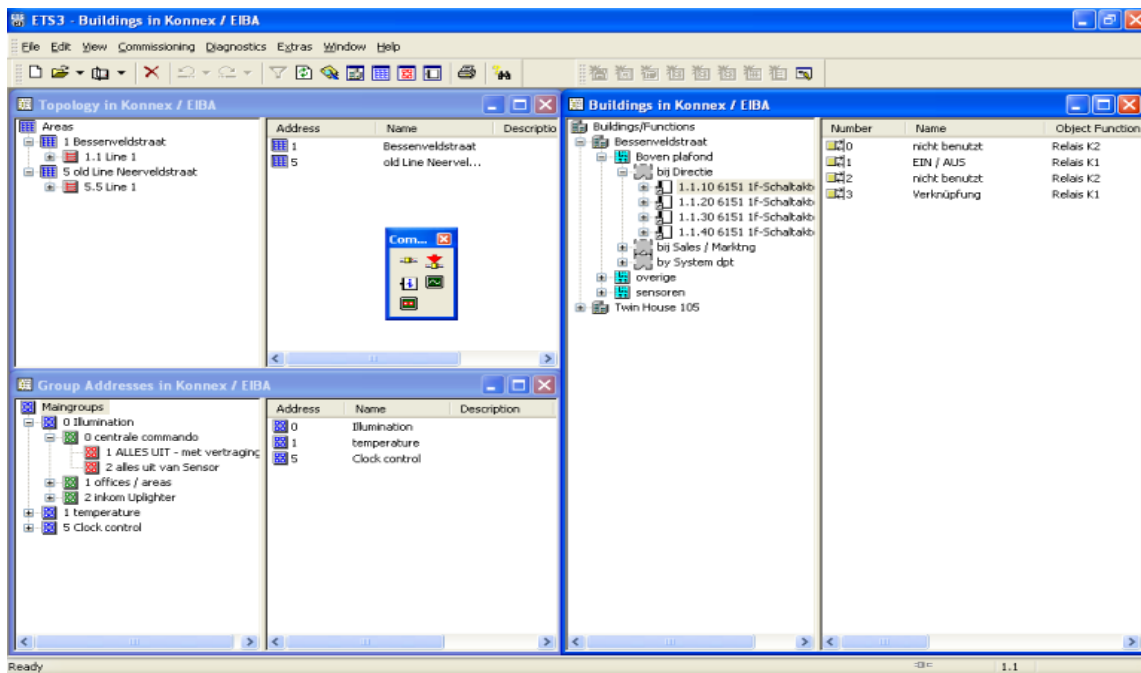


Figur [3.3]: Topologi i et KNX system.

### 3.4.3 Bruk av ETS 3.1 Professional

KNX programmeringen ble utført i programmet ETS. Ved programmeringen i dette prosjektet vil begrensningene som nevnt ikke oppstå som noe problem.

Som vist på figur[3.4] av ETS 3.1 er dette vinduene som vises. Her har vi "group addresses", "buildings" og "topology".



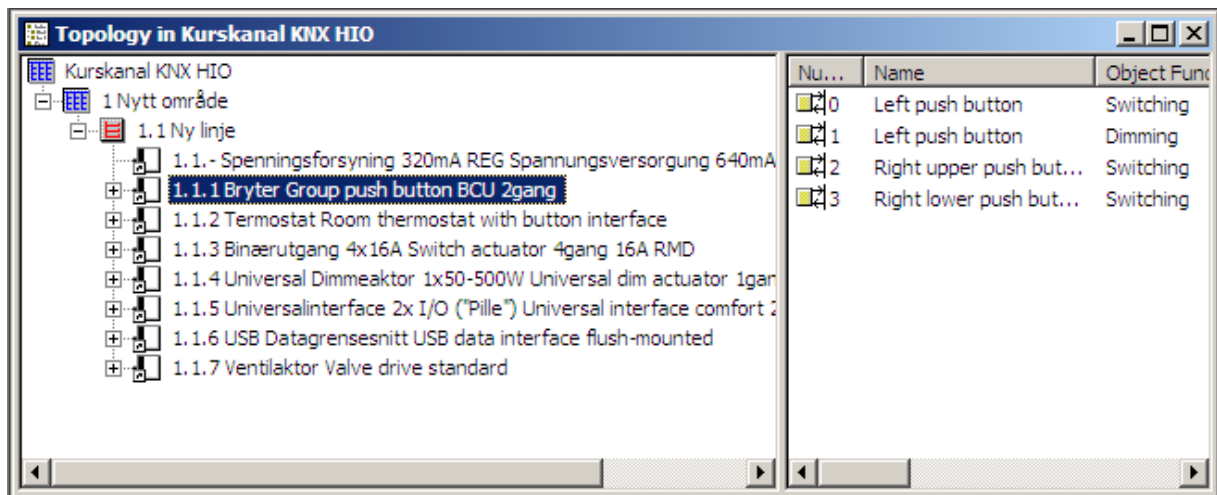
Figur 3.4: ETS 3.1 Professional programbilde.

### 3.4.4 Oppbygning av produkt bibliotek

Først var det nødvendig med en innlasting av produkt applikasjonen til komponentene som ble brukt under programmering. Dette var nødvendig for at programmet skulle forstå hvilke komponenter som er tilkoblet. Applikasjonsprogrammet følger ofte med komponenten i form av CD-rom eller kunne nedlastes fra leverandørens hjemmeside. På grunn av antallet komponenter, leverandører og oppdateringer som eksisterer, leveres ikke ETS programmet med noen av disse forhåndsinstallert. Dette er vanlig for programmer av denne typen og er svært plassbesparende, samtidig som det gir mer oversikt.

### 3.4.5 Oppretting av fysiske adresser

I vinduet Topology, som er det lister over områder og under disse linjer. På linjen finnes en liste komponentene som er blitt lagt til. Ved markering av dokumentet var det mulig å få oversikt over alle funksjoner [figur 3.5].



Figur [3.5]: Topology med oversikt over linje og funksjoner.

Ved markering av "Bryter Group push button" ble bryterens funksjoner vist. Her ble ønsket funksjon dratt over til komponenten i "Buildings" vinduet og det ble opprettet en fysisk adresse. Adressen bestod av tall adskilt av punktum, eks 15.15.255, som er den høyest mulig fysiske adressen. Første, andre og tredje tall anga henholdsvis område, linje og deltager(produktnummer).

For å opprette fysiske adresser var det nødvendig og linke/koble gruppeadresser med objektene. Dette ble gjort ved fysisk inntasting av adresse eller ved å dra ønsket funksjon til komponentet som tidligere forklart.

### 3.4.6 Gruppe adresser (telegramadresser)

Mulighet for gruppe adresser er det også i ETS. Ved større prosjekter var det aktuelt og dele inn i grupper, f.eks varme, lys og ventilasjon.

1/0/4 angir gruppe/komponent/funksjon.

Etter en utlasting av komponentene i ETS fungerte de som angitt.

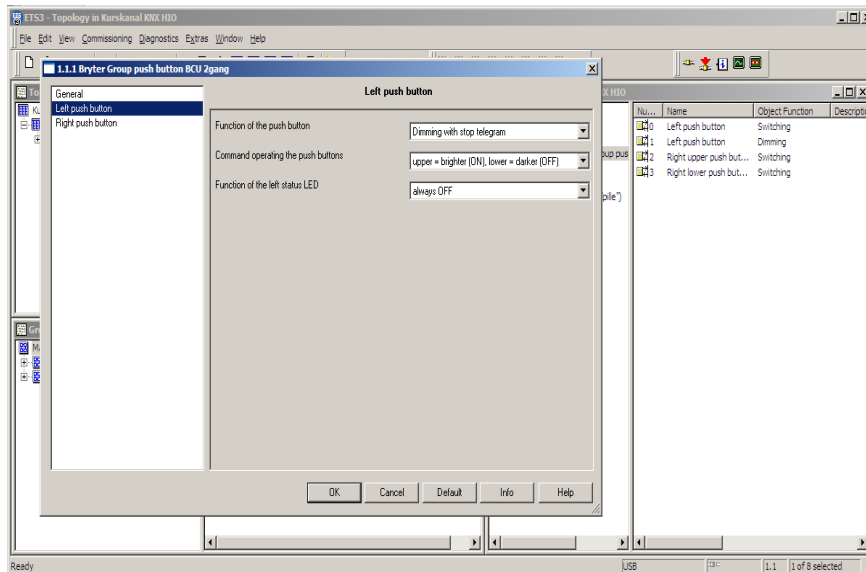
### 3.4.7 Feilsøking, testing og manuell oppretting av fysiske adresser

Enkelte ganger var det behov for å finne ut om en av komponentene hadde fått tildelt en fysisk adresse tidligere, eller om komponenten hadde fått tildelt ønsket adresse. Dette kunne gjøres ved å trykke på knappen på selve komponenten, da ble dette visualisert i ETS programmet.

Videre ble bygningen/rommet som skulle programmeres opprettet og alle komponentene ble plassert i rommet som skulle brukes. Her ble det lagt inn oversiktlige beskrivelser, f.eks vindu syd.

### 3.4.8 Parametring av komponenter

Det var mulig å forandre parametere ved ”høyre klikk” på komponenten i ”Topology vinduet” og ”edit parameters”. For bryter ble følgende bilde tilgjengelig [figur 4.6].



Figur [3.6]: ETS 3.1 Professional parameterendring bryter.

Her var det mulig å endre hva den høyre, venstre, øvre og nedre bryter skulle styre. Lengre trykk nedre del av bryter kunne f.eks være neddimming.

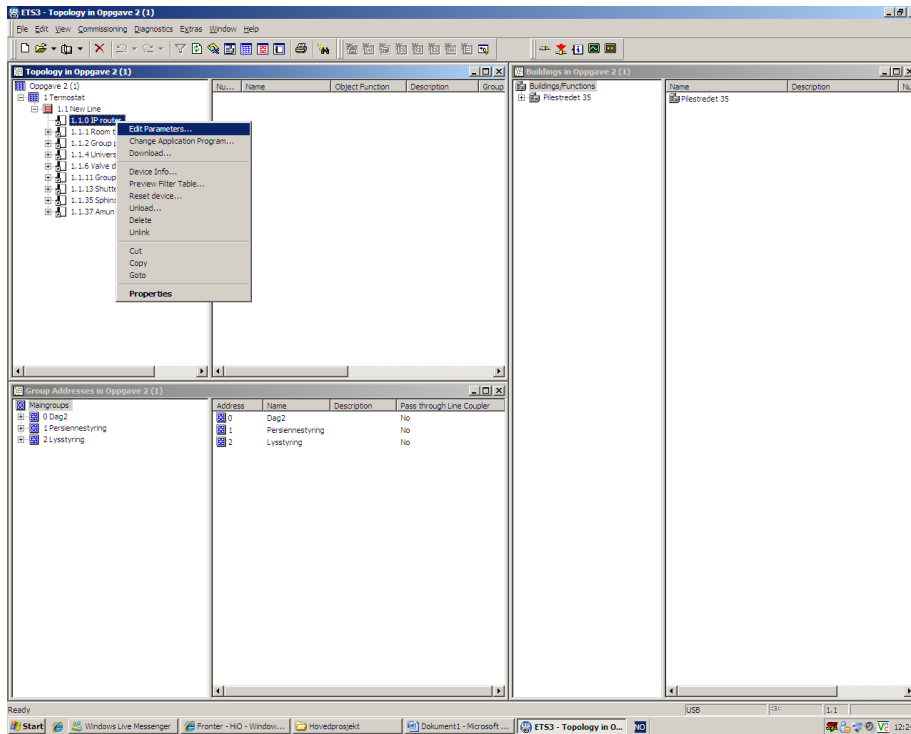
### 3.4.9 Visualisering av funksjoner

Ved opplasting av ETS filen til en OPC server ble det visualisert verdier, her var det mulig å lese og skrive informasjon til komponentene. Programmet som ble brukt var WindowmasterOPC. Forskjellen på signalene var enten read(les), write(skriv) eller value(verdi).

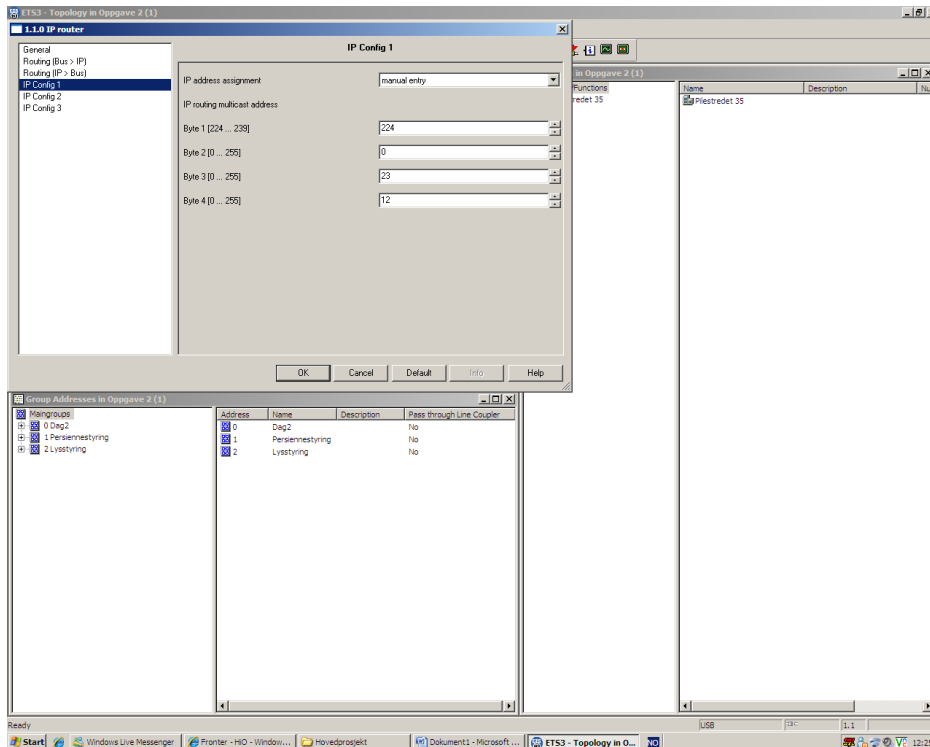
### 3.4.10 Forbindelse mellom iPhone og KNX

For å styre KNX modellen ble det valgt og gjøre dette med en iPhone mobiltelefon. Programmet som ble benyttet var OpenRemote KNX. For å koble dette sammen ble det benyttet en trådløs ruter for og opprette kommunikasjon med iPhone. Første steg var å koble den trådløse ruter til KNX ruter. Deretter gå inn på programmet ETS, ”høyre klikk” på IP router for så og velge ”edit parameters”. Vinduet som ble tilgjengelig var ”manuell styring” valgt under IP Config 1. På Ip Config 2 ble det tatt utgangspunkt i iPhones ip-adresse og økt med ca 10 fra den opprinnelige adressen. Altså; hvis iPhones ip er 192.168.0.41, vil Ip Configs 2 være 192.168.0.51. Dette for å hindre konflikt. Under ”subnetmask” på Ip Config 2 ble det plottet inn nøyaktig det samme som iPhones ”subnetmask”. Det samme gjaldt også under ”Ip standard gateway” på Ip Config 3. Ved

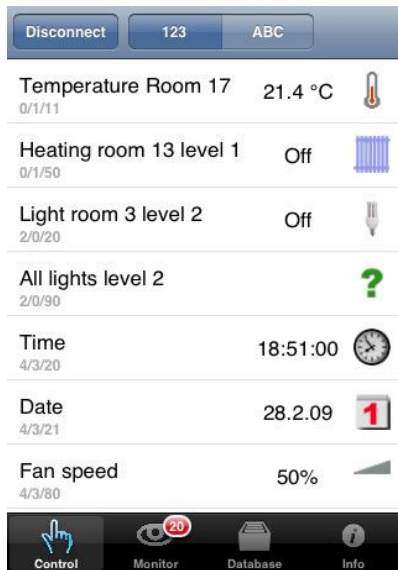
oppstart av OpenRemote på iPhoneen og en innplotting av adressen til Ip Config 2, ble det opprettet kontakt med modellen.



Figur [3.7]: ETS 3.1 Professional parameterendring ruter.



Figur [3.8]: ETS 3.1 Professional konfigurasjon av IP.



Figur [3.9]: Visuelt bilde fra iPhone: OpenRemote KNX eksempel på valgt oppsett for et rom.

### 3.5 Utstysrliste

Tabell [3.1]: Utstysrliste.

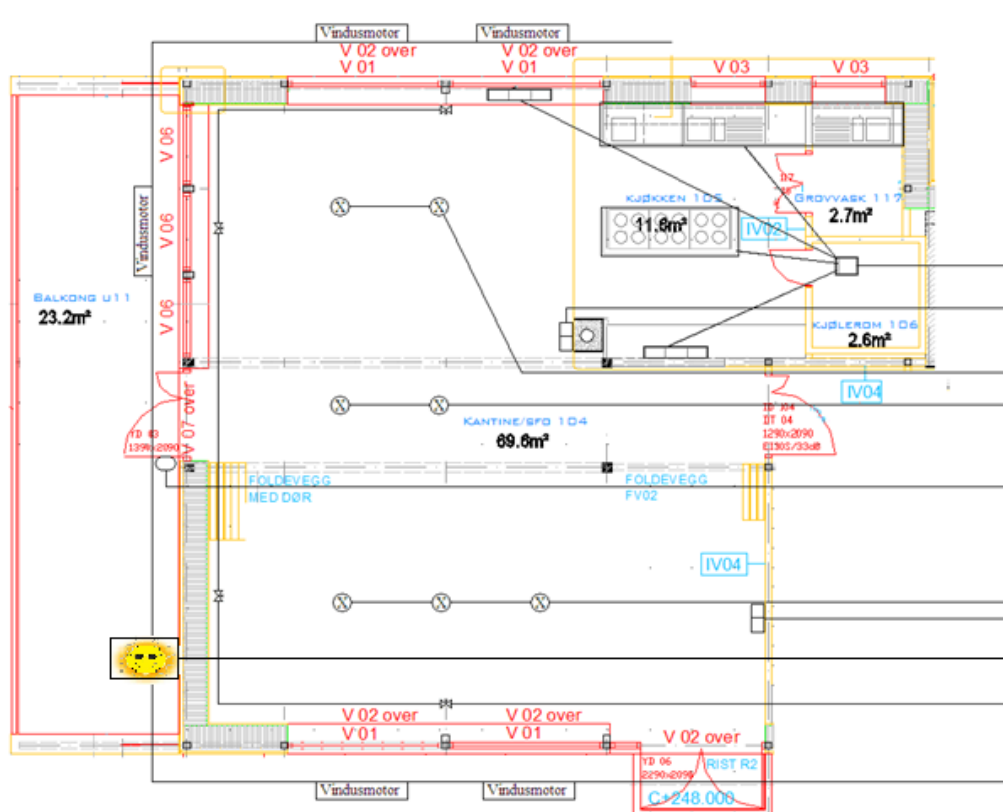
Utstysrliste		
Produsent	Modell	Artnr:
Berker	Spannungsversorgung 320mA	75010009
Berker	Schaltfaktor 4fach	75314015
Berker	Universal-Dimmaktor 1fach	75311007
Berker	Raumtemperaturregler mit tasterschnittstelle	75441129
Berker	Gruppentaste-BA 2fach	7514X100
Berker	USB Datenschnittstelle Up	75040004
Berker	Universalschnittstelle 2fach	75642001
Berker	Aktuator Standard	75500003
GIRA	Tronic Trafo	049358/100
Theben	Amun 716 CO <sub>2</sub> sensor	7169200

Theben	Sphinx 331 Bevegelsesdetektor med konstantlysmåler	1079211
TES	1335 Light Meter	010807970
Sjalusisimulator		
D-Link	DI-524UP AirPlus G 54	316996

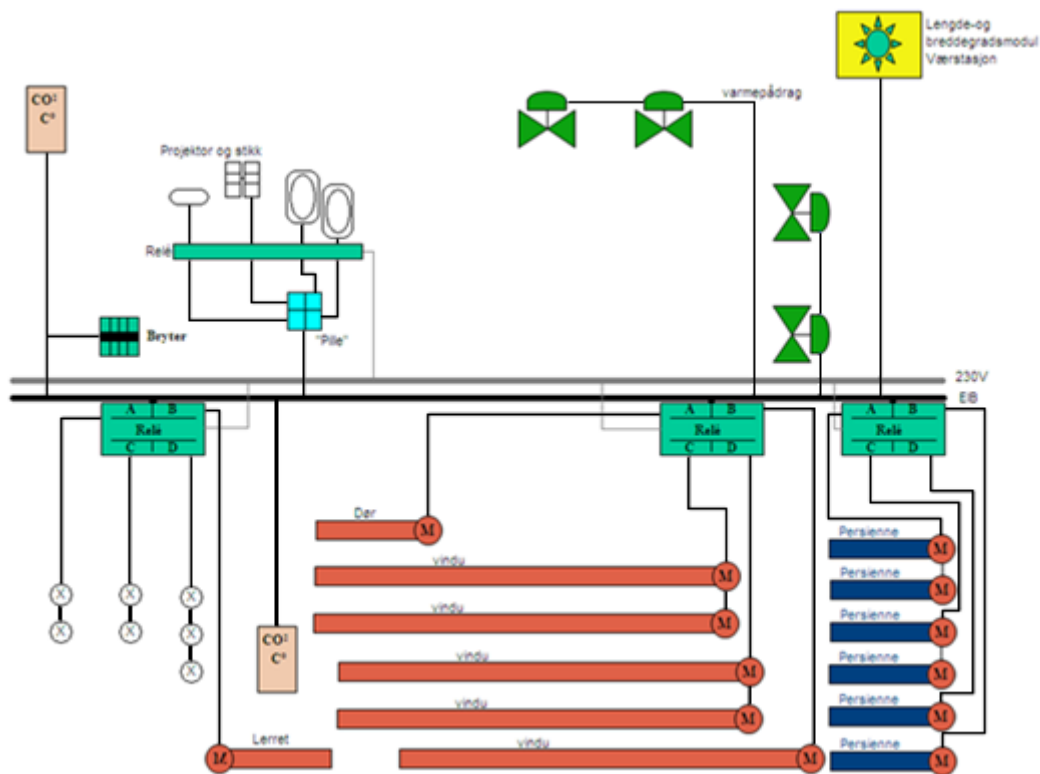
## 4 Resultat

### 4.1 Valgt rom med KNX

Nedenfor illustreres opplegg av KNX for SFO rommet. [figur 4.1] viser komponententene i forhold til plantegningen, mens [figur 4.2] viser et mer grundig opplegg uten plantegningen.



Figur [4.1]: Oppleggskjema for KNX, SFO.



Figur 4.2: Oppleggskjema for KNX, SFO.

### Kommentarer til SFO

I SFO rommet er det satt opp reléer som styrer vindu, dører, lerret, persiener og lys. Varmepådrag, brytere, følere, værstasjon med lengde- og breddegradsmodul er tilkoblet BUS kableten. Det er prosjektert to soner. "Pillen" kontrollerer strømtilførsel på stikk og kjøkkenapparater. En kombinert værstasjon, lengde- og breddegradsmodul kontrollerer persiennene, sonene for seg kontrolleres under bruk ved hjelp av CO<sub>2</sub> og temperatur følere.

## 4.2 Valgte scenarioer for SFO

På steinerskolens SFO ble det planlagt disse scenarioene som skulle kunne styres av en lcd display med kodelås [figur 4.3], så det er kun lærer som har mulighet til å påvirke disse innstillingene:

### Kosestund

Bruk: Elevene skal ha en rolig time og læreren ønsker og dempe aktivitetsnivået f.eks på slutten av dagen.

KNX: Lys neddimmes og persiener går ned (avhengig av årstid), settpunktstemperaturen økes til 22 °C.

### Filmtime

Bruk: Læreren ønsker å vise film.

KNX: Filmlerret og persiener går ned. Lys dimmes og projektor startes.

### *Verksted/kreative aktiviteter*

Bruk: F.eks påskeverksted, krever ekstra lys og frisk luft.

KNX: TEK for lys sier at spesielle aktiviteter kan kreve større tilgang på lys. Her er lyset sterkere enn vanlig, og det er beregnet for at elevene skal kunne ha verksted. Det vil også skje en kort puls lufting. Stikkontakter som vanligvis er avslått aktiveres, til f.eks limpistol.

### *Ferie*

Bruk: Ved ferier hvor SFO rommet ikke brukes som normalt.

KNX: Stikkontakter, lys og varmpådrag blir avslått. Alarm og frostsikring aktiveres. Denne er tidsinnstilt og vises ikke på lcd displayet.

### *Ikke tilstede*

Bruk: Ved tid uten bruk. F.eks ved utetimer, avslutter tidligere enn antatt etc.

KNX: Stikkontakter og lys avslått. Alarm aktiveres. Varmen settes ned til standby settpunkt. Er lerret nede og projektor på skal dette også bli avslått og trukket opp.

### *Tilstede*

Bruk: Oppstart tidligere enn antatt, kommer inn igjen fra ute time.

KNX: Ved tilstedeværelse vil det skje en pulslufting hver time. Temperatur og CO<sub>2</sub>-nivå måles hvert 10 minutt. Dette styres via en egen PC og spesiell programvare.

Kommentar:

Rommet er delt inn i 2 soner. I hver sone er ønsket temperatur og en øvre grense for CO<sub>2</sub> satt, henholdsvis 21°C og 1000 ppm. Med naturlig ventilasjon vil kurven over ppm CO<sub>2</sub> ha vesentlig større topper enn ved balansert ventilasjon og nivået vil også til tider være høyere enn forskriftene. Ved pulsluftingen, samt egne følere i rommet er hensikten at mesteparten av tiden vil mesteparten av brukstiden havne innenfor akseptable grenser.

Programmet styrer dette automatisk hvor temperatur er den viktigste parameteren.

Alt etter værforhold og temperatur i rommet så justerer vinduene seg automatisk for å holde temperatur og ppm innenfor akseptable verdier (21°C og +- 800 ppm).

Begge deler vil variere gjennom dagen alt etter personbelastning med mer.

## Natt

Bruk: Nattsenking for redusert energibruk

KNX: stikkontakter og lys blir avslått. Varmen settes ned til frostsikring. Denne er tidsinnstilt og vises ikke på lcd displayet. Her vil værstasjonen med lengde- og breddegradsmodul avgjøre når varmen skal aktiveres igjen.

## Nødanrop

Bruk: Uhell eller behov for samtale med foresatte av elev på SFO.

KNX: ved trykk på knappen kommer det frem en liste med klasser, bilder og klasselister. En søkefunksjon er også tilgjengelig. Valget "ring ambulanse" eller "helsesøster" skal hele tiden vises øverst på skjermen. Det er også mulig før og under samtale å trykke på eleven hvor det kommer informasjon om foresatte, adresser, allergier, medisinbruk og andre spesielle opplysninger hos elev.



Figur[4.3]: LCD display utarbeidet av gruppen.

## 4.3 Valgte løsninger for alle rom

For å få en helhet for de forskjellige rom og etasjer, ligger plantegninger som vedlegg [xx]

### U. Etasje

001 - Utebod: Bevegelsesdetektor

004 - Teknisk rom: Bevegelsesdetektor

### 1. Etasje

104 - SFO: Detaljert beskrevet i punkt [4.2]

105 - Kjøkken: Driftstid/ikke driftstid

117 - Grov vask: bevegelsesdetektor

106 - Kjølerom: bevegelsesdetektor

107 - Garderobe SFO: Bevegelsesdetektor

116 - WC: Tilstedeværelse detektor

115 - HC WC: Tilstedeværelse detektor

114 - Vaktmester: Mulighet for overstyring av alle komponenter. Termostatkontroll, lysmåler, CO<sub>2</sub>-føler

113 - Lager: Bevegelsesdetektor

110 - Møterom: Termostatkontroll, lys- og ventilasjonsscenarioer, CO<sub>2</sub>-føler

108 - Lager: bevegelsesdetektor

109 - WC: Tilstedeværelse detektor

### 2. Etasje

207 - Lærerrom: Termostatkontroll, lys- og ventilasjonsscenarioer, CO<sub>2</sub>-føler

206 - Arbeidsrom: Termostatkontroll, lys- og ventilasjonsscenarioer, CO<sub>2</sub>-føler

205 - Kopirom: Bevegelsesdetektor

209 - Kontor: Termostatkontroll, tilstedeværelsesdetektor, CO<sub>2</sub>-føler

208 - Kontor: Termostatkontroll, tilstedeværelsesdetektor, CO<sub>2</sub>-føler

210 - Kontor: Termostatkontroll, tilstedeværelsesdetektor, CO<sub>2</sub>-føler

211 - Kontor: Termostatkontroll, tilstedeværelsesdetektor, CO<sub>2</sub>-føler

212 - Arkivrom: Bevegelsesdetektor

214 - WC: Tilstedeværelse detektor

213 - Garderobe: Bevegelsesdetektor

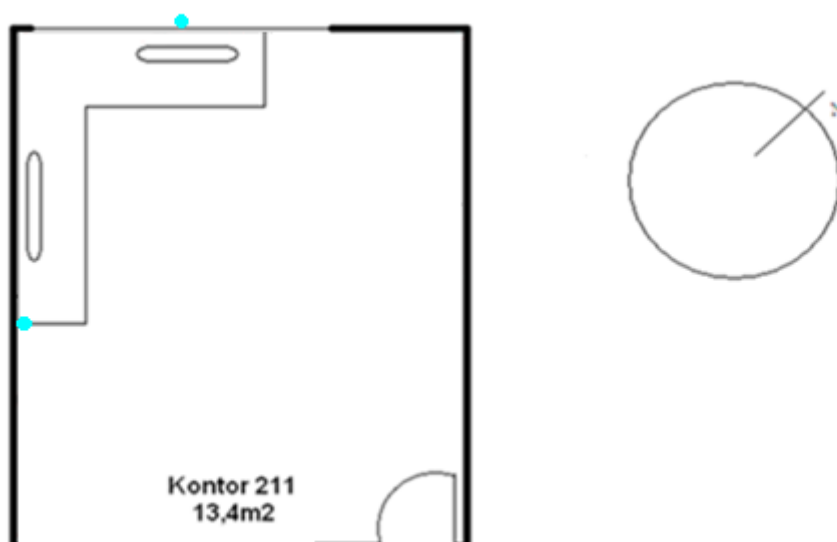
216 - WC: Tilstedeværelsesdetektor

215 - HC WC: Tilstedeværelsesdetektor

#### 4.4 Energibruk vedrørende kontor 211

På kontor 211 ble det prosjektert en innvendig lysmåler og en værstasjon med lengde- og breddegradsmodul, som måler belysningsstyrken i lux. Utendørs skulle værstasjonen med lengde- og breddegradsmodul være koblet sammen med en persienne, så brukeren unngår blanding, unødvendig innstråling av solvarme og persienne. Den innvendige lysmåleren som er koblet sammen med lyset har blitt valgt for å bidra med kunstig lys hvis belysningsstyrkenivået synker under 500 lux.

Det er viktig at lysanlegget blir dimensjonert for å kunne levere ønsket lysstyrke uten bidrag fra dagslys. På grunn av de store vinduene og at brukeren av rommet stort sett vil sitte ved en datamaskin, vil det ikke være nødvendig med så mye tilførsel av kunstig belysning. Det er mulig at de fleste tilfeller kan være tilstrekkelig med en skriverbordslampe. TEK krever minimum 2 % dagslysfaktor i arbeidsrom med kunstig tileggsbelysning, som etter utregningene ble oppfylt. Måleren innendørs er plassert som illustrert på [figur 4.4]



Figur[4.4]: Kontor 211 valgt for lysberegninger, med plassering av lysmålere og himmelretning.

## 4.5 Beregning av energibruk i tilknytning til lys

Steinerskolen i Lørenskog har en breddegrad og lengdegrad på henholdsvis 60° og 11°. Rommet ligger plassert mot Nord som vist på figur[4.4] og dermed vil ikke direkte blending fra solen være noe stort problem. Ved vanlig arbeidsdag, som vanligvis også gjelder SFO, vil tidspunkt bygget er i bruk være 08.00-16.00. Dette vil si 2920 timer/år.

Dagslysfaktor:

Alle størrelser oppgitt i lux

$$DF = \frac{E_{inne}}{E_{ute}} \quad (6)$$

Formel [4.1]: Beregning av dagslysfaktor, der DF er dagslysfaktor og E er antall lux.

(verdiene oppgitt i lux, 1 lux vil si 1 lumen/m<sup>2</sup>. Lumen er SI-enheten for lysstrøm)

$$E_{inne} = \frac{195+230+1675+127+230+75+156+115}{8 \text{ målinger}} = 350,40$$

$$DF = \frac{350,40}{7003} = 0,05 = 5 \%$$

Ut ifra lystabell for Oslo, med tilsvarende samme lengde og breddegrad som Rasta i Lørenskog [vedlegg 1]kart over Norge, med Rasta markert.

Ved å lese ut fra tabellen [vedlegg 2], vil 606 timer/år ha tilstrekkelig dagslys. 2314 timer/år vil dermed trenge kunstig belysning.

Ved å bruke beregninger som innebærer at med 50 % dimming vil også 50 % av energibruket være spart og dette stemmer bra sammenlignet med beregningene i dette prosjektet. Helt ned til 10-15 %.

Energibruk ved lys ved hjelp av dimmer, har det kommet frem til 151,7 kWh/år.

Sammenlignet med tilskudd fra kunstig belysning på 500 lux og tidsramme fra kl 08.00-16.00 hver dag, blir dette 350,4 kWh/år.

Dette gir 57 % mindre energiforbruk enn ved et dimmeanlegg.

Her vil dette bli noe høyere ettersom denne tabellen bruker en daglysfaktor på kun 2 %.

*I følge TEK sier veiledningen at kravet til dagslysmengde er oppfylt dersom dagslysfaktoren er minst 1 % i et punkt som ligger halvveis inn i rommet fra vindusfasaden, 1,0 m fra sidevegg og i en høyde på 0,8 m over gulv.*

Målepunkt 4 / uteverdi

$$230/7030 = 0,03 = 3 \%$$

Dette oppfyller kravet med god margin.

## 4.6 Fire nyoppførte bygg i Danmark

Tabell 4.1: Forbruk sammenlignet mellom de fire nye byggene i Danmark. Der kWh er kilowatt timer og m<sup>2</sup> er kvadratmeter.

	Varme	Elektrisitet	Vann
<b>BYGG 1</b>	54,7 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	74,1 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	312 liter/m <sup>2</sup> pr. år
<b>BYGG 2</b>	54,5 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	141,0 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	312 liter/m <sup>2</sup> pr. år
<b>BYGG 3</b>	42,9 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	53,6 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	193 liter/m <sup>2</sup> pr. år
<b>BYGG 4</b>	68,1 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	98,6 kWh/m <sup>2</sup> pr. år	370 liter/m <sup>2</sup> pr. år

## 5 Diskusjon

Herunder vil det bli lagt vekt på brukervennlighet, kostnader, inneklime og energibruk.

### 5.1 Valgt rom med KNX

Fordelen med KNX er mulighetene for omprogrammering og muligheten for å legge til/fjerne komponenter. Avstandsbegrensingene på en skole som dette vil ikke oppstå som noe problem på et rom med denne størrelsen.

### 5.2 Valgte scenarioer for SFO

Hensikten med scenarioene er at dette skal svært enkelt i bruk. Elevene skal ikke ha mulighet til å kontrollere dette. Erfaringsmessig blir slike tiltak ofte behandlet med litt skepsis i begynnelsen, for eksempel vil lærer stole på at kaffetrakteren blir avslått ved et trykk på "ikke tilstede"?

### 5.3 Valgte løsninger for alle rom

Dette er kun et forslag til løsninger for de resterende rommene på Steinerskolen i Lørenskog. Her bør det gås i dybden og ses på flere og andre alternative metoder for å få de mest korrekte avgjørelsene. Grunnet et begrenset tidsskjema og at oppgaven ikke innebar utregninger ble dette noe forenklet.

### 5.4 Energibruk vedrørende kontor 211

Formålet ved konstantlysreguleringen er at brukeren skal forsøke om mulig og klare seg i minst mulig grad uten kunstig tilleggsbelysning og dermed senke energibruken. Det skal til enhver tid være 500 lux tilgjengelig på kontoret under arbeidstiden, men også være mulighet for ekstra belysning. Ved sommertid brukes persiennene også til å stenge varmen ute og dermed senke oppvarmingsbehovet. Mønsteret til brukeren må endres, ordtaket "gammel vane er vond og vende" kan her være at brukeren er vant med at det første som blir gjort en arbeidsdag er å tenne lyset og slukke lyset som en avslutning på dagen.

Utregnet dagslys faktor for kontoret var på 5 % og dette forteller hvor mye lys som blir sluppet inn, det kan tolkes at vinduet er relativt stort. Vinduet i rom er også vendt mot nord vest, unngår direkte bledning og siden med mest sollys. Ved sommertid vil persiennen ofte være nede for å unngå og slippe inn varme.

### 5.5 Beregning av energibruk ved hjelp av dimmeanlegg

Energibruken er beregnet og utregnet ved hjelp av geografisk plassering, varighetstabell, effektforbruk [vedlegg 1, 2 og 3]. Det er regnet ut ifra vanlig brukstid for bygget.

Varighetstabellen vil avvike noe da denne er med en dagslysfaktor på 2 %. Timeantallet med behov for kunstig tilleggsbelysning vil være lavere, så besparelsen vil nok mest sannsynlig være høyere enn 57 % [vedlegg 4].

Installasjonen vil være forholdsvis kostbar i forhold til tradisjonell lysbryter med kun av/på bryter, men ved en såpass god besparelse vil dette ved korrekt bruk ha en rask inntjening. Det mest ideelle hadde vært å ha flere lysmålere, ved kun en måler er det ikke sikkert dette vil gjengi et korrekt bilde av hva lysnivået egentlig er. Plassering av lysmåleren oppstod som problematisk, men ble plassert ganske midt i rommet, ved den syd-vest vendte veggen. Dette er fordi denne delen av rommet vil mest sannsynlig være delen med lavest lysnivå, grunnet rommets plassering.

En mulig faktor som vil ha innvirkning med hensyn til daglysfaktoren er årstiden. Det var en del trær utenfor vinduet som ved sommer- og vårtid vil få blader og kan skygge for dagslyset.

## 5.6 Fire nyoppførte bygg i Danmark

Ved Steinerskolen er det ikke tradisjonell ventilasjon, men naturlig. Grafen illustrert ved [figur 1.1] forteller at det er nettopp overskuddsvarme som er et av hovedproblemene for typiske norske bygg. På grunn av at det ikke er foretatt noen målinger angående dette, har det blitt innhentet data fra fire forskjellige nyoppførte bygg i Danmark.

### Bygg 1:

Denne bygningen er prosjektert med naturlig ventilasjon som betyr at bygningen ikke bruker energi til komfortkjøling av kontorer, men kun til datarom og avlukkede møterom.

Luftmengden og ventilasjonseffekten reguleres av vinduer som styres automatisk ved hjelp av CO<sub>2</sub>-sensorer. For å forhindre overoppheting er det tatt i bruk solavskjerming og små vinduer tett under loftet for nattkjøling. Dette bygget ivaretar dermed inneklimate samtidig som energiforbruket holdes på et akseptabelt nivå.

### Bygg 2:

Bygningen har hatt et høyt fokus på inneklimate og er utstyrt med et automatisk klimaanlegg som styres av inneklimate og individuelt programmerbare døgn- og ukeprogrammer.

Værforholdene måles ved hjelp av utendørs temperatur- og solfølere. Grunnet løsninger for å opprettholde et godt inneklimate for dette bygget gjør at det elektriske forbruket er meget høyt.

### Bygg 3:

Det lave energiforbruket er oppnådd grunnet manglende kjøling i bygget. Bygget har store vindusflater og er ikke beregnet for å motvirke overoppheting eller har mulighet for nattkjøling. Det skal heller ikke bruke energi til aktiv kjøling, så den eneste kjølemuligheten er luftstrømmen i ventilasjonssystemet. Effektiviteten begrenser seg da selv og går hardt utover inneklimate. Det finnes heller ingen passive tiltak i bygningsdesignet som kan motvirke overopphetingen.

### Bygg 4:

Sett i forhold til det samlede energi forbruket viser det seg at effekten av miljø- og energitiltakene for bygget kommer veldig dårlig ut. Bruken av solcellepanel utgjør under 1 % av det totale årlige el. forbruket, noe som er lite i det store perspektiv. Havvann til kjøling har vært relativt billig og har spart en del energi, men følges av en del begrensninger. Dette tatt i betraktning av at bygget har et stort kjølebehov ettersom det er store vindusarealer mod sydøst, hvor ca.  $\frac{3}{4}$  av fasaden er glass. Grunnet stor solbelastning, spesielt mot denne fasaden, gjør at det blir vanskelig å få til et godt inneklimate.

## 6 Konklusjon

Rapporten viser hvor viktig det er å tenke energiforbruk, inneklima og bygningsdesign i sammenheng. Det er ikke vanskelig å oppnå et lavt energiforbruk, vanskeligheten er og samtidig oppnå et godt inneklima.

Teoretisk vil gjennomsnittlig inneklima på SFO være tilfredsstillende, men brukeren er nødt til å finne seg i perioder med verdier over anbefalte krav. Det er ikke foretatt målinger angående inneklimaet på skolen, så det er vanskelig å si om bygget i praksis vil klare å oppfylle forskriftene. Forskriftene vil teoretisk bli oppfylt med hensyn til materialer som skal fungere som buffere osv., men det vil være behov for ytterligere kartlegging av dette. En kartlegging av bruk og inneklima på steinerskolen i Lørenskog, foreslås som et alternativ til hovedprosjekt neste år.

Ut ifra de nyoppførte byggene i Danmark, utmerker bygget med naturlig ventilasjon seg med et godt inneklima og lavt energibruk.

Kaldras vil i teorien ikke oppstå grunnet radiator plassering, generell utforming og kontrollert lufting.

På steinerskolen i Lørenskog konkluderes det i at brukere vil ved hjelp av KNX og naturlig ventilasjon få et mer brukervennlig og energibesparende bygg enn tradisjonelle bygg. Som erfaring tilsier, vises det at et godt inneklima bidrar til økt trivsel og lærerferdighet.