

FORSKJELLEN MELLOM BEREGNET OG MÅLT ENERGIFORBRUK VED ST. OLAV VIDEREGÅENDE SKOLE

DEVIATION BETWEEN CALCULATED AND ACTUAL BUILDING ENERGY
CONSUMPTION AT ST. OLAV HIGH SCHOOL.

INGVILD HOVSTEIN HAUGEN

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2013



FORORD

Denne oppgaven er skrevet ved Institutt for Matematiske realfag og teknologi ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB). Oppgaven er gjennomført våren 2013, og er avsluttende del ved masterprogrammet Industriell økonomi med byggeteknikk.

Oppgavens tema har vært å se på mulige årsaker til avviket mellom beregnet og målt energiforbruk ved St. Olav Videregående skole. Problemstillingen er et ledd i forskningsprosjektet om bærekraftig rehabilitering av skolen, i regi av Østfold Fylkeskommune.

Jeg ønsker først å takke min hovedveileder Thomas Thiis for introduksjon til et veldig interessant tema, for god veiledning og ikke minst oppmuntring gjennom arbeidet med oppgaven. En stor takk til Teresa Maria Ribu for mange nyttige innspill, tilgang til tidligere simuleringer og god hjelp med gjennomføring av målinger. Tormod Aurlien skal også takkes for sitt engasjement og for utlån av måleutstyr. Jeg er også veldig takknemlig for at driftslederne ved St.Olav VGS og Tiny Mesh har bidratt til at målingene på skolen ble gjennomført.

Til slutt ønsker jeg å takke min samboer Andreas for all god hjelp gjennom hele våren.

Ås, 10.mai 2013

Ingvild Hovstein Haugen

SAMMENDRAG

I forbindelse med energisimuleringer som ble gjennomført våren 2012 ved St. Olav videregående skole ble det oppdaget et avvik mellom beregnet og målt energiforbruk. Det beregnede energiforbruket var 85 % høyere enn det målte snittforbruket. Målsettingen med denne oppgaven har vært å finne mulige årsaker til dette avviket.

Oppgaven er begrenset ved å se nærmere på noen utvalgte parametere som kan ha betydning for det energiforbruket som simuleres. Det fokuseres på internlaster, bruksmønster, ventilasjonsspesifikke inndata og inneklimateforhold. Tanken har vært å dokumentere de reelle forholdene for deretter å simulere tilsvarende. Metoden som er benyttet er derfor en kombinasjon av målinger og energisimuleringer med programvaren SIMIEN. Det er gjennomført målinger av luftmengder, SFP, temperaturvirkningsgrad og inneklimate. Reelle internlaster er registrert og beregnet. Oppgaven tar blant annet for seg generell teori om energibruken i bygg og en gjennomgang av standarden for beregning av bygningers energiytelse NS 3031:2007.

Det viser seg at simulering med reelle internlaster, tappevann og bruksmønster fører til et redusert avvik mellom beregnet og målt energiforbruk. Det er forbruk til tappevann og reelt bruksmønster som antas å ha størst betydning for det reduserte avviket. Forbruket til fjernvarme reduseres med 14,6 % sammenlignet med simulering basert på veiledende verdier gitt i NS 3031:2007.

Det ble målt lavere luftmengder i ventilasjonsanlegget "36.02" enn det som har vært forutsatt i tidligere simuleringer. Fjernvarmeforbruket ligger 25,6 % høyere enn snittforbruket etter denne endringen. Virkningen som følger av lavere luftmengder er derfor ikke ubetydelig for avviket, men forklarer ikke hele avviket.

Ved inneklimatemålingene ble det målt en temperaturredifferanse mellom to testklasserom på 4 °C. Eksperimenteringen i SIMIEN med ulike settpunkt-temperaturer og effekt til oppvarming viser at det er mulig å komme seg ned på et tilsvarende nivå som målt gjennomsnittlig energiforbruk. Fjernvarmeforbruket ligger 18,3 % høyere enn snittforbruket når alle soner ble simulert med en settpunkttemperatur på 18 °C utenfor drift, og problemsonene til 19 °C i drift og 17 °C utenfor drift. Når effekt til oppvarming ble fjernet i soner uten direkte oppvarming ble fjernvarmeforbruket 5,5 % høyere og elforbruket 4,6 % høyere enn snittforbruket. Det kan imidlertid knyttes usikkerhet til denne fremgangsmåten i SIMIEN, og derfor om dette kan ses på som en avgjørende faktor for avviket.

ABSTRACT

With reference to the energysimulations of St. Olav High School conducted in spring 2012, an anomaly was discovered. The estimated energy consumption was approximately 85 % higher than the actual. The objective of this study was to determine the possible reasons for the deviation between the estimated and the real energy consumption.

The task is limited by looking more closely at some selected parameters that may affect the simulated energy consumption. The main areas are internal loads, usage patterns, ventilation and indoor air quality data. The idea was to document the real conditions and then to simulate the equivalent. The method used is therefore a combination of measurements and energy simulations with the software SIMIEN. It is carried out measurements of air flow, SFP, temperature efficiency and indoor air quality. Internal loads are recorded and calculated. In addition the study discuss the general theory of energy use in buildings and a review of the standard for calculating the energy performance of buildings NS 3031:2007.

Simulations with real internal load, tap water and actual use pattern gives a reduced discrepancy between the estimated and the real energy consumption. It is assumed that the consumption of tap water and actual usage pattern has the greatest impact on the reduced deviation. The consumption of district heating is reduced by 14.6 % compared to the simulation based on values given in NS 3031:2007.

It was measured lower air flow in the ventilation system 36.02 than assumed in previous simulations. The district heating consumption is found to be 25.6 % higher than the average consumption. The impact arising from lower air flow is not negligible for the discrepancy, but does not explain the whole discrepancy.

There was measured a temperature difference of 4 °C between two test classrooms. Experimentation in SIMIEN with different set-point temperatures and heating load shows that it is possible to get a similar level of actual and measured average energy consumption. District heating consumption is found to be 18.3 % higher than the average consumption when all zones were simulated with a set-point temperature of 18 °C outside operations, and problem areas to 19 °C and 17 °C inside and outside operation. When the heating load was removed in areas without direct heating the district heating consumption was estimated to be 5.5 % higher and electricity consumption 4.6 % higher than average consumption. It is uncertainty related to this procedure in SIMIEN, and can therefore be considered as a crucial factor for the discrepancy.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.0 INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Målsetting og begrensning.....	2
1.4 Oppgavens oppbygging.....	2
2.0 TEORETISK FORANKRING	3
2.1 GENERELT OM ENERGIBEHOV I BYGNINGER.....	3
2.1.1 Energibegreper	3
2.1.2 Bygningsfysiske egenskaper.....	4
2.1.3 Tekniske installasjoner.....	7
2.1.4 Interne varmetilskudd	13
2.1.5 Energiforbruket til varmt tappevann	14
2.1.6 Ytre klimapåkjenninger	15
2.4 INNEKLIMA.....	15
2.4.1 Bestemmelser for skoler.....	15
2.4.2 Termisk miljø og betingelser for termisk komfort.....	16
2.4.4 Atmosfærisk miljø.....	17
2.4.5 Akustisk miljø.....	18
2.5 METODER FOR REGISTRERING AV ENERGIFORBRUK.....	18
2.6 ERFARING FRA TIDLIGERE STUDIER PÅ FORSKJELLEN MELLOM BEREGNET OG MÅLT ENERGIFORBRUK.....	20
2.7 NS 3031:2007 BEREGNINGER AV BYGNINGERS ENERGIYTELSE -METODE OG DATA	23
3.0 METODER OG VERKTØY	31
3.1 METODER	31
3.2 ENERGISIMULERING	31
3.2.1 Inndata	33
3.2.2 Soning av bygninger	34
3.3 INNHENTING AV DATA.....	34
3.4 MÅLINGER.....	35
3.4.1 Temperaturmålinger.....	35
3.4.2 Luftmengdemålinger.....	36
3.4.3 Måling av SFP og temperaturvirkningsgrad	39
3.4.4 Inneklimamålinger.....	39
3.4.5 Generelt om måleusikkerhet	42
3.5 INTERVJU, SAMTALER OG SPØRREUNDERSØKELSE	42
3.6 LITTERATURSTUDIE	44
3.7 CASENE SOM SIMULERES.....	44
3.8 FEILKILDER	44
4.0 ST. OLAV VIDEREGÅENDE SKOLE	46
4.1 PRESENTASJON.....	46
4.2 MÅLT ENERGIBRUK	46

4.3	UTGANGSPUNKTET: SIMULERINGSMODELLEN SOM BLE BRUKT UNDER ENØK-RAPPORTEN.....	50
4.4	NY SIMULERINGSMODELL – FLERE SONER.....	51
4.5	BYGNINGSSPESIFIKKE INNDATA	54
4.5.1	<i>Fasader</i>	55
4.5.2	<i>Fundament, dekke og gulv</i>	56
4.5.3	<i>Tak</i>	56
4.5.4	<i>Vinduer og dører</i>	56
4.5.5	<i>Forutsetninger for tetthet og kuldebroer</i>	57
4.6	INSTALLASJONSSPESIFIKKE INNDATA	57
4.6.1	<i>Ventilasjon</i>	57
4.6.2	<i>Oppvarming</i>	58
4.6.3	<i>Kjøling</i>	60
4.7	BRUKERSPESIFIKKE INNDATA - INTERNLASTER.....	60
4.7.1	<i>Personbelastning</i>	60
4.7.2	<i>Belysning</i>	61
4.7.3	<i>Teknisk utstyr</i>	61
4.7.4	<i>Bruksmønster</i>	62
4.7.5	<i>Tappevann</i>	63
4.8	DRIFTSSYSTEM	63
5.0	RESULTATER FRA SIMULERING OG MÅLINGER	64
5.1	BEREGNING AV REELLE INTERNLASTER	64
5.1.1	<i>Internlaster fra personer</i>	64
5.1.2	<i>Internlaster belysning</i>	64
5.1.3	<i>Internlaster teknisk utstyr</i>	65
5.2	MÅLINGER AV VENTILASJONSANLEGGET.....	66
5.2.1	<i>Luftmengdemålinger</i>	66
5.2.2	<i>Kontrollberegning av SFP faktor</i>	67
5.2.3	<i>Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner</i>	67
5.3	INNEKLIMAMÅLINGER.....	68
5.3.1	<i>Temperaturmålinger</i>	68
5.3.2	<i>Målinger av CO₂-konsentrasjon</i>	70
5.3.3	<i>Målinger av relativ fuktighet</i>	71
5.4	SPØRREUNDERSØKELSE OM OPPLEVD INNEKLIMA.....	72
5.5	TERMOGRAFERING	74
5.6	SIMULERING I SIMIEN.....	75
5.6.1	<i>Case 1: Et utgangspunkt i NS 3031</i>	76
5.6.2	<i>Case 2: Reelle internlaster og bruksmønster</i>	76
5.6.3	<i>Case 3: Reelle inndata på ventilasjonsanlegget</i>	78
5.6.4	<i>Case 4: Eksperimentering med settpunkt-temperaturer og effekt på oppvarming</i> 79	
6.0	ANALYSE OG DRØFTING	83
6.1	CASE 1: ET UTGANGSPUNKT I NS 3031	83
6.2	CASE 2: REELLE INTERNLASTER OG BRUKSMØNSTER.....	84
6.3	CASE 3: MÅLTE INNDATA PÅ VENTILASJONSANLEGGET	85
6.4	INNEKLIMAMÅLINGER OG SIMULERING AV CASE 4.....	86

6.5 HOVEDFUNN	92
7.0 KONKLUSJON	93
8.0 KILDER.....	95
9.0 VEDLEGG	99

LISTE OVER FIGURER

Kapittel 2

Figur 2.1 Energibalansen i bygninger (Killingland, 2009)	3
Figur 2.2 Vanlige lekkasjesteder (Dyrstad, 1991)	6
Figur 2.3 Betegnelse på luftstrøm i de ulike delene av et ventilasjonsanlegg (Schild & Hestad, 2002)	9
Figur 2.4 Typisk energifordeling i ventilasjonsanlegg (Mysen, 2000)	10
Figur 2.5 Induksjonsanlegg (Blom, 2001)	12
Figur 2.6 Trekkvurdering med 15 % misfornøyde, kombinasjon lufttemperatur, turbulensintensitet og gjennomsnittlig lufthastighet (Blom, 1999a)	17
Figur 2.7 Eksempel på en ET-kurve for et bygg (Enova, 2004)	19
Figur 2.8 Eksempel fra målt og beregnet energiforbruk på andre skoler (Dokka et al. 2011)	21
Figur 2.9 Oversikt over formler som tilknyttet totalt årlig netto energibehov (Illustrasjon: Ingvild Haugen)	24

Kapittel 3

Figur 3.1 MSR 145 (Precision Technic Nordic, 2013)	35
Figur 3.2 TinyTag +2 (Gemini data loggers, 2013)	35
Figur 3.3 Veiledende målepunkter for sirkulær kanal (Johansson & Svensson, 2007)	36
Figur 3.4 Måleinstrument Swema Air 300 og SWA 31 (Foto: Ingvild H. Haugen)	37
Figur 3.5 Traveringshull ventilasjonskanaler (Foto: Ingvild H. Haugen)	38
Figur 3.6 Hull i ventilasjonskanal (Foto: Ingvild H. Haugen)	38
Figur 3.7 Swegon regnestav for ventilasjonskanaler (Foto: Ingvild H. Haugen)	38
Figur 3.8 Nipler på spjeld (Foto: Ingvild H. Haugen)	39
Figur 3.9 Nipler og spjeldåpning (Foto: Ingvild H. Haugen)	39
Figur 3.10 Plassering av sensorene N1-N4 i "normalklasserommet" (Illustrasjon: Ingvild H. Haugen)	40
Figur 3.11 Plassering av sensorene P1-P4 i "problemklasserommet" (Illustrasjon: Ingvild H. Haugen)	40
Figur 3.12 Tinymesh Room Climate Sensor kalibreres for CO ₂ i noen rosebusker (Nilsen, 2013)	41
Figur 3.13 Tinymesh climate sensor (Nilsen, 2013)	41
Figur 3.14 Spørreskjema som ble brukt i undersøkelsen	43

Kapittel 4

Figur 4.1 St. Olav videregående skole (St. Olav VGS, 2013).....	46
Figur 4.2 Sum årlig energiforbruk fra 2004-2012 (Ribu,2012).....	47
Figur 4.3 Forholdet mellom ukes forbruket til fjernvarme og elektrisitet 2012 (Ingvild H. Haugen).....	48
Figur 4.4 Middeltemperatur i Rygge og Sarpsborg for 2012 (Meteorologisk institutt, 2013) ...	49
Figur 4.5 E-T kurve for 2012 (Ribu, 2012).....	49
Figur 4.6 Utdrag fra ENØK-rapport som viser resultat fra simulering før det ble gjort endringer med hensyn til fjernvarmen (Ribu, 2012).....	50
Figur 4.7 Utdrag fra ENØK-rapport som viser resultat fra simulering etter det er gjort vurderinger med hensyn til fjernvarmeforbruket (Ribu, 2012).....	51
Figur 4.8 Soneinndeling av kjelleren, sone U1 og U2 (Illustrasjon: Ingvild H. Haugen)	52
Figur 4.9 Soneinndeling av 1. etasje, H1-H6 (Illustrasjon: Ingvild H. Haugen)	53
Figur 4.10 Soneinndeling av 2. etasje (Illustrasjon: Ingvild H. Haugen).....	53
Figur 4.11 Soneinndeling av 3.etasje (Illustrasjon: Ingvild H. Haugen).....	54
Figur 4.12 Fasade hovedbygg (Foto: Ingvild H. Haugen).....	55
Figur 4.13 Fasade nybygg 3.etasje (Foto: Ingvild H. Haugen).....	55
Figur 4.14 Skjerm bilde fra SD-anlegget med oversikt over varmekursene for fjernvarmen	59
Figur 4.15 Bilde fra klasserom med normal personbelastning (Foto: Ingvild H. Haugen).....	61
Figur 4.16 Bilde fra klasserom med skjøteledninger hengende ned fra taket (Foto: Ingvild H. Haugen)	62
Figur 4.17 Språkklab med teknisk utstyr (Foto: Ingvild H. Haugen).....	62

Kapittel 5

Figur 5.1 Resultat fra temperaturlogging i test-klasserom gjennomført av Tiny-Mesh 22.03 ...	69
Figur 5.2 Resultat fra temperaturlogging i problemklasserom gjennomført av undertegnede 08.03.....	69
Figur 5.3 Døgnvariasjon i CO ₂ -konsentrasjon i normalklasserommet, målinger fra fire sensorer i ulike deler av rommet.	70
Figur 5.4 Døgnvariasjon i CO ₂ -konsentrasjonen i problemklasserommet, målinger fra fire sensorer plassert i ulike deler av rommet.....	70
Figur 5.5 Resultat fra logging av RH i problemklasserommet 22.03. Resultatet viser logging fra fire forskjellige steder i rommet, P1-P4.....	71
Figur 5.6 Resultat fra logging av RH i problemklasserommet 08.03. Resultatet viser logging fra to steder i rommet.....	71

Figur 5.7 Resultat fra spørreundersøkelse om opplevd temperatur i testklasserommene.....	72
Figur 5.8 Resultat fra spørreundersøkelse om opplevd luftkvalitet i testklasserommene.....	72
Figur 5.9 Resultat fra spørreundersøkelse om hodepine.....	73
Figur 5.10 Resultat fra spørreundersøkelse om opplevd lufthastighet ved vinduer.....	73
Figur 5.11 Termografering av søyle i "problemklasserommet" (Foto: Harald Halsen)	74
Figur 5.12 Termografering av bjelke i "problemklasserommet" (Foto: Harald Halsne).....	74
Figur 5.13 Case 1a: Resultat fra simulering av utgangspunktet. Inndata basert på veiledende verdier gitt i NS 3031.....	75
Figur 5.14 Case 1b: Inndata basert på veiledende verdier gitt i NS 3031 og antatte luftmengder	76
Figur 5.15 Case 2a: Resultat fra simulering med beregnet reelt bruksmønster og internlaster	77
Figur 5.16 Case 2b: Resultat fra simulering hvor tappevann er fjernet fra soner som ikke har servanter.....	77
Figur 5.17 Case 3a: Resultat fra simulering basert på de målte luftmengdene i kapittel 5.2.1....	78
Figur 5.18 Case 3b: Resultat fra simulering basert på målte luftmengder og beregnet SFP.....	79
Figur 5.19 Case 3c: Resultat fra simulering basert på målte verdier på luftmengde, SFP og varmegjennvinningsgrad	79
Figur 5.20 Case 4a: Beregnet levert energi ved reduserte settpunkttemperaturer i sone H2 og H6	80
Figur 5.21 Case 4b: Beregnet levert energi når settpunkttemperatur i og utenfor driftstiden er 21 °C/18 °C for alle soner i hovedbygget og 19 °C /17 °C for sone H02 og H06.....	80
Figur 5.22 Case 4c: Beregnet levert energi når effekt til oppvarming er redusert fra 50 W/m ² til 30w/m ² i sonene H02 og H06.....	81
Figur 5.23 Case 4d: Beregnet levert energi når soner uten egen varmeavgiver har effekt til oppvarming lik null.....	81

LISTE OVER TABELLER

Kapittel 2

Tabell 2.1 Effektbehov for diverse utstyr (Novakovic et al., 2007).....	14
Tabell 2.2 Anbefalte verdier for innendørs lydnivå skoler (Hveem, 2010).....	18
Tabell 2.3 Varmetilskudd – standardverdier for gjennomsnittlig varmetilskudd i driftstiden for belysning, utstyr, varmtvann og personer. Hentet fra NS 3031 tabell A.2. (Standard Norge, 2007).....	27
Tabell 2.4 Veiledende verdier for spesifikk luftmengder og spesifikk vifteeffekt, SFP (Standard Norge, 2007).....	28
Tabell 2.5 Standardverdier for gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden for belysning, utstyr og varmtvann (Standard Norge, 2007).....	29

Kapittel 3

Tabell 3.1 Alternative simuleringer (Programbyggerne, 2013b).....	32
Tabell 3.2 Inndata i SIMIEN.....	33
Tabell 3.3 Casene som simuleres	44

Kapittel 4

Tabell 4.1 Spesifikt- og totalt graddagskorrigert energiforbruk for perioden 2008-2012	47
Tabell 4.2 Elektrisitet- og fjernvarmeforbruk for perioden 2008-2012.....	48
Tabell 4.3 Sone-id og beskrivelse av de 12 sonene som simuleres	51
Tabell 4.4 U-verdier for de tre typene yttervegg (Ribu, 2012).....	55
Tabell 4.5 Oversikt over vinduer i hovedbygg med dimensjon og antall.....	56
Tabell 4.6 Oversikt over vinduer i nybygg med dimensjon og antall.....	57
Tabell 4.7 Oversikt over ventilasjonsaggregatene med dekningsområde og antatte luftmengder.....	58
Tabell 4.8 Kartlagt bruksmønster for de ulike sonene	63

Kapittel 5

Tabell 5.1 Resultater fra beregning av personbelastning for de tolv sonene	64
Tabell 5.2 Resultater fra beregning av effekt til belysning fordelt på de tolv sonene	65
Tabell 5.3 Resultater fra beregning av effekt til utstyr fordelt på de tolv sonene.....	65
Tabell 5.4 Resultater fra luftmengdemåling avtrekkskanaler hovedanlegg 36.01.....	66

Tabell 5.5 Resultat fra luftmengdemåling tilluftskanaler hovedanlegg 36.01	66
Tabell 5.6 Resultat fra luftmengdemåling av avtrekkskanal aggregat 36.02.....	67
Tabell 5.7 Resultat fra luftmengdemåling av tilluftskanal aggregat 36.02.....	67
Tabell 5.8 Resultat fra beregning av total vifteeffekt og SFP for begge ventilasjonanlegg.....	67
Tabell 5.9 Målte temperaturer og beregnet temperaturvirkningsgrad for ventilasjonsanlegg 36.01.....	68
Tabell 5.10 Målte temperaturer og beregnet temperaturvirkningsgrad for ventilasjonsanlegg 36.02.....	68
Tabell 5.11 Oversikt over de casene som er simulert.....	75
Tabell 5.12 Formålsdelt energibudsjett for case 2a og case 2b.....	78
Tabell 5.13 Case 4, tilhørende simulerte temperaturer for mars måned	80
Tabell 5.14 Case 4b, tilhørende simulerte temperaturer for mars måned.....	81

1.0 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

I denne studien skal forskjellen mellom beregnet og målt energiforbruk ved St. Olav videregående skole i Sarpsborg analyseres. I følge SINTEF Byggforsk er det i Norge svært få prosjekter som har sammenlignet forskjellen mellom beregnet og målt energiforbruk.

”Det er et mål å etablere en nasjonal database som sammenstiller beregnet og faktisk målt energibruk i bygg, og som gir detaljert informasjon om faktorer som kan forklare eventuelle avvik mellom beregnet og målt energibruk” (Dokka et al., 2011).

St. Olav Videregående skole er en del av et forskningsprosjekt om bærekraftig rehabilitering av bygg, i regi av VRI (Virkemidler for regional FoU og innovasjon) Østfold. Det er med utgangspunkt i forskningsprosjektet at arbeidet rundt denne masteroppgaven er satt i gang. I 2012 gjennomførte COWI en ENØK-analyse av bygget, med hensikt å presentere tiltak for energieffektiv rehabilitering. Resultatene fra analysen var overraskende. Det beregnede energiforbruket var mye høyere enn det målte energiforbruket. På bakgrunn av dette, ble det vanskelig å presentere tiltak som skulle forbedre energiforbruket når det allerede var på et lavt nivå. Beregnet levert energi til bygningen var på 1665664 kWh mot et målt snittforbruk for de fem siste årene på 899479 kWh. Denne oppgaven ønsker å ta opp det arbeidet som ble gjort med ENØK-rapporten, og videreutvikle en ny simuleringsmodell for å finne svar på hva det store avviket kan skyldes.

1.2 Problemstilling

Målet med denne masteroppgaven er å analysere forskjellen mellom beregnet og målt energiforbruk ved St. Olav Videregående skole.

Fra simuleringer i ENØK-rapporten som er basert på NS 3031 ble det simulert et energiforbruk som var 85 % høyere enn det målte. Hovedproblemstillingen i denne oppgaven vil være å se på årsaker til dette avviket. For å avdekke dette er det fokusert på:

- Internlaster og bruksmønster.
- Data på ventilasjonsanlegget med hovedvekt på luftmengder.
- Inneklima og energibruk. Det er ønskelig å se på hvordan inneklimaet er på skolen og om det er mulig å se noen sammenhenger mellom det lave energiforbruket og inneklimaet.

1.3 Målsetting og begrensning

Opgavens hovedfokus er å finne årsaken til avvik mellom det simulerte og det virkelige energiforbruket som vist i ENØK-rapporten fra 2012. Det vil i avviksanalysene bli fokusert på levert energi. Det var ikke mulig å få til en formålsdelt energimåling, sammenligningen vil derfor være basert på hoved energistrømmer som elforbruk og fjernvarmeforbruk. Det er gjort begrensninger i oppgaven med hensyn til de parameterne som var mulige å måle. Videre er oppgaven begrenset ved å simulere enkelte caser for de parameterne som er målt. Disse casene skal i størst mulig grad gjenspeile den reelle situasjonen på skolen. En naturlig begrensning for oppgaven har vært utilgjengeligheten av måleresultater som følge av forsinkelser med installering og kalibrering av måleutstyret. Det blir ikke sett på tiltak for å bedre dagens energiforbruk. Fokuset er rettet mot byggets virkelige forbruk.

1.4 Oppgavens oppbygging

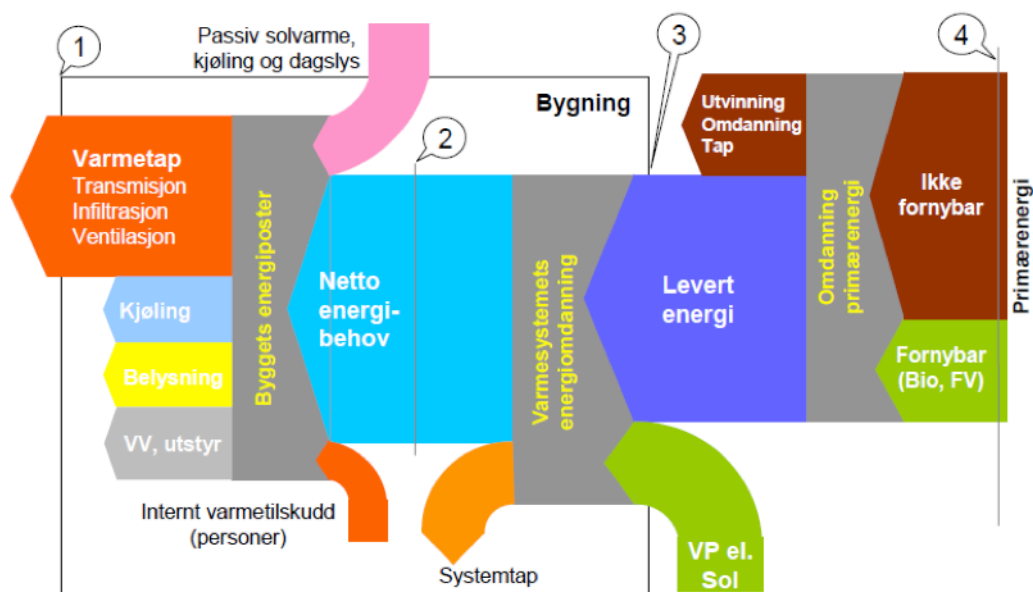
I kapittel 2 vil relevant teori bli belyst. Videre presenteres metode og simuleringsverktøy i kapittel 3. I kapittel 4 presenteres skolen samt relevant informasjon som blir brukt i simuleringene. Resultater fra målinger og simuleringer beskrives i kapittel 5. I kapittel 6 diskuteres måle- og simuleringsresultat. Konklusjon og forslag til videre arbeid er å finne i kapittel 7.

2.0 TEORETISK FORANKRING

Dette kapittelet har til hensikt å gi en generell oversikt over hvordan energibalansen i et bygg er og hvilke faktorer som påvirker energibehovet. Det vil bli presentert et utvalg av parametere knyttet til inneklime. Videre blir det trukket frem tidligere erfaringer fra simulert og målt energibehov, og til slutt blir det gitt en beskrivelse av den norske standarden som ligger til grunn for bestemmelsen av bygningers energiytelse, NS 3031:2007.

2.1 GENERELT OM ENERGIBEHOV I BYGNINGER

Energibehovet i bygninger er avhengig av flere faktorer. Som det kommer frem av figur 2.1 er det en større prosess som er avhengig av byggets konstruksjon med bygningsfysiske egenskaper, tekniske installasjoner, interne varmetilskudd og ytre klimapåkjenninger. Hver av disse faktorene vil bli belyst i underkapitler som følger.



Figur 2.1 Energibalansen i bygninger (Killingland, 2009)

2.1.1 Energibegreper

Det skiller hovedsakelig mellom fire energibegrep. Nummerering med tall fra 1 til 4 i figur 2.1 illustrerer hva som inngår i de ulike energibegrepene. Definisjoner på begrepene er hentet fra NS 3031:2007 og (Killingland, 2007):

(1) "Brutto energibehov"

"Brutto energibehov" er ikke definert i standarden men omtales her som det totale

energibehovet til et bygg. Det tar for seg energibehovet for å dekke byggets mange energiposter. "Brutto energibehov" omfatter tilført energi fra energisystemet, interne varmetilskudd og passive soltilskudd (Killingland, 2009).

(2) Netto energibehov

«Bygningens energibehov uten hensyn til energisystemets virkningsgrad eller tap i energikjeden»

Netto energibehov er energibehovet som skal dekkes av de tekniske installasjonene som inkluderer romoppvarming, romkjøling, varmebatterier, kjølebatteri, belysning, teknisk utstyr, vannoppvarming, vifter og pumper.

(3) Levert energi

«Summen av energi, uttrykt per energivare, levert over bygningens systemgrense for å dekke bygningens samlede energibehov inkludert systemtap som ikke gjenvinnes»

Størrelsen på behovet baseres på netto energibehov regnet om med hensyn til systemvirkningsgrader. Følgende formel beskriver forholdet:

$$\text{Levert energi} = \frac{\text{Netto energibehov}}{\text{Systemvirkningsgrad}}$$

Beregnet levert energibehov er beregnet ut fra netto energibehov og ikke den reelle leverte energien i bygningen.

(4) Primærenergi

"Energi i sin opprinnelige form som ikke er blitt omdannet eller gått over i andre energiformer."

2.1.2 Bygningsfysiske egenskaper

Bygningsfysiske egenskaper beskriver de tekniske utformingene av et bygg utover det rent lastbærende. Gjennom bygningskroppen kan det oppstå et varmetap avhengig av utformingen. Dette varmetapet kan for eksempel knyttes til infiltrasjon eller transmisjon.

Varmetransport – transmisjonstap

De termiske prosessene som foregår i en bygning er nødvendig å kjenne til for å forstå energibruken i en bygning. Hver eneste bygningskomponent har en evne til å transportere varmeenergi. Varmebalansen i en bygningsdel er et samspill mellom varmetap, varmetilførsel og varmelagring. Når det oppstår en temperaturforskjell mellom to sider av en konstruksjon, eller et materiale, starter en varmetransport i retning av fallende temperatur. Varmetransporten kan skje via varmeledning, konveksjon eller stråling. (Edwardsen & Ramstad, 2007; Novakovic et al., 2007). Varmemotstanden for hvert sjikt i en sammensatt konstruksjon er forskjellig. Materialenes varmekonduktivitet (varmeledningsevne) avhenger av materialets struktur, densitet, temperatur og fuktinnhold. Materialer med relativt høy varmekonduktivitet er for eksempel betong, tegl og metaller (Karlsson, 2007).

Varmegjennomgangskoeffisienten (U-verdien) for en sammensatt konstruksjon angir hvor mye varme som kan strømme gjennom et areal på 1 m² ved en konstant temperaturforskjell på 1K (1 C°) mellom varm og kald side. U-verdien er gitt av formelen (Edwardsen & Ramstad, 2010):

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U \quad (1)$$

Hvor

U : Varmegjennomgangskoeffisient [W/(m²K)]

R_T : Total varmemotstand [m²K/W]

ΔU : Tillegg pga. utforming, utførelse m.m [W/(m²K)]

Transmisjonsvarmetapet gjennom vinduer er vesentlig større enn for godt isolerte vegger og tak. Vinduet fungerer som energiventil, ved at det har et energitap på grunn av høy U-verdi men det tilfører også energi gjennom solvarme. Det er derfor ønskelig å prosjektere et bygg med så lavt vindusareal som mulig. (Novakovic et al., 2007).

Kuldebro

Kuldebroer er områder i konstruksjonen med betydelig lavere varmemotstand enn omsluttende homogene deler av konstruksjonen. I slike partier oppstår det lokal sterk varmestrøm og et ekstra varmetap. Varmetapet gjennom kuldebroer kan representere en relativt stor prosentandel av det totale transmisjonsvarmetapet (Gustavsen et al., 2008 ; Edwardsen & Ramstad, 2010).

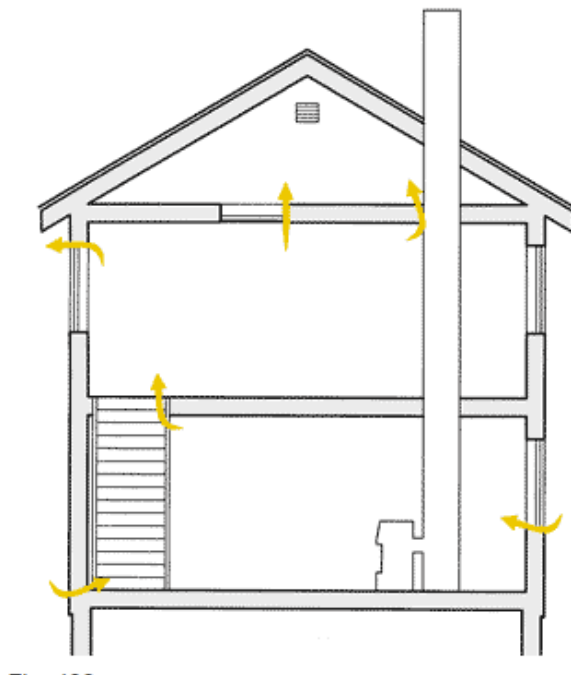
Det er temperaturen på omgivende flater som golv og vegger som er avgjørende for kuldebroen. Hvis det i områder oppstår lave overflatetemperaturer, er det naturlig at brukeren øker lufttemperaturen for å bedre komfort. Høyere lufttemperatur vil igjen føre til økt varmetap gjennom konstruksjonen (Gustavsen et al., 2008).

Normalisert kuldebroverdi beregnes for et helt bygg. Alle bidrag fra kuldebroer summeres opp og divideres med oppvarmet bruksareal. Det er i TEK10 fastsatt at normalisert kuldebroverdi ikke skal overstige $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ for øvrige bygg. Standardverdi for bæresystem i betong, mur eller stål og 10 cm kuldebrobryter er satt til $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ ifølge NS 3031. Primært er denne verdien fastsatt for nyere bygninger (Gustavsen et al., 2008).

I betong- og mur-konstruksjoner er det viktig at det er benyttet kuldebrobryter. Det bør unngås gjennomgående sjikt med betong fra kald til varm side av konstruksjonen. Varmeledningsevnen til armert betong er nærmest 20 ganger større enn for treverk og 50 ganger større en for mineralull. (Myhre & Dokka, 2004).

Infiltrasjonstap

Luftlekkasjer gjennom utettheter i bygningskroppen og åpninger som vinduer og dører, betegnes som infiltrasjon. Det er flere forhold som er med på å bestemme det aktuelle infiltrasjonstapet. Lufttettheten av bygningens klimaskjerm, trykkforskjellen mellom inne- og uteluft, bygningens bruksmønster og bygningens høyde. (Edvardsen & Ramstad, 2010)



Figur 2.2 Vanlige lekkasjesteder (Dyrstad, 1999)

Luftlekkasjer i bygningskroppen fører til luftstrøm inn eller ut av bygget, avhengig av trykkforskjellen over bygningsdelen. Luftlekkasjer kan gi trekk, og føre til ønske om økt varmetilførsel. På denne måten vil infiltrasjonstap bidra til et direkte og et indirekte varmetap. Det er spesifisert normverdier for luftlekkasjetall i TEK10. Kravnivå for største lekkasjetall for øvrige bygg er på 1,5 luftveksling per time ved trykkforskjell på 50 Pa. Generelt er det fastsatt et minstekrav til at lekkasjetallet skal være under 3,0 luftvekslinger per time ved trykkforskjell 50 Pa (Aurlien, 2012).

Forholdet mellom en bygnings lufttetthet og ventilasjonsanlegg spiller en viktig rolle i forbindelse med det totale varmetapet. Luftskifte på grunn av infiltrasjon kommer i tillegg til ventilasjonsluftmengden.

Tunge pussede konstruksjoner er ofte lettere å gjøre lufttette enn bindingsverkkonstruksjoner (Novakovic et al.,2007). I tillegg vil størrelsen på luftlekkasjene være avhengig av værforhold, sterk vind fremprovoserer større lekkasjer (Edwardsen & Ramstad, 2010).

2.1.3 Tekniske installasjoner

Ventilasjonsanlegg

Energiforbruket knyttet til ventilasjon utgjør en stor del av det totale energibehovet i bygninger. Balansert mekanisk ventilasjon er den sikreste løsningen for å sikre et godt inneklima med lavt energiforbruk. Mange eldre skoler har i dag naturlig ventilasjon eller et enkelt mekanisk anlegg. Ofte er disse anleggene lite tilfredsstillende i forhold til nåværende krav til luftmengder og trekkproblemer (Mysen, 2005).

Behovet for tilført uteluft varierer med forurensningsbelastning og termisk belastning. Forurensningsbelastning kommer hovedsakelig fra menneskene som oppholder seg i rommet, men også fra materialbelastning som møbler og installasjoner. Teknisk forskrift til Plan- og Bygningsloven stiller krav til luftkvalitet. Nødvendige luftmengder kan beregnes ut fra følgende formel (Blom, 1999a).

$$v = A + B = \frac{p}{n} + B \quad (2)$$

Hvor:

- v : Uteluftsmengde [l/s pr. m²]
- p : Personfaktor [l/s pr. person]
- n : Personbelastning [m² gulvareal pr. person]

- B : Materialbelastning [l/s pr m²]
A : Personbelastning

$$V = v \cdot A_g \quad (3)$$

Hvor:

- V : Luftmengde i et rom [l/s]
A_g : Netto gulvareal i det aktuelle rommet [m²]

Personfaktor kan settes til 10 l/s , denne faktoren har en forventet andel misfornøyde på 15%. Materialbelastning fastsettes som oftest til 1,0 l/s pr m² ved kjente materialer som ikke nødvendigvis trenger å ha dokumenterte emisjonsegenskaper (Blom, 1999a).

Luftmengder i ventilasjonsanlegget kan enten være behovsstyrt eller konstant. Med behovsstyrte ventilasjonsanlegg (VAV) søker en å variere luftmengdene avhengig av behov. På denne måten minimaliseres luftmengdene i perioder ved redusert personbelastning i et rom. Dette medfører en reduksjon i energibruk og driftskostnader samtidig som man opprettholder tilfredsstillende inn klima. Variable luftmengder er spesielt gunstig for auditorier, klasserom og forsamlingslokaler hvor bruk og behov varierer mye (Novakovic et al.,2007). Det er for eldre ventilasjonsanlegg vanlig med konstante luftmengder (CAV) gjennom hele driftstiden. Det kan forventes at luftmengder i ventilasjonsanlegget reduseres over tid (Arbeidstilsynet, 2012).

I tillegg til luftmengder, har energigjenvinningsgraden stor betydning for det totale energibehovet i bygninger. Det er ønskelig å utnytte energien i varm avtrekksluft. Den varmemengden som føres bort med avtrekksluften er ofte flere ganger så stor som transmisjonstapet gjennom bygningen, dersom varmegjenvinner ikke er benyttet (Røstad, 1972). Virkningsgraden til en varmegjenvinner beskriver forholdet mellom virkelig overført varmemengde i gjenvinneren og varmemengden i avtrekksluften (Novakovic et al.,2007).

Temperaturvirkningsgraden er definert som følgende, når det er konstant volumstrøm i driftsperioden:

$$\eta_t = \frac{L_t (t_2 - t_1)}{L_{min} (t_3 - t_1)} \quad (4)$$

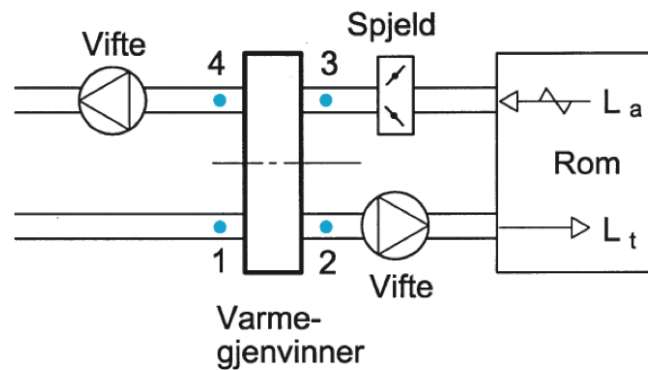
Hvor:

L_t : Tilluftsmengde [m^3/h]

L_a : Avtrekksmengde [m^3/h]

L_{min} : Den minste av tilluftsmengde og avtrekksluftmengde [m^3/h]

t : Tørr lufttemperatur målt ved tre punkter, som vist i figur 2.3 [$^{\circ}C$]

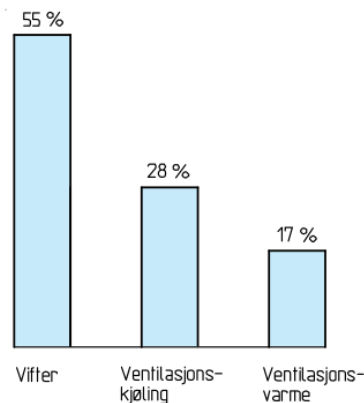


Figur 2.3 Betegnelse på luftstrøm i de ulike delene av et ventilasjonsanlegg (Schild & Hestad, 2002)

Vifter

Viftene i et ventilasjonsanlegg er en av de komponentene som i størst grad er med på å trekke opp energiforbruket til et ventilasjonsanlegg. Energiforbruket knyttet til viftene er avhengig av luftmengdene i kanalsystemet, trykkfallet samt viftens og motorens virkningsgrad. Det er ønskelig med et lavt trykkfall for hele systemet. Lavt trykkfall vil gi mindre støy fra viftene og lavere energiforbruk (Sandbakken, 2002).

Undersøkelser viser at ca 15-20 % av energibruken i moderne næringsbygg går til elektrisk energi til drift av vifter (Novakovic et al.,2007). Typisk energifordeling til et ventilasjonsanlegg for et kontorbygg på 10 000m² er vist i figur 2.4.



Figur 2.4 Typisk energifordeling i ventilasjonsanlegg (Mysen, 2000)

En nyttig parameter for å evaluere energieffektiviteten til et ventilasjonsanlegg er SFP faktoren. Byggforsk har gitt følgende definisjon av spesifikk vifteeffekt (SFP):

”SFP er forholdet mellom den elektriske effekten som er nødvendig for å drive viftene og den luftmengden som forflyttes ved hjelp av disse viftene” (Thunhelle & Hellstrand, 2006).

$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}} \quad (5)$$

Hvor:

SFP : Spesifikk vifteeffekt [kW/(m³/s)]

$\sum P$: Summen av alle vifteeffekter [kW]

\dot{V} : Total sirkulert luftmengde [m³/s]

Luftmengden i formelen er den største av tilluft- eller avtrekksluftmengden. Det beregnes med 100 % kapasitet for CAV-anlegg og 80% kapasitet for VAV-anlegg (Polak, 1998).

Eksisterende anlegg som er eldre enn 1990, mangler vanligvis komplett teknisk dokumentasjon for SFP. Det er da mulig å utføre en forenklet metode for bestemmelse av denne. Ved den forenklete metoden blir ikke SFP verdien nøyaktig, men den vil gi en indikasjon på hvordan anlegget fungerer. Luftmengder må da måles i tillegg til et oversalg av effekten til viftene. Måling av strømstyrke kan gjøres ved hjelp av stangamperemeter og effekten beregnes ut fra følgende formel (Polak, 1998):

$$P = I \times U \times 1,73 \times \cos\varphi \quad (6)$$

Hvor:

P : Effekt [W]

I : Strømstyrke [A]

U : Spenning [V]

$\cos \varphi$: Faseforsyning mellom strøm og spenning

Varmeanlegg og fjernvarme

Varmeanlegg med fjernvarme er et energisystem som genererer varme sentralt og transporterer varmen via varmebærende medium som for eksempel vann til sluttforbruker. Vannbaserte varmeanlegg som prosjekteres i dag består gjerne av gulvvarme, radiatorer og konvektorsystemer som varmeavgivere. Induksjonsapparater og vannoppvarmet varmluftsystem er eksempler på varmeavgivere som ble brukt tidligere. Varmen fra vannanlegget kan også benyttes til varmebatteriet i ventilasjonsanlegget (Gundersen, 1995).

Effektleveransen til varmeavgivelsen kan reguleres ved hjelp av to reguleringsystem, enten ved regulering av gjennomstrømmet mengde eller ved å endre temperaturen på vannet. For vannbårne varmeanlegg er det fokus på å utnytte temperaturnivåer. Overføringskapasiteten i anlegget er proporsjonal med temperaturdifferansen (ΔT) mellom tur- og returvannet (Gundersen, 1991). Det er ønskelig at retur temperaturen til vannet er lavt, slik at det er en så høy vannavkjøling som mulig. Jo høyere turtemperaturen på vannet er desto lettere er det å få en optimal vannavkjøling. En vannavkjøling med ΔT på 30°C er ønskelig. Dersom ΔT er lavere enn 20 °C er det ikke tilfredsstillende. En lav vannavkjøling kan uttrykke at det varme vannet passerer varmeavgiveren uten å avgi tilfredsstillende varme til rommet (E.ON, 2012).

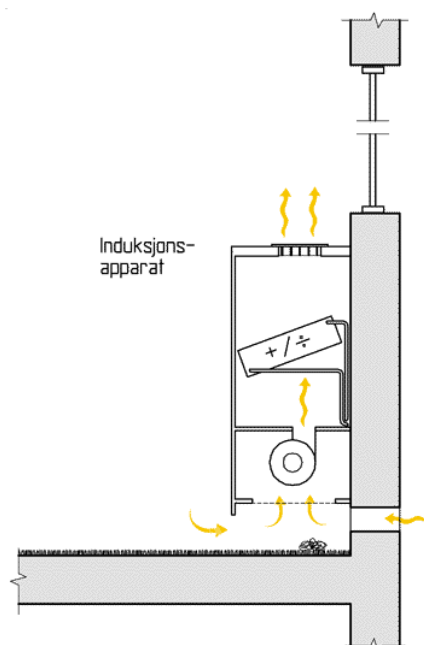
De fleste fjernvarmesystem er i dag designet som torørssystem. På grunn av at varmeelementene er parallellkoblet vil alle varmeavgiverne motta vann av tilnærmet lik temperatur. Dersom varmeelementene er seriekoblet i et ettrørssystem vil vanntemperaturen avta desto lengre man kommer bort fra varmesentralen (Frederiksen & Werner, 2012).

Temperaturen til fjernvarmevannet er avhengig av hva energien skal brukes til. I nye anlegg dimensjoneres det med en turtemperatur på 55-60 °C. Varmeanlegg som har lavere turtemperatur enn 60 °C regnes som lavtemperaturanlegg (Gundersen, 1991).

Riktig innregulering av varmeanlegget er avgjørende for at anlegget skal fungere. Med innregulering menes blant annet eliminering av smuss og luftbobler samt kontroll av ventiler som skal levere vannet (VVS Forum, 2013). Ved problemer som luftlommer eller avleiring i rørsystemet, vil det føre til at varmeanlegget ikke fungerer optimalt (Wigenstad, 2009). Luftbobler kan skape problemer knyttet til støy, korrosjon og redusert kapasitet i nettet (Gundersen, 1996). Med hensyn til komfort og energisparing er det i det lange løp, nødvendig at anlegget har kapasitet til å gjøre jobben sin. Sirkulasjon i hele anlegget og tilstrekkelig med ventiler er derfor nødvendig. Det er pumper som sørger for å opprettholde sirkulasjon av vannmengdene (VVS Forum, 2013).

Induksjonsanlegg

Som allerede beskrevet ble induksjonsapparat tidligere brukt til oppvarming. Det var på slutten av 70-tallet at de siste induksjonsanleggene ble installert. Et induksjonsanlegg består av induksjonsapparater som vanligvis plasseres under vinduer i yttervegg. Prinsippet til induksjonsanlegget bygger på et vann-luft-system hvor luft tilføres under apparatene, luften varmes opp via varmebatteriet i induksjonsapparatet og spres ut i rommet (Stensaas, 1973). Figur 2.5 viser prinsippet for et induksjonsanlegg.



Figur 2.5 Induksjonsanlegg (Blom, 2001)

Den luftmengden som strømmer ut i rommet er sammensatt av primærluftmengden og sekundærluftmengden. Primærluften kommer fra dysene i ventilasjonskanalene og tilsvarer friskluftbehovet i rommet. Denne temperaturen holder vanligvis en temperatur på 10-15 °C. Sekundærluften er den som allerede er i rommet. Ved ejetorvirkning

trekkes (induseres) sekundærluften med gjennom apparatet og ledes gjennom varmebatteriet. Og på denne måten dekkes rommets varmebehov og frisklufttilførselen i rommet (Rasmussen & Hanssen, 1993).

For regulering av romtemperatur kan dette gjøres manuelt eller ved termostat. Når det gjøres ved termostat kalles det pneumatisk styring. Når det er synkende varmebehov kan en del av sekundærluften ledes forbi varmebatteriet. Dette reguleres av spjeld som er koblet til termostaten. Termostaten kan også regulere ventiler som påvirker vannmengden gjennom batteriet (Stensaas, 1973).

Når ventilasjonsanlegget som tilfører primærluften stoppes vil lufthastigheten over induksjonsbatteriet avta, varmetilførselen vil da skje via egenkonveksjon. I noen tilfeller vil temperaturen utenfor driftstiden bli for lav (Stensaas, 1973).

2.1.4 Interne varmetilskudd

Med interne varmetilskudd menes varme som avgis fra internlaster som personer, utstyr og belysning. For de fleste bygninger vil varmeavgivelsen fra internlaster spille en stor rolle i forhold til den totale energibalansen i bygningen. For yrkesbygg vil betydningen av internlaster være større enn for vanlige boliger. Varmetilskuddet fra de ulike lastene kan variere avhengig av bygningstype og bruksmønsteret. Interne varmetilskudd kan gi både positive og negative effekter. På vinterhalvåret kan varmetilskuddet bidra til positiv effekt ved lavere effektbehov til oppvarming. I motsetning til sommerhalvåret hvor varmetilskuddet kan være så stort at det vil føre til økt kjølebehov for å få et tilfredsstillende innneklima (Novakovic et al.,2007).

For yrkesbygg er varmetilskuddet for belysning beskrevet som det største interne varmetilskuddet. I eksisterende kontorbygg kan belysningen utgjøre 30-60% av den totale energibruken. Effekten til belysning i eldre kontorbygg kan i verste fall være opp i 25-30 W/m². Vanlige verdier for installert effekt til belysning varierer avhengig av bygningskategori. Bygningens alder og romtype er også avgjørende for den installerte effekten. For skolebygg er det beskrevet en vanlig verdi mellom 5-10 W/m². Bruksmønsteret til bygget og styring av lyset har betydning for hvor stort det interne varmetilskuddet blir (Novakovic et al.,2007).

Varmetilskuddet fra utstyr varierer også sterkt avhengig av bygningskategori og bruksmønsteret i bygningen. Her kan det være individuelle variasjoner innenfor én og

samme kategori, avhengig av type rom, type utstyr og bruksmønster. Effektbehovet til vanlig utstyr som brukes på skoler er i følge boken "ENØK i bygninger":

Tabell 2.1 Effektbehov for diverse utstyr (Novakovic et al., 2007)

Utstyr	Effekt [W]
PC, stasjonær	230
PC, bærbar	50
Kopimaskin i drift	1000-2000
Kopimaskin i ventemodus	200-600
Prosjektor	200
Kaffetrakter	200-500
Mindre kjøleskap	200-300

Varmetilskudd fra personer avhenger av personbelastningen i det spesifikke rommet. Varmetilskuddet for elever i klasserom eller en kontorarbeider er satt til å være 70 W (Novakovic et al.,2007).

2.1.5 Energiforbruket til varmt tappevann

Det kan være vanskelig å bestemme en nøyaktig energimengde som kreves til oppvarming av tappevann. For å anslå en pålitelig verdi er det avgjørende å kjenne til bruksmønster, aktiviteter og antall personer som bruker det aktuelle bygget. Det er for skolebygninger uten svømmebasseng og kontorbygg et relativt lite forbruk av energi til oppvarming av tappevann. Andelen av det totale energiforbruket kan i denne sammenhengen være nede i 2-3 %. For sykehus og hoteller anslås det en prosentandel på rundt 10-15 %. Følgende formel kan benyttes ved overslagsberegning av energiforbruk tilknyttet oppvarming av tappevann (Emilsen, 2007):

$$Q = G \times c_v \times \Delta T \quad (7)$$

Hvor:

- Q : Mengden energi [kJ]
- G : Varmet mengde vann [l]
- c_v : Vannets spesifikke varme (4,18)
- ΔT : Vannets temperaturøkning (°K)

Samme formel kan enkelt omformes til å kontrollere varmet mengde vann (Emilsen, 2007).

2.1.6 Ytre klimapåkjenninger

Klimapåkjenninger som temperaturvariasjon, vind og sol kan påvirke energibruken i et bygg. Forskjellen i temperatur mellom inne og ute har innvirkning på varmetapet. For beregning av energimengde som kreves for å holde et bygg varmt er det nødvendig å kjenne til middeltemperaturen på det stedet bygningen befinner seg. Det er i den forbindelse viktig å benytte relevante klimadata. For eksempel ved dimensjonering av effektbehovet til oppvarming er det nødvendig å kjenne til klimastedets laveste temperatur (Espedal, 2010).

Vindforhold vil påvirke trykkforholdene mellom inne og uteluften. Som allerede beskrevet er det dette trykkforholdet som er med å avgjøre størrelsen på varmetapet som knyttes til infiltrasjon.

Solstråling vil gi en positiv effekt ved tilførsel av varme. I perioder vil soltilskuddet kunne dekke en del av oppvarmingsbehovet, men også føre til overskuddsvarme som må ventileres bort. Opplysninger om antall soltimer er nødvendig for å kunne anslå energimengden som kommer som følger av solstråling. I følge boken "byggningsfysikk" kan sollyset ha en varmeeffekt på 900 W/m^2 når det er skyfritt og solen står på sitt høyeste (Espedal, 2010).

2.4 INNEKLIMA

Inneklima er definert av WHO til å omfatte termisk, atmosfærisk, akustisk, aktinisk og mekanisk miljø (Store Norske Leksikon, 2013). Det å definere *hva* et godt inneklima innebærer er på en annen side en vanskelig jobb da ulike individer reagerer ulikt og har forskjellige behov.

2.4.1 Bestemmelser for skoler

Det er for skolebygg vedtatt grunnleggende forutsetninger og krav i forhold til ventilasjon og inneklima. For videregående skoler gjelder opplæringslova. Loven sier blant annet (Lovdata, 2013):

"Alle elever i grunnskoler og videregående skoler har rett til et godt fysisk og psykososialt miljø som fremmer helse, trivsel og læring. Det fysiske miljø i skolen skal være i samsvar med de faglige normene som fagmyndighetene til enhver tid anbefaler."

Det beskrives som et problem at det i dagens lovverk er for upresise definisjoner på hva et "godt inneklima" innebærer (NAAF, 2013). Det er videre beskrevet det

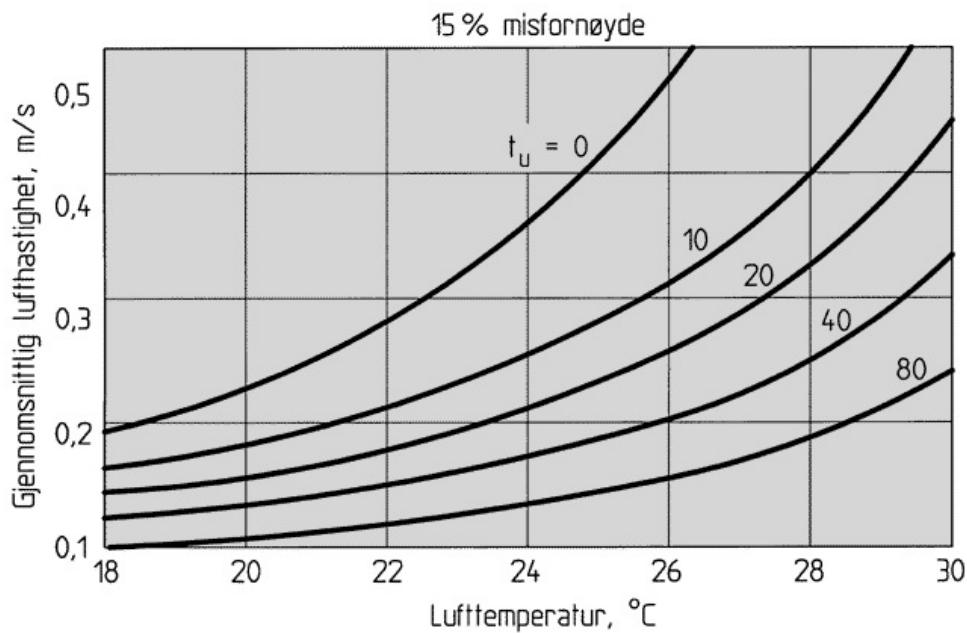
fagmyndighetene jamfør byggforskserien definerer som krav for de ulike parameterne som omhandler inneklime i skolebygninger.

2.4.2 Termisk miljø og betingelser for termisk komfort

Det termiske miljø omfatter lufttemperatur, strålingstemperatur, luftfuktighet og lufthastighet. Summen av alle disse parameterne har stor betydning for menneskenes varmebalanse og termiske komfort. Termisk komfort defineres som en subjektiv følelse hvor en er tilfreds med de termiske omgivelsene i rundt seg (Blom, 1999b). Oppfattelsen av omgivelsene er avhengig av det termiske inneklimate men også bekledning og aktivitet. For mål på det termiske inneklimate benyttes operativ temperatur som integrerer lufttemperatur og strålingstemperatur. Normen for operativ temperatur er gitt i forskrift om miljørettet helsevern i skoler. På vinteren er det fastsatt krav om 19-22 °C og på sommeren 19-26 °C (Mysen, 2005). I tillegg til å opprettholde den operative temperaturen er det viktig å påse at den vertikale temperaturen mellom hode- og ankelhøyde ikke blir for stor. Denne temperaturen skal ikke være høyere enn 3 °C for en sittende person (Novakovic et al.,2007).

Den relative fuktigheten bør ligge under 40 % på vinterhalvåret og under 70 % på sommerhalvåret. Generelt vil luftens relative fuktighet ha liten innflytelse på termisk komfort så lenge en er innenfor variasjonsområdet 20-60 % og en moderat romluftstemperatur. Den relative fuktigheten har størst betydning ved enten høye eller lave romtemperaturer. Når det er lav fuktighet og lav temperatur vil det føre til at avkjølingsprosessen av fordunstning av svette foregår hurtigere, og et menneske kan lett føle seg kald selv med relativt moderate temperaturer. Det motsatte vil inntreffe ved høy relativ fuktighet og temperatur (Novakovic et al.,2007).

Luftens hastighet er av stor betydning for vår termiske komfort. Høy hastighet kan oppleves som trekk og gir en uønsket lokal kjøling av kroppen. En lufthastighet over 0,15 m/sek oppfattes som trekk når luften er kjølig (Dalaker, 1994). Trekk kan skyldes lekkasjer i bygningskroppen, for store luftbevegelser fra ventilasjonsanlegget eller kaldras fra avkjølte flater som vinduer. Luftens middelhastighet skal for sommer- og vinterhalvåret være mindre enn det som spesifiseres for 15 % misfornøyde. Figur 2.6 beskriver kombinasjonen lufttemperatur, turbulensintensitet og gjennomsnittlig lufthastighet som gir en trekkvurdering på ventet andel misfornøyde på 15 % (Blom, 1999b).



Figur 2.6 Trekkvurdering med 15 % misfornøyde, kombinasjon lufttemperatur, turbulensintensitet og gjennomsnittlig lufthastighet (Blom, 1999a).

2.4.4 Atmosfærisk miljø

Atmosfærisk miljø omfatter forurensningskilder, ventilasjonssystem, rommets utforming og renhold. Menneskers oppfatning av det atmosfæriske miljø er basert på luftkvaliteten. Spørsmålet er om luften oppleves som frisk og behagelig. En god parameter for å kontrollere det er ved CO₂ kontroll. Nivået av CO₂ inne i et klasserom vil gi en god indikasjon på forurensning fra andre mennesker i rommet og effektiviteten til luftskiftet. Ved høy CO₂-konsentrasjon kan det indikere at et rom er for dårlig ventilert i forhold til belastning. Det er av myndighetene fastsatt en øvrig akseptabel grense for skoler og barnehager på 1000 ppm (Aas, 2013a).

Dersom tilluftmengden er lavere enn 10 l/s pr person og CO₂-konsentrasjonen overstiger 1000 ppm, viser en rekke inneklimateundersøkelser at risikoen for klager på inneklimate øker (Blom, 2001).

I skoler med mangelfull ventilasjon kan CO₂ nivået komme opp i 3000 ppm (Novakovic et al., 2007). Krav til luftmengder følger de samme formlene som allerede presentert i delkapittel om ventilasjon, formel 2 og formel 3. Det er personbelastningen, type lokaler og aktivitet som avgjør hvilken luftmengde som er tilfredsstillende. Det er for sekundærom som korridorer ikke like stort krav til luftmengder som i et klasserom. Mangelfull ventilasjon kan knyttes opp mot ujevn luftfordeling. Selv om den totale tilførte

luftmengden for hele anlegget er tilfredsstillende, kan en utilstrekkelig innregulering av ventilasjonsanlegget føre til for lite luft i enkelte rom (Blom, 2001).

2.4.5 Akustisk miljø

Det akustiske miljø omfatter lyd. Uønsket lyd er definert som støy, og balansegangen mellom hva som oppfattes som lyd og støy er veldig personavhengig. Om en lyd oppfattes som støy er avhengig av personen og den situasjonene han eller hun er i (Novakovic et al., 2007). SINTEF byggforsk har anbefalte innendørs lydnivåer og etterklangstider for ulike bygningstyper. For skoler er følgende anbefalinger gitt (Hveem, 2010):

Tabell 2.2 Anbefalte verdier for innendørs lydnivå skoler (Hveem, 2010)

	Anbefalt totalt lydnivå [dB]	Anbefalt lydnivå fra tekniske installasjoner [dB]	Anbefalte verdier for etterklangstid [s]
Klasserom	30	30-35	0,4
Korridor	45	40-45	0,8-1,0

2.5 METODER FOR REGISTRERING AV ENERGIFORBRUK

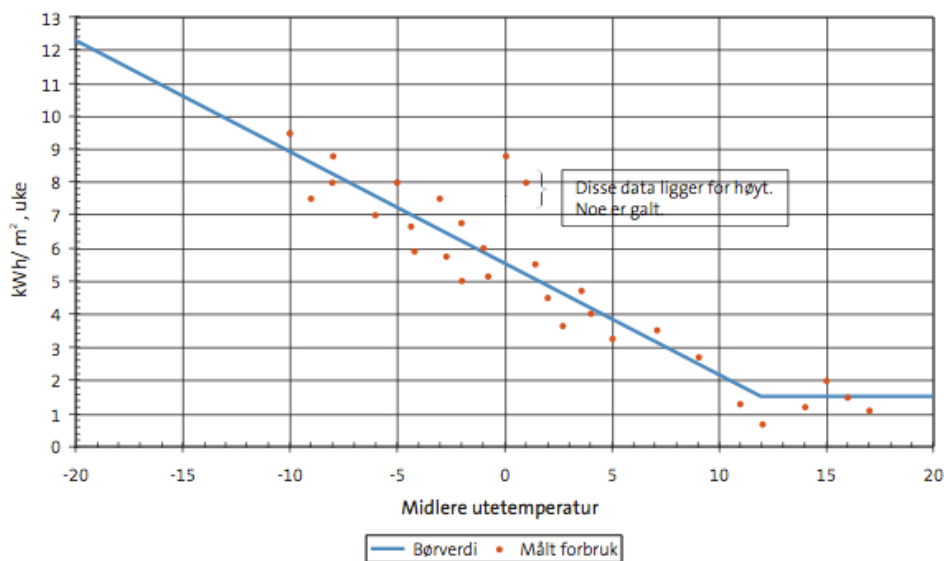
SD-anlegg

Sentral driftskontroll (SD-anlegg) er et databasert styringssystem. Ved hjelp av SD-anlegget kan man kommunisere med de tekniske anleggene i et bygg. Hovedsakelig benyttes det til regulering og styring av de tekniske anleggene. Reguleringen av for eksempel ventilasjonsanlegget kan skje automatisk ut fra en forhåndsinnstilt driftsstrategi. Anlegget mottar og presenterer driftsstatus og sender ut meldinger om eventuelle feil. Feilmeldinger mottas dersom det registreres verdier som overstiger fastsatte aksepterte nivåer. Automatiseringsgraden til SD-anlegget kan variere veldig. For de største anleggene kan det være mulig å kontrollere klima, alarmer, drift, lys, energi, sikkerhet og vedlikehold. De enkleste SD-anleggene har i hovedsak klima- og energikontroll (Emilsen, 2007).

ET-kurve

ET-kurver står for energi- temperatur og beskriver energibruken i en periode som funksjon av utetemperaturen. ET-kurven er sammensatt av energiforbruket pr m² og midlere utetemperatur. En ET-kurve er med på å beskrive driftskarakteristikken til et bygg, og er derfor et godt verktøy for analyser av avvik. Helningen på kurven sier noe om hvor følsom bygget er for utetemperaturene. Når kurven flater ut, vil det si at

utetemperaturen har liten innvirkning på energibruken. Dersom det skjer en utjevning i kurven ved lave temperaturer kan det indikere at varmeanlegget ikke er dimensjonert for lave temperaturer. Selv om ET-diagrammet ikke gir direkte informasjon om formålsdelt forbruk, er det mulig å skille ut temperaturavhengige deler av forbruket som knyttes til oppvarming og ventilasjon (Novakovic et al.,2007; Enova, 2004). Figur 2.7 illustrerer hvordan et ET-diagram kan utformes.



Figur 2.7 Eksempel på en ET-kurve for et bygg (Enova, 2004)

Graddagskorrigert (GDD) energiforbruk

Utetemperaturen varierer fra år til år. Dersom man skal sammenligne energibruk fra et år til et annet er det derfor nødvendig å korrigere for temperaturvariasjon. En slik korrigering kan skje ved hjelp av et graddagstall som er oppgitt av Det Norske Metrologiske Institutt (Enova, 2004). I følge beskrivelse i "ENØK i bygninger" er graddagstallet definert som følger (Novakovic et al.,2007):

"Graddagstallet for et sted er produktet av fyringsperiodens lengde og differansen mellom en valgt innetemperatur på 17 °C og stedets døgnmiddeltemperatur gjennom fyringsperioden."

Det graddagskorrigerede forbruket bestemmes på følgende måte (Soma, 2013):

$$GDD \text{ forbruk} = \text{målt forbruk} * \frac{\text{normale graddager}}{\text{målte graddager}} \quad (8)$$

2.6 ERFARING FRA TIDLIGERE STUDIER PÅ FORSKJELLEN MELLOM BEREGNET OG MÅLT ENERGIFORBRUK

Prosjektrapport 76 i regi av SINTEF Byggforsk har sett på problemstillingen energiforbruk i bygninger. Rapporten som har tittelen "Energiforbruk i bygninger- Nasjonal database og sammenligning av beregnet og målt energiforbruk" har til formål å utveksle ulike erfaringer og status i forbindelse med avvik i energiforbruket.

"Modellbyggprosjektet" fra 2002 er et av prosjektene som blir beskrevet i SINTEF-rapporten. Prosjektet inneholder en omfattende måling på 26 bygninger i Norge, med fokus på formålsdelt energiforbruk. Det ble sett på syv skolebygg. Formålet med prosjektet var å vurdere kvaliteten til de eksisterende normtallene for energibruk. Det ble tatt utgangspunkt i grovberegnete normtall og justerte normtall. Forskjellen mellom de to parameterne er at grovberegnet normtall tar kun utgangspunkt i bygningens type, alder og lokalisering og resterende verdier er standardiserte. Justerte normtall tar hensyn til bygningsgeometri, oppbygning og standard på de tekniske anleggene samt faktisk bruksmønster (Søgnen, 2002). Resultatene som er beskrevet i figur 2.8, viser at målt energiforbruk er lavere enn beregnet for fem av de syv skolene som ble undersøkt (Dokka et al., 2011).

MODELLBYGG: SAMMENSTILLING SKOLEBYGNINGER

Alle tall i kWh/m²

	Bølehøgda skole			Ekrom B-skole			Hempa B-skole			Husvik skole		
	NT	Just NT	Målt	NT	Just NT	Målt	NT	Just NT	Målt	NT	Just NT	Målt
1. Oppvarming	99,0	152,0	62,0	64,0		171,2	116,0	110,0	98,2	87,0		90,0
2. Ventilasjon	42,0	18,0	11,0	45,0		85,8	48,0	30,0	18,6	38,0		11,0
3. Varmtvann	13,0	13,0	8,0	13,0		6,1	13,0	4,0	3,5	13,0		16,0
4. Vifter og pumper	15,0	15,0		20,0			15,0	11,0	9,2	15,0		9,0
5. Belysning	28,0	28,0	33,0	28,0		15,7	28,0	16,0	16,3	28,0		23,0
6. Diverse	11,0	11,0	5,0	11,0		12,8	11,0	8,0	1,6	11,0		16,0
7. Kjøling	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
8.												
SUM	208,0	237,0	119,0	181,0		291,6	231,0	179,0	147,4	192,0		165,0

Stangeland U-skole			Vingar B-skole			Øren skole		
NT	Just NT	Målt	NT	Just NT	Målt	NT	Just NT	Målt
63,0	81,0	53,4	68,0		158,6	82,0	61,0	53,4
28,0	17,0	13,9	47,0		88,8	36,0	36,0	18,5
13,0	14,0	0,0	13,0		6,0	13,0	13,0	16,4
15,0	10,0	19,5	20,0			15,0	15,0	11,3
28,0	28,0	12,4	28,0		16,1	28,0	28,0	16,8
11,0	11,0	53,8	11,0		9,0	11,0	11,0	19,5
0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
158,0	161,0	153,0	187,0		278,5	185,0	164,0	135,9

Figur 2.8 Eksempel fra målt og beregnet energiforbruk på andre skoler (Dokka et al., 2011)

Avvikene i energibruken måles på postnivå i henhold til inndeling i NS 3031. Energi til oppvarming blir i rapporten betegnet som en lite nøyaktig beregning, og påliteligheten må anses deretter. Energi til ventilasjon har sprikende verdier, for skoler ser det ut til at de beregnede verdiene er langt høyere enn hva som er reelt for det aktuelle bygget. Her pekes det på uregelmessigheter i målinger av energibruken knyttet til ventilasjon. I noen tilfeller blir viftedrift målt som en del av ventilasjonsenergien og ikke som en egen post (Dokka et al., 2011).

I en annen rapport, som er utarbeidet av XRGIA på oppdrag for Energi Norge (Langseth et al., 2011), er det sett på forskjellen mellom beregnet og reelt energibruk i lavenergi- og passivbygg med fokus på energibruk til oppvarming. Data fra i alt 64 observasjoner fra flere land, viser at flere like bygg med *samme* forventede energibruk hadde betydelig variasjon i målt energibruk. Det ble påpekt at bruken av bygget er den dominerende faktor for hvor mye energi som går til oppvarming. Rapporten fra XRGIA tar for seg flere bygningskategorier, hvor yrkesbygg er en kategori. For yrkesbygg er det i gjennomsnitt større avvik enn for boliger. Fra analysen var 14 av avvikene positive og 4 negative. Med

negativ menes at det totale energiforbruket var lavere enn forespeilet. Rapporten konkluderer med fem årsaker til forskjellen mellom beregnet og målt energiforbruk. De omfatter feil i bygningskropp, feil i tekniske anlegg, høyere innetemperatur enn beregnet, feil design av bygget og "feil" bruk av bygget. Det er ikke beskrevet konkret hvilke metoder eller simuleringsverktøy som er brukt for estimering av energiforbruket. Rapporten henter data fra forskjellige land med ulike simuleringsverktøy (Langseth et al., 2011).

I Sverige er det gjennomført en annen undersøkelse hvor det er gjennomført energisimulering og energimåling av 20 rekkehus med passivhusstandard. Konklusjonen fra undersøkelsen var at avviket har sammenheng med en høyere innetemperatur enn forventet, mer bruk av teknisk utstyr og et lavere utbytte fra solfangere. Det ble registrert at beboerne ofte ønsket en høyere temperatur enn 20 °C som var satt som settpunkttemperatur (Wall, 2006).

En rapport fra Sustainable Traditional Building Alliance (STBA) tar for seg avviket mellom beregnet og reell ytelse for eldre bygninger (May & Rye, 2012). Her fokuseres det blant annet på at energisimuleringsprogrammene ikke har tilpasset verktøyet til eldre bygninger og at simuleringene som blir gjort er veldig avhengig av ferdighetene til den som simulerer.

"..it is widely acknowledged that energy models do not provide robust data concerning the performance of traditional buildings"

"There is a great deal of uncertainty surrounding the performance of traditional buildings as modeled by building energy performance software."

Det påpekes også at det er registrert en usikkerhet på opp til 50 % ved bruk av simuleringsverktøyet som er basert på BREDEM (Building Research Establishment Domestic Energy Model) (May & Rye, 2012). Andre momenter som trekkes frem av STBA er at lufttetthet av nåværende/eldre bygninger ikke er godt nok dokumentert. Hos termisk tunge konstruksjoner, vil konstruksjonen trolig oppføre seg som et energireservoar. Det finnes imidlertid ikke forskning som bekrefter at tunge konstruksjoner forbedrer oppvarmingsbehovet i eldre bygg. Det kan også være problematisk å etablere nøyaktige værddata for simuleringene som gjøres. Og det er mangelfull forståelse av værddataens betydning (May & Rye, 2012).

I forbindelse med SINTEF prosjektrapport 76 ble flere store norske aktører som bruker simuleringsverktøyet SIMIEN intervjuet. De fleste som ble spurt uttalte at de opplevde

programmet som robust. Beregninger med programmet fungerer godt som et utgangspunkt for energimerking og de fleste benyttet verktøyet for kontroll opp mot TEK. Det fremheves at beregning av virkelig energibehov vektlegges i mindre grad, da det er lite erfaring med virkelig energibruk mot beregnet. Årsaken til avvik ved simulering av eksisterende bygg kan være relatert til mangelfull informasjon om byggets virkelige utførelse. Det nevnes også av enkelte rådgivere at NS 3031:2007 som ligger til grunn for beregningene, kan tolkes på flere måter (Dokka et al., 2011).

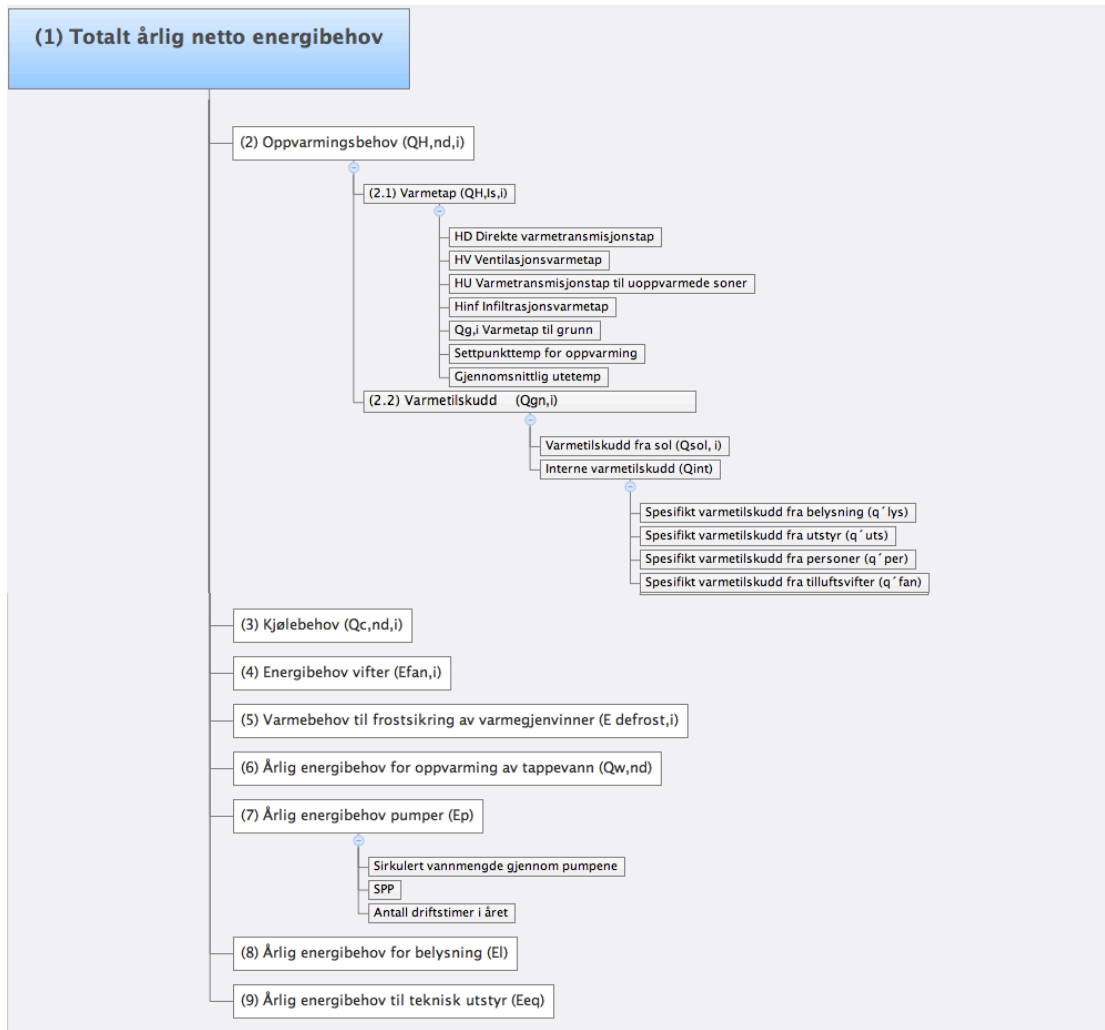
2.7 NS 3031:2007 BEREGNINGER AV BYGNINGERS ENERGIYTELSE - METODE OG DATA

Det er utarbeidet en standard for fastsettelse av bygningers energiytelse. Standarden er laget for å danne et felles utgangspunkt for hvordan energiberegninger skal utføres i Norge. NS 3031 er i stor grad basert på den europeiske standarden EN ISO 13790:2008 om energiberegning, med tilpasning til norske forskrifter.

Det er beskrevet tre beregningsalternativer. Månedlig, forenklet timeberegning og detaljert dynamisk beregning ved hjelp av beregningsprogram. Valg av metode gjøres ut fra byggets kompleksitet (Standard Norge, 2007).

Dynamiske beregningsprogrammer som benytter reglene gitt i NS 3031:2007 må valideres etter NS-EN 15265:2007 *"Bygningers energiytelse. Beregninger av bygningers energibehov til oppvarming og kjøling ved bruk av dynamiske metoder. Generelle kriterier og valideringsprosedyrer"*. Programmet som benyttes til dynamiske beregninger må tilfredsstillende nøyaktighetskrav C. NS-EN 15265:2007 beskriver tre nivåer av nøyaktighet, hvor C er det laveste (Programbyggerne, 2013a).

Det er etablert et sett av ligninger som søker å forklare varmebalansen i en bygning. Alle ligninger forgrener seg ut fra totalt årlig netto energibehov, som illustrert i figur 2.9. De matematiske ligningene beskrives i detalj i samme rekkefølge og nummerering som i figur 2.9 (Standard Norge, 2007).



Figur 2.9 Oversikt over formler som tilknyttet totalt årlig netto energibehov (Illustrasjon: Ingvild Haugen)

(1) Totalt årlig netto energibehov, E_t [kWh/år]:

$$E_t = \sum_{i=1}^{12} (Q_{H,nd,i} + Q_{C,nd,i} + E_{fan,i} + E_{defrost,i}) + Q_{w,nd} + E_l + E_{eq} \quad (9)$$

Hver formel som er inkludert i totalt årlig energibehov vil bli beskrevet under.

(2) Energibehov for oppvarming og ventilasjonsvarme $Q_{H,nd,i}$ [kWh]:

$$Q_{H,nd,i} = Q_{H,ls,i} - \eta_{H,i} Q_{gn,i} \quad (10)$$

Oppvarmingsbehovet er differansen mellom varmetapet ($Q_{H,ls,i}$) og varmetilskuddet ($Q_{gn,i}$), hvor varmetilskuddet er ganget med en utnyttingsfaktor ($\eta_{H,i}$). Det årlige energibehovet for oppvarming blir da summen av energibehovet for alle månedene, i .

(2.1) Varmetap, $Q_{H,ls,i}$ [kWh]:

$$Q_{H,ls,i} = (H_D + H_U + H_V + H_{inf})(\theta_{set,H} - \theta_{e,i})t_j + Q_{g,i} \quad (11)$$

Varmetapsberegningen baseres på summen av varmetransmisjonstapet mot det fri, varmetransmisjonstap til uoppvarmede soner, ventilasjonsvarmetap og infiltrasjonsvarmetap. Summen multipliseres med differensen mellom settpunkttemperaturen ($\theta_{set,H}$) for oppvarming, og gjennomsnittlig utetemperatur ($\theta_{e,i}$). Til slutt adderes varmetapet via grunnen ($Q_{g,i}$).

Beregningene for hver enkelt faktor er som følger:

Varmetransmisjonstapet mot det fri, H_D :

$$H_D = \sum_i U_i A_i + \sum_k \psi_k l_k \quad [\text{W/K}]$$

Her summeres varmetapet for bygningsdeler mot det fri. Arealet til bygningsdelen multipliseres med varmegjennomgangskoeffisienten (U_i). Summen av normalisert kuldebroverdi gange løpemeter legges til.

Varmetransmisjonstapet til uoppvarmede soner, H_U :

$$H_U = b(\sum_i U_i A_i + \sum_k \psi_k l_k) \quad [\text{W/K}]$$

Det spesifikke varmetapet til bygningsdeler som vender mot uoppvarmede soner beregnes tilnærmet likt H_D , men varmetapsfaktoren (b) multipliseres med resultatet. Varmetapsfaktoren for redusert varmetransport på grunn av uoppvarmet sone, kan enten

beregnes eller hentes ut fra tabell B.7 i NS 3031. Veiledende varmetapsfaktor for oppvarmet loftsrom/ventilert kaldt loft er lik 0,93.

Varmetransport på grunn av ventilasjon, H_V :

$$H_V = 0,33 \times \dot{V} (1 - \eta_T) \quad [\text{W/K}]$$

Her multipliseres gjennomsnittlig ventilasjonsluftmengde (\dot{V}) med temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner (η_T). Faktoren 0,33 er luftens varmekapasitet per volum gitt i Wh/(m³K). Beregning av temperaturvirkningsgraden og ventilasjonsluftmengden er allerede vist i ligning (2)-(4) i teoridel om ventilasjon.

Varmetransport på grunn av infiltrasjon, H_{inf} :

$$H_{inf} = 0,33 \times \eta_{inf} V \quad [\text{W/K}]$$

Luftskifte for infiltrasjon (η_{inf}) multipliseres med oppvarmet luftvolum og faktor for luftens varmekapasitet per volum. Infiltrasjonen kan for eksisterende bygninger beregnes etter NS-EN 15242 eller bestemmes fra veiledning gitt i NS 3031.

Varmetap mot grunn, $Q_{g,i}$:

$$Q_{g,i} = t_i [H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cos(2\pi \frac{i-1-\beta}{12})] \quad [\text{kWh}]$$

Stasjonær varmetransportkoeffisient (H_g) multipliseres med differansen mellom årsmiddeltemperaturen for inne og ute ($\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e$). Den dynamiske varmetransportkoeffisienten (H_{pe}) multipliseres med amplitudevariasjonen omkring årsmiddeltemperaturen og et uttrykk som tar hensyn til faseforskjellen mellom utetemperatur og varmetap. Summen av disse to multipliseres så med antall timer i måneden (t_i) delt på 1000 for omregning til kWh.

(2.2) Varmetilskudd, $Q_{gn,i}$ [kWh]

$$Q_{gn,i} = Q_{sol,i} + Q_{int,i} \quad (12)$$

Varmetilskuddet er summen av soltilskudd ($Q_{sol,i}$) og interne varmetilskudd ($Q_{int,i}$). Årlig varmetilskudd blir summen av varmetilskudd fra hver måned i .

Varmetilskuddet som kommer fra solen, beregnes ut fra effektivt vindusareal, solskjermingsfaktor og gjennomsnittlig strålingsfluks mot utsiden av vinduene.

Det interne varmetilskuddet bestemmes ut fra følgende formel:

$$Q_{int,i} = t_i(q''_{lys} + q''_{uts} + q''_{per} + q''_{fan})A_{fl} \quad [\text{kWh}]$$

Hvor antall timer i måneden multipliseres med spesifikk gjennomsnittlig varmetilskudd fra belysning, utstyr, personer og tilluftsvifter (W/m^2), fordelt på oppvarmet del av BRA (A_{fl}). Standardverdier for gjennomsnittlig varmetilskudd er gitt i NS 3031 tillegg A.2, og gjengitt i tabell 2.3.

Tabell 2.3 Varmetilskudd - standardverdier for gjennomsnittlig varmetilskudd i driftstiden for belysning, utstyr, varmtvann og personer. Hentet fra NS 3031 tabell A.2. (Standard Norge, 2007)

Bygningskategori	Belysning ^a		Utstyr ^b		Varmtvann ^b		Personer ^b	
	W/m ²	kWh/(m ² ·år)	W/m ²	kWh/(m ² ·år)	W/m ²	kWh/(m ² ·år)	W/m ²	kWh/(m ² ·år)
Småhus	2,9	17	2,4	14	0	0	1,5	13
Boligblokker	2,9	17	2,4	14	0	0	1,5	13
Barnehager	8	21	2	5	0	0	6	16
Kontorbygg	8	25	11	34	0	0	4	13
Skolebygg	10	22	6	13	0	0	12	26
Universitets- og høyskolebygg	8	25	11	34	0	0	6	19
Sykehus	8	47	8	47	0	0	2	18
Sykehjem	8	47	4	23	0	0	3	26
Hoteller	8	47	1	6	0	0	2	18
Idrettsbygg	8	21	1	3	0	0	10	26
Forretningsbygg	15	56	1	4	0	0	10	38
Kulturbygg	8	23	1	3	0	0	3,2	9
Lett industri, verksteder	8	19	10	23	0	0	2	5

(3) Energibehov til kjøling, $Q_{C,nd,i}$ [kWh]:

$$Q_{C,nd,i} = Q_{gn,i} - \eta_{C,i} Q_{C,ls,i} \quad (13)$$

Kjølebehovet bestemmes på samme måte som oppvarmingsbehovet, gitt i formel (10). Varmetapet ($Q_{C,ls,i}$) regnes her med en settpunkttemperatur for kjøling. Veiledende verdi for denne er gitt i tabell A.3. Skolebygg har 22 °C som standardverdi.

(4) Energibehov for vifter, $E_{fan,i}$ [kWh]:

$$E_{fan,i} = \frac{\dot{V}_{on} SFP_{on} t_{i,on} + \dot{V}_{red} SFP_{red} t_{i,red}}{3600} \quad (14)$$

Produktet av luftmengde (\dot{V}), spesifikk vifteeffekt (SFP) og antall timer (t), for både i driftstiden og utenfor driftstiden summeres. Det årlige energibehovet for vifter, beregnes ved å summere for alle månedene, i , i året. Standarden beskriver standardverdier for driftstid i tabell A.3. Veiledende verdier av luftmengder og SFP for dynamiske beregninger, gjengis i tabell 2.4. Det understrekes i tabellen at reelle luftmengder og spesifikk vifteeffekter må dokumenteres for den gitte bygning.

Tabell 2.4 Veiledende verdier for spesifikk luftmengder og spesifikk vifteeffekt, SFP (Standard Norge, 2007)

Bygningskategori	Spesifikk luftmengde [m ³ /(m ² ·h)]		Spesifikk vifteeffekt, SFP [kW/(m ³ /s)]	
	i driftstid	utenfor driftstid	i driftstid	utenfor driftstid
Småhus	1,2	1,2	2,5	2,5
Boligblokker	1,7	1,7	2,5	2,5
Barnehager	12	3	2	1
Kontorbygg	10	3	2	1
Skolebygg	16	3	2	1
Universitets- og høyskolebygg	13	3	2	1
Sykehus	16	3	2	1
Sykehjem	14	3	2	1
Hoteller	10	3	2	1
Idrettsbygg	12	3	2	1
Forretningsbygg	20	5	2	1
Kulturbygg	12	3	2	1
Lett industri, verksteder	12	3	2	1

MERKNAD Verdierne er lagt til grunn for energigrammer i revidert byggeforskrift (TEK) av 2007. Reelle luftmengder og spesifikk vifteeffekt må dokumenteres for den gitte bygningen.

(5) Varmebehov til frostsikring av varmegjenvinner, $E_{defrost,i}$ [kWh]:

$$Q_{defrost,i} = 0,33 \times \dot{V} \times 0,001 \sum_{i=1}^N \max\{0; \theta'_{1,min} - \theta'_{1,j}\} \quad (15)$$

Den største verdien av 0 og differansen mellom minste utetemperatur ($\theta'_{1,min}$) og gjennomsnittlig utetemperatur ($\theta'_{1,j}$). Den største verdien finnes for hver time (N) i løpet av en måned i . Summen for hele måneden multipliseres med luftens varmekapasitet og luftmengden (\dot{V}).

(6) Energibehov for oppvarming av tappevann, $Q_{W,nd}$:

Standarden har veiledende verdi for effekt og energibehov knyttet til varmtvann. Verdiene er gjengitt i tabell 2.5. For skolebygg er veiledende verdi 4,5 W/m² og for Universitets- og høyskolebygg er veiledende verdi 1,6 W/m².

Tabell 2.5 Standardverdier for gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden for belysning, utstyr og varmtvann. (Standard Norge, 2007)

Bygningskategori	Belysning ^a		Utstyr ^b		Varmtvann ^b	
	W/m ²	kWh/(m ² ·år)	W/m ²	kWh/(m ² ·år)	W/m ²	kWh/(m ² ·år)
Småhus	2,9	17	4	23	5,1	30
Boligblokker	2,9	17	4	23	5,1	30
Barnehager	8	21	2	5	3,8	10
Kontorbygg	8	25	11	34	1,6	5
Skolebygg	10	22	6	13	4,5	10
Universitets- og høyskolebygg	8	25	11	34	1,6	5
Sykehus	8	47	8	47	5,1	30
Sykehjem	8	47	4	23	5,1	30
Hoteller	8	47	1	6	5,1	30
Idrettsbygg	8	21	1	3	18,9	50
Forretningsbygg	15	56	1	4	2,7	10
Kulturbygg	8	23	1	3	3,5	10
Lett industri, verksteder	8	19	10	23	4,3	10

(7) Årlig energibehov til pumper, E_p [kWh]:

$$E_p = \dot{V}_w S P P t_{dr} \quad (16)$$

Produktet av sirkulert vannmengde gjennom pumpene (\dot{V}_w), spesifikk pumpeeffekt (SPP) og antall driftstimer (t_{dr}) beskriver energibehovet for pumper. Veiledende verdier for SPP er beskrevet til 0,5 kW/l/s for varmeanlegg.

(8) Årlig energibehov for belysning

Veiledende energibehov for belysning er gitt i tabell 2.5 og er for skolebygg satt til 10 W/m².

(9) Årlig energibehov for teknisk utstyr

Veiledende energibehov for teknisk utstyr er gitt i tabell 2.5 og er for skolebygg satt til 6 W/m².

3.0 METODER OG VERKTØY

I dette kapittelet vil det bli beskrevet ulike metoder som er tatt i bruk ved arbeidet med denne masteroppgaven.

3.1 METODER

Det skilles mellom kvalitative og kvantitative metoder. Kvalitative metoder søker å utforske få elementer i detalj, mot kvantitative metoder som fokuserer på utbredelse og antall. Følgelig kan kvantitative studier omfatte analyser av tall og store utvalg, mens kvalitative studier kan gi mye informasjon om få enheter. Formålet med de kvalitative metodene er å samle inn data for å forstå et fenomen. Det er vanlig å bruke de kvalitative metodene til å etablere et sett med hypoteser, som kan testes ut ved hjelp av kvantitative metoder (Thagaard,2003).

Denne masteroppgaven benytter både kvalitativ og kvantitativ metode. Innhenting av data skjer i hovedsak ved hjelp av kvalitative innhentingsmetoder, som litteraturstudium, intervju og casestudie. For analysen av casene er det benyttet kvantitativ metode, ved bruk av simuleringsverktøyet SIMIEN.

3.2 ENERGISIMULERING

For beregning av forventet energiforbruk er simuleringsverktøyet SIMIEN benyttet. SIMIEN simulerer energiforbruk, effektbehov og inneklime i bygninger. Programmet er utviklet av Program Byggerne og er et av to norske program som er godkjent og validert i henhold til NS-EN 15625:2007 (Programbyggerne, 2013a).

SIMIEN utfører energiberegninger i henhold til dynamiske beregningsmetoder gitt i NS 3031. Ved dynamiske beregninger tas det hensyn til at temperatur og varmestrøm gjennom konstruksjonen ikke er stabile. Døgnvariasjon i temperatur og bygningens varmelagring er medberegnet.

Det finnes i alt seks ulike simulerings- og evalueringstyper i SIMIEN (Programbyggerne, 2013b). Det vil i denne oppgaven være fokus på årssimuleringen og beregnet levert energi.

Tabell 3.1 Alternative simuleringer (Programbyggerne, 2013b).

Typer	Beskrivelse
Årssimulering	Her beregnes netto energibehov eller levert energi for et helt kalenderår. Det kan simuleres for hele bygningen eller for utvalgte soner.
Forskriftsevaluering	Her sammenlignes bygget med kravene i de tekniske forskriftene. Det velges enten TEK10 eller TEK07.
Energimerkeevaluering	Simuleringen beregner energimerke med grunnlag i årlig levert energi og bestemte parametere. Brukes for utarbeidelse av energiattest.
Sommersimulering	Simulering med hensyn til dimensjonerende sommerforhold. Brukes hovedsakelig til analyse av inneklimate og dimensjonerende effekt på kjøling.
Vintersimulering	Simulering av dimensjonerende vinterforhold. Kan brukes til å finne dimensjonerende effekt for oppvarmingsanlegg.
Passivhussimulering	Evaluering av bygget opp mot kriterier fastsatt i NS 3700 og SINTEF prosjektrapport 42.

3.2.1 Inndata

Simuleringen krevet et sett med bestemte inndata. De inndataene som må legges inn er bygnings-, installasjons- og brukerspesifikke. Hver av disse omfatter blant annet følgende underkategorier.

Tabell 3.2 Inndata i SIMIEN

Inndata	
Bygningsspesifikke	Bygningstype Varmegjennomgangskoeffisient Vindus- og dørrareal Tetthet (klimaskjerm) Varmekapasitet Solskjerming
Installasjonsspesifikke	Varmegjenvinnerens virkningsgrad Kjølevirkningsgrad Vifter, SFP Varmesystemer og pumper, SPP Varmetap varme- og varmtvannssystem Automatikk
Brukerspesifikke	Driftstider Romtemperaturer Ventilasjonsluftmengder Tilluftstemperaturer Belysning Varmetilskudd fra personer og utstyr

Inndata som plottes inn i programmet kan være standardverdier, veiledende verdier eller dokumenterte verdier.

Standardverdier er låste verdier som omfatter driftstider, personbelastning, innetemperatur og klima. De standardiserte verdiene er til bruk ved kontrollberegning mot offentlige rammekrav (Standard Norge, 2007).

Veiledende verdier hentes fra tillegg i NS 3031. Verdiene er ment som en veiledning ved tilfeller hvor reelle verdier er ukjente. Det er de dokumenterte verdiene som er mest

ideelle. Verdiene bestemmes etter standarden eller anerkjente metoder (Standard Norge, 2007).

3.2.2 Soning av bygninger

Ved simuleringen kan bygningen deles opp i rom eller soner. Oppdelingen er basert på et sett med kriterier fastsatt i NS 3031. Inndelingen avhenger av funksjonen til bygningen. Når bygninger har bare en funksjon, er det ofte tilstrekkelig å benytte en sone for hele bygget. Følgende kriterier krever soneinndeling:

- Ulike tekniske installasjoner
- Ulikt soltilskudd
- Ulike interne varmetilskudd

I tilfeller hvor det for eksempel er flere uavhengige ventilasjonssystemer i et og samme bygg, er det naturlig å dele inn i flere soner (Standard Norge, 2007).

Solpåkjenning på bygninger varierer avhengig av beliggenhet og fasadenes orientering. Det skilles mellom moderat og stort soltilskudd. Ved moderat soltilskudd er det ikke nødvendig med soneinndeling. I tilfeller med store vindus- og glassareal og/eller lite effektiv solavskjerming, vil man til dels få stort soltilskudd. Bygningen skal da deles opp i minst tre soner. En solutsatt sone (sør, sørvest, sørøst), en lite solutsatt sone (nord, nordvest, nordøst) og en midtsone i bygningen (Standard Norge, 2007).

Ulike interne varmetilskudd er ofte en problemstilling knyttet til bygninger med flere funksjoner, eksempelvis kontor- og leilighetsbygg (Standard Norge, 2007).

3.2.3 Styrker og svakheter ved simuleringsverktøyet

Gjennom arbeidet med denne oppgaven antas følgende som svakheter ved simuleringsverktøyet. Det er kun mulig å simulere en bygningskategori per fil. Det er begrensninger når det gjelder varme- og kjøleanlegg ved at det kun er mulig å simulere et anlegg per sone. U-verdiene behandles som statiske verdier. Programmet tar ikke hensyn til energiflyten mellom sonene, ved at sonene simuleres som adiabatisk.

3.3 INNHENTING AV DATA

Informasjonen som er lagt til grunn for simuleringene i oppgaven er hentet fra befaringer som er gjennomført sammen med driftslederne og Teresa Maria Ribu. Det er behandlet det som eksisterte av plantegninger og tekniske tegninger. For den eldste delen av bygget var det til dels mangelfull tegningsgrunnlag på de tekniske anleggene. For kartlegging av

tekniske installasjoner er det derfor tatt utgangspunkt i en del av den informasjonen som har kommet frem av ENØK-rapporten som ble skrevet.

Det virkelige energiforbruket blir avlest hver uke av driftslederne. Det er med utgangspunkt i disse avlesningene at det målte energiforbruket blir presentert. Det leses av strøm, fjernvarme og vannforbruk. Forbruket som er registrert er dobbeltsjekket opp mot strøm- og fjernvarmeleverandører.

Basert på kartleggingen er det oppdaget et bilde av «hvor skoene trykker» og det er ut fra det gjennomført ulike målinger i løpet av våren.

3.4 MÅLINGER

Det er gjennomført ulike målinger i løpet av våren. Temperatur- og inneklimate målinger, luftmengdemålinger og kontroll av temperaturvirkningsgrad og SFP.

3.4.1 Temperaturmålinger

I forbindelse med forskningsprosjektet skulle det utføres målinger på inneklimate med blant annet temperaturlogging. På grunn av forsinkelser med tilsending av sensorene var det usikkerhet knyttet til om målingene ville komme i tide, det ble derfor avgjort å gjøre en temperaturmåling med færre sensorer tidligere i perioden. Temperaturmålinger ble utført av undertegnede ved plassering av tre temperaturloggere i to testklasserom. Loggingen ble utført med TinyTag plus 2 og MSR 145 temperatur og fuktmåler. Loggeintervallet ble satt til hvert femte minutt. Utstyret som ble brukt er vist i figurene 3.1 og 3.2.



Figur 3.1 MSR 145
(Precision Technic Nordic, 2013)



Figur 3.2 TinyTag +2
(Gemini data loggers, 2013)

Testrommene ble valgt ut fra driftsledernes erfaring. Et "normalklasserom" og et "problemklasserom". Det ble tatt høyde for eventuelle ugunstige plassering av loggerne.

Sensorene skulle ikke få ytre påkjenninger som kunne påvirke temperaturforholdene på en ugunstig måte. Målingene ble utført i perioden 07.03.13 til 12.03.13.

3.4.2 Luftmengdemålinger

Luftmengdemålinger ble gjennomført i samarbeid med Teresa Maria Ribu og COWI. Målingene ble utført på byggets to ventilasjonsaggregat 36.01 og 36.02. Måleinstrument Swema Air 300 og termoanemometer SWA 31 ble benyttet. Det ble anvendt to ulike målemetoder for de to ventilasjonsaggregatene. Den ene metoden var punktvis hastighetsmåling med termoanemometer i ventilasjonskanalene. Denne metoden har en metodefeil på 4-6 %. Termoanemometer måler lufthastighet ved at luftens avkjøling av en oppvarmet glødetråd gir et uttrykk for lufthastigheten. Termoanemometeret traverseres inn i kanalene, målepunktene i kanalen er avhengig av tverrsnittets form og dimensjon. For sirkulære kanaler er det bestemmelser som vist i figur 3.3 (Johansson & Svensson, 2007: SINTEF, 2010).

Nominell diameter ¹⁾ , D mm	Placering av måtpunkter	a mm	b mm	c mm	d mm	Figur
100	$a = 0,29 \cdot D$ $b = 0,71 \cdot D$	29	71	-	-	
125		36	89	-	-	
160		46	114	-	-	
200	$a = 0,10 \cdot D$ $b = 0,50 \cdot D$ $c = 0,90 \cdot D$	20	100	180	-	
250		25	125	225	-	
315		32	158	283	-	
400		40	200	360	-	
500	$a = 0,043 \cdot D$ $b = 0,29 \cdot D$ $c = 0,71 \cdot D$ $d = 0,957 \cdot D$	22	145	355	478	
630		27	185	445	603	
800		34	230	570	766	
1000		43	290	710	957	
1250		54	360	890	1196	

Figur 3.3 Veiledende målepunkter for sirkulær kanal (Johansson & Svensson, 2007).

Den andre metoden var trykkmåling over spjeld. Med utgangspunkt i følgende formel bestemmes lufthastigheten (Johansson & Svensson, 2007):

$$q = k * \sqrt{\Delta p_i} \quad (17)$$

Hvor:

q : lufthastighet [l/s]

k : korreksjonsfaktor

Δp_i : trykket mellom to referansepunkter over komponenten [Pa]

Måleinstrumentet Swema Air 300 kan også avlese luftmengden direkte ved at kanaldimensjon og korreksjonsfaktor k blir lagt inn. Måleinstrumentet kobles opp til nipler på spjeldet. Metodefeilen knyttet til denne målemetoden er satt til 5 % (Johansson & Svensson, 2007). Figur 3.4 viser måleinstrumentet som ble brukt.



Figur 3.4 Måleintrument Swema Air 300 og SWA 31 (Foto: Ingvild Haugen)

For ventilasjonsaggregat 36.01 ble hver av kanalene målt ved traversering av anemometeret inn i hull i kanalsystemet. Bildene i figur 3.5 og 3.6 illustrerer punkter hvor anemometeret ble ført inn.

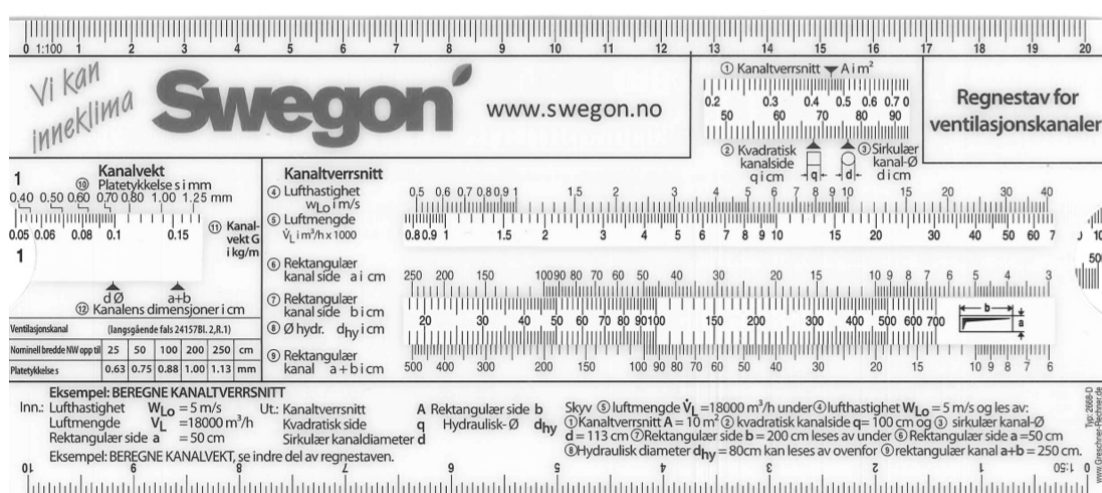


Figur 3.5 Traversingshull ventilasjonskanaler



Figur 3.6 Hull i ventilasjonskanal

Kanaldimensjoner ble registrert og luftfasterigheter målt. Swegon regnestav for ventilasjonskanaler ble benyttet til å bestemme spesifikke luftmengder for hver kanal. Regnestaven beregner luftmengde med utgangspunkt i dimensjonen på kanaltversnittet, tverrsnittets form (kvadratisk eller sirkulært) og luftfasterighet.



Figur 3.7 Swegon regnestav for ventilasjonskanaler (Foto: Ingvild Haugen)

For måling av luftmengdene i 36.02 ble slanger fra måleinstrumentet plassert på niplene på hvert spjeld. Det ble korrigert for k-verdi for hvert av de enkelte spjeldene og luftmengder ble registrert direkte fra måleinstrumentet. Figurene 3.8 og 3.9 illustrerer hvordan slangene fra måleinstrumentet ble plassert på niplene på spjeldene.



Figur 3.8 Nipler på spjeld



Figur 3.9 Nipler og spjeldåpning

Det foreligger ikke noe dokumentasjon på sist måleinstrumentet ble kalibrert.

3.4.3 Måling av SFP og temperaturvirkningsgrad

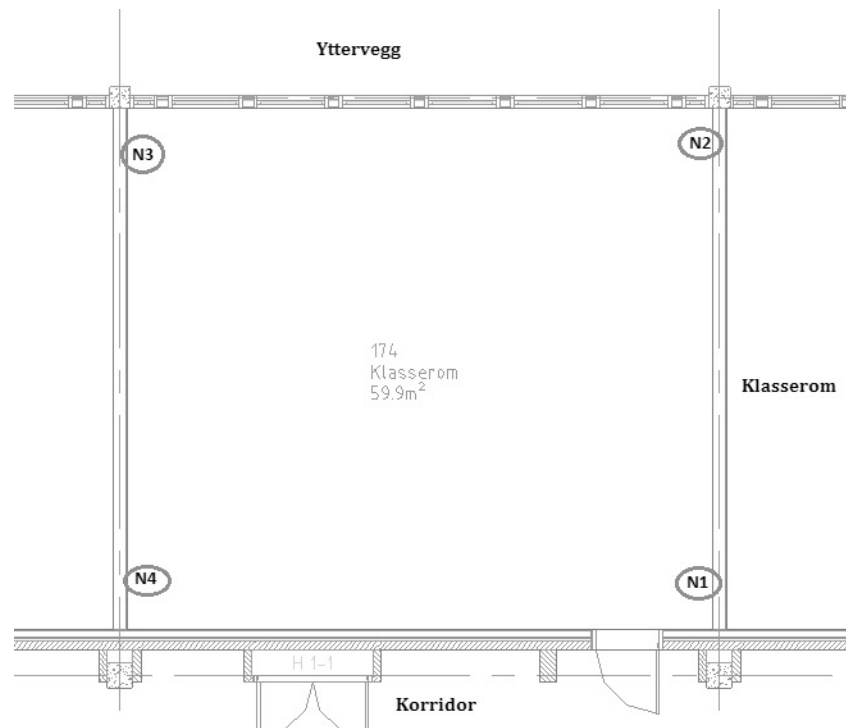
Tangamperemeter ble benyttet ved måling av vifteeffekt. Estimert $\cos \varphi$ ble hentet fra merkeskiltet på motoren.

Ved måling av temperaturvirkningsgrad ble det gjennomført temperaturmålinger med Swema Air 300. Dette er samme instrument som vist i figur 3.4.

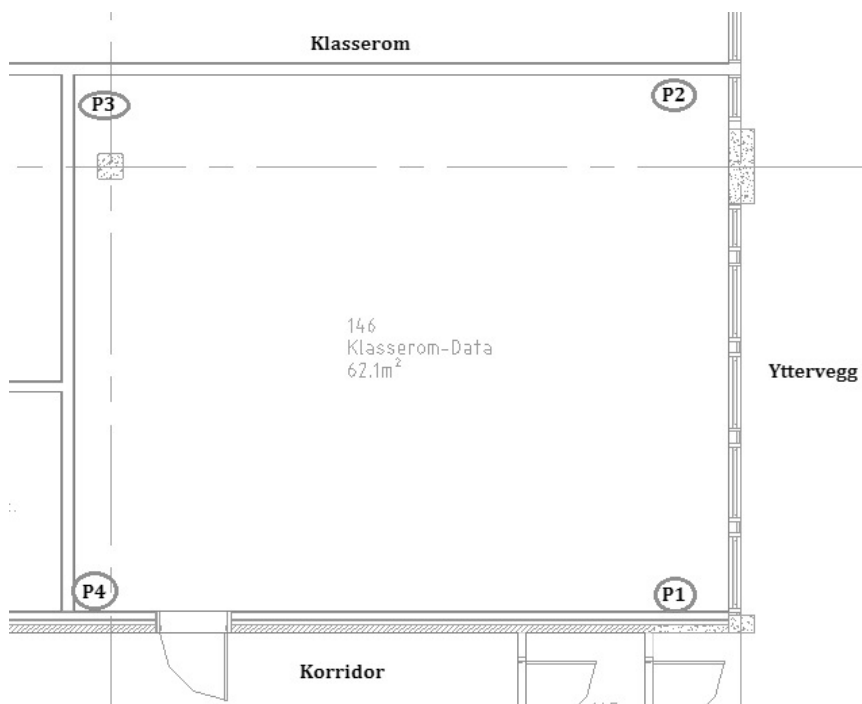
3.4.4 Inneklimamålinger

Inneklimamålingene skulle etter planen gjennomføres av Tinymesh i midten av februar, med utplassering av ti sensorer i to test-klasserom. På grunn av forsinkelser med tilsending av sensorene, ble ikke sensorene montert før i overgangen mars-april. På bakgrunn av dette ble målingene utført noe senere og i en kortere periode enn planlagt. Tidsperioden for analysen av måleresultatene ble også deretter.

Målingene ble utført på samme test-klasserom som presentert i kapittel 3.4.1. Et "normalklasserom" og et "problemmklasserom". Det ble plassert fire sensorer i hvert rom, som illustrert i figurene 3.10 og 3.11. Alle sensorer ble plassert i personhøyde og i områder som skulle gi et godt bilde på temperaturvariasjonen i oppholdssonen.



Figur 3.10 Plassering av sensorene N1-N4 i "normalklasserommet" (Illustrasjon: Ingvild Haugen)



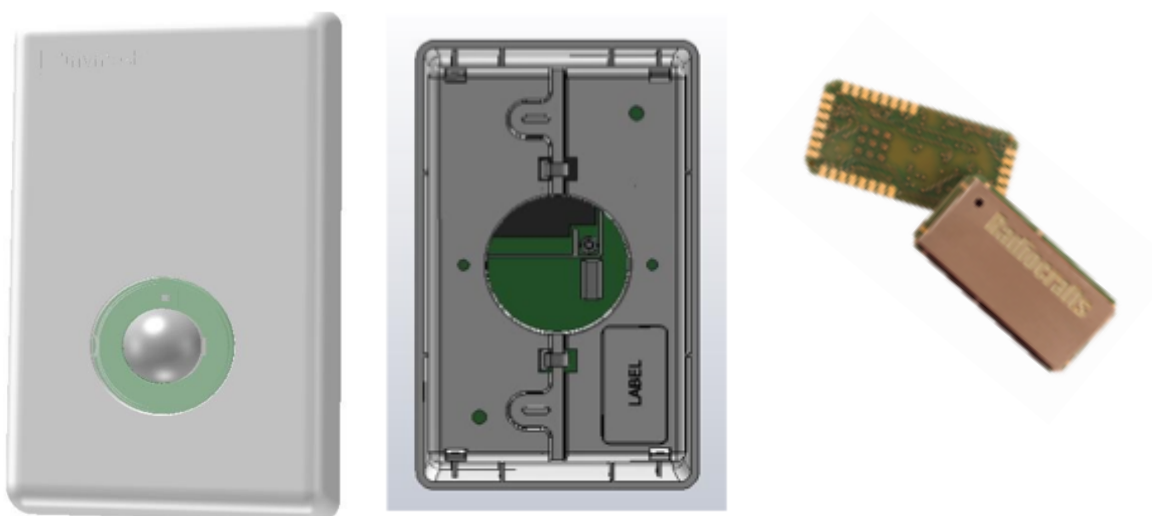
Figur 3.11 Plassering av sensorene P1-P4 i "problemklasserommet" (Illustrasjon: Ingvild Haugen)

"Tinymesh Room Climate Sensor" ble brukt. Sensoren er en prototype som testes ut av Tinymesh. Sensoren logger temperatur, CO₂, luftfuktighet, lys, bevegelse og lyd. Grunnet kalibrering og en avdekket feil på lydsiden er det i denne oppgaven fokusert på de tre

første parameterne; temperatur, CO₂ og luftfuktighet. Temperatur ble kalibrert opp mot et termometer. Relativ fuktighet skal i følge produsent av sensoren være selvkalibrerende. Og CO₂ ble kalibrert ved måling i noen rosebusker som figur 3.12 viser (Nilsen, 2013). Det ble gjennomført logging med et intervall på 1 minutt i perioden 21.03.13 til 24.03.13.



Figur 3.12 Tinymesh Room Climate Sensor kalibreres for CO₂ i noen rosebusker (Nilsen, 2013)



Figur 3.13 Tinymesh climate sensor (Nilsen, 2013)

3.4.5 Generelt om måleusikkerhet

Ved måling søker man å tallfeste en fysisk størrelse som skal tilsvare virkeligheten. Det er ved alle målinger tilknyttet en viss måleusikkerhet som det er viktig å kommentere. En måling kan gi flere utfall og usikkerheten knyttet til riktig verdi kan knyttes til mulige feil. Det kan deles inn i tre former for feil; grove feil, systematiske feil og tilfeldige feil. En grov feil kan være feil avlesning av temperatur. Slike feil kan skyldes arbeidsrutine eller arbeidsforhold. Systematisk feil kan knyttes opp mot feilaktig målemetode og ukalibrerte måleinstrument. En tilfeldig feil kan oppstå på grunn av eksterne usystematiske påvirkninger, en slik feil kan oppstå selv om man har lyktes med å eliminere de grove og systematiske feilene. De tilfeldige feilene kan igjen deles opp i instrumentfeil, metodefeil og avlesningsfeil. Usikkerheten knyttet til hver av disse systematiske feilene summeres og betegnes som den totale måleusikkerheten (Johansson & Svensson, 2007: Novakovic et al., 2007: SINTEF, 2010).

3.5 INTERVJU, SAMTALER OG SPØRREUNDERSØKELSE

Som en del av kartleggingen av skolen er det gjennomført intervju og samtaler med driftspersonell. Hensikten med intervjuene var å få innsikt i hvordan skolen driftes og et inntrykk av hvordan driftslederne selv oppfatter byggets tilstand. Intervjuene er gjennomført i flere etapper. Tidlig i masterperioden ble det gjennomført et intervju hvor alle driftsansvarlige var tilstede. Dette ble gjort hovedsakelig for å bli kjent med bygget, generell drift og de tekniske installasjonene. Senere i perioden er det gjennomført detaljerte intervju hvor det spørres spesifikt om problemområder som er avdekket underveis i arbeidet.

Det som har kommet frem av intervjuene kommer som en del av presentasjonen av skolen og er bakgrunnen for det som er lagt inn i simuleringen i SIMIEN.

Samtidig med temperaturloggingen ble det gjennomført en spørreundersøkelse på samme test-klasserom. Det ble vurdert om "Ørebromodellen" skulle anvendes som metode for undersøkelsen. "Ørebromodellen" er utviklet ved yrkesmedisins klinikk ved regionssykehuset i Ørebro. Modellen er utviklet for å registrere menneskers opplevelse av inneklima og hvilke plager de har (Aas, 2013b). Det ble imidlertid ikke valgt å gå videre med denne modellen. Dette på grunn av at "Ørebro-skjemaet" hadde relativt mange spørsmål, og det var usikkert hvor mange som ville stilt opp på undersøkelsen hvis den var for omfattende. Det ble valgt å lage en egen undersøkelse som skulle være kort og enkel å gjennomføre. Undersøkelsen besto av sju spørsmål og tok utgangspunkt i opplevd

inneklima i løpet av de siste to månedene. Deltakerne som ble valgt ut til undersøkelsen var to skoleklasser som hadde de aktuelle klasserommene som hovedklasserom. Det var til sammen 34 elever som valgte å delta. Hensikten med undersøkelsen var å kartlegge hvilket inntrykk de hadde av inneklima og om det var i samsvar med de målingene som ble utført. Spørreskjemaet er som presentert i figur 3.14.

Kjønn	<input type="checkbox"/> kvinne <input type="checkbox"/> mann
Alder	
Hva synes du om temperaturen i klasserommet (på vinteren)?	<input type="checkbox"/> det svinger veldig opp og ned <input type="checkbox"/> for kaldt <input type="checkbox"/> god temperatur <input type="checkbox"/> for varmt <input type="checkbox"/> vet ikke
Hva plager deg mest i dette klasserommet?	<input type="checkbox"/> for høye temperaturer <input type="checkbox"/> for lave temperaturer <input type="checkbox"/> ingenting
Opplever du ofte dårlig luft i dette klasserommet?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nei <input type="checkbox"/> sjelden <input type="checkbox"/> vet ikke
Opplever du hodepine?	<input type="checkbox"/> ja, en gang i måneden <input type="checkbox"/> ja, nesten hver uke <input type="checkbox"/> sjelden <input type="checkbox"/> aldri <input type="checkbox"/> vet ikke
Lufter dere med vinduer?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nei <input type="checkbox"/> vet ikke
Hvor ofte sitter du med ytterjakke i timene?	<input type="checkbox"/> hele tiden <input type="checkbox"/> ofte <input type="checkbox"/> sjelden/aldri <input type="checkbox"/> vet ikke
Opplever du trekk når du sitter ved vinduet?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nei <input type="checkbox"/> vet ikke
Andre kommentarer til inneklima:	

Figur 3.14 Spørreskjema som ble brukt i undersøkelsen

3.6 LITTERATURSTUDIE

Litteraturstudie har tatt for seg relevant litteratur som er nødvendig for å forstå energibalansen i et bygg. Tidligere studier på temaet om forskjellen mellom prosjektert og målt energiforbruk er kartlagt.

Mye av hensikten med litteraturstudiet har vært å opparbeide kunnskap på fagområder som ikke har vært kjent for undertegnede. Det er brukt mye tid på å sette seg godt inn i blant annet teori for tekniske anlegg.

3.7 CASENE SOM SIMULERES

I denne studien er det benyttet energisimuleringer og målinger. Simuleringene som er utført er basert på de resultatene som har kommet frem av målingene. Hovedpoenget er å få frem hvordan de ulike parameterne som er målt og representerer virkeligheten, påvirker det som simuleres i SIMIEN. Følgende caser er simulert:

Tabell 3.3 Casene som simuleres

Case	Beskrivelse
1. Et utgangspunkt i NS 3031	Her er det simulert med standardiserte inndata gitt i NS 3031. Casen er et utgangspunkt for videre analyser av inndata som blir justert etter hvert som målingene blir utført.
2. Reelle internlaster og bruksmønster	En simulering som baserer seg på reelle forhold. Med reelt bruksmønster for hver sone, beregnede internlaster, redusert tappevann og luftmengder oppgitt fra driftslederne.
3. Målte data på ventilasjonsanlegget	Her simuleres det med målte data på ventilasjonsanlegget. Målte luftmengder, varmegjenvinningsgrad og SFP legges inn i modellen.
4. Oppvarming/Inneklima	Her eksperimenteres det for ulike settpunkt-temperaturer i ulike deler av bygget, samt endring av effekt til oppvarming.

3.8 FEILKILDER

Det er til dels uvisshet knyttet til inndata benyttet i SIMIEN, både med tanke på opplysninger benyttet fra selve casebygget, men også knyttet opp mot NS 3031.

Kvaliteten på inndata er ofte varierende. Som oftest vil det være estimater som til dels er avhengig av tilfeldigheter.

Andre feilkilder kan være at måleperiodene for inneklimateundersøkelsen var over en relativt kort periode.

4.0 ST. OLAV VIDEREGÅENDE SKOLE

4.1 PRESENTASJON

I sentrum av Sarpsborg ligger St. Olav Videregående skole. Skolebygget ble ferdigstilt i 1978 med kjeller og to etasjer, og senere utvidet med ny 3.etasje i 2003. Byggets totale bruttoareal er på 9135 m². Romløsningen til skolen består av klasserom og kontorer langs yttervegg i både 1. og 2. etasje. I kjernen av bygget finner vi en stor aula i 1. etasje og bibliotek i 2. etasje. Kjelleren blir i hovedsak brukt som kantine og lager. Og påbygget i 3.etasje består av lærerbibliotek, åpne kontorlandskap og tekniske rom.

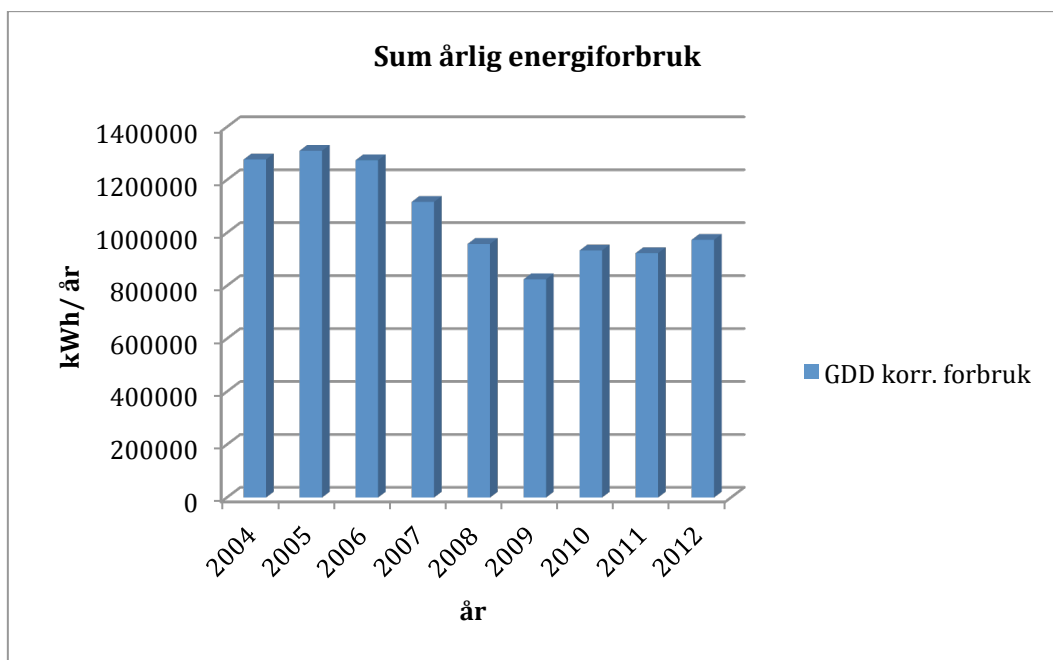


Figur 4.1 St. Olav videregående skole (St. Olav VGS, 2013)

4.2 MÅLT ENERGIBRUK

Det er installert målere for elektrisk kraft, vann- og fjernvarmeforbruket. Hver av målerne leses av på ukentlig basis og det er disse målingene som legges til grunn for det målte energiforbruket som presenteres i følgende kapittel. Det var ikke mulig å få energiforbruket registrert på et formålsdelt nivå. Derfor vil fordelingen på energihovedstrømmer som elforbruk og fjernvarmeforbruk bli hovedfokus i oppgaven.

Det målte energiforbruket til skolen er i løpet av de siste fem årene redusert fra omtrent 120 000 kWh/år til omtrent 900 000 kWh/år. Det graddagskorrigerte energiforbruket til skolen for de siste ni årene er presentert i figur 4.2.



Figur 4.2 Sum årlig energiforbruk fra 2004-2012 (Ribu, 2013)

Det spesifikke energiforbruket fra de fem siste årene har variert mellom 98,2 kWh/m² til 115,9 kWh/m². Tabell 4.1 viser spesifikke tall for de fem siste årene

Tabell 4.1 Spesifikt- og totalt graddagskorrigert energiforbruk for perioden 2008-2012

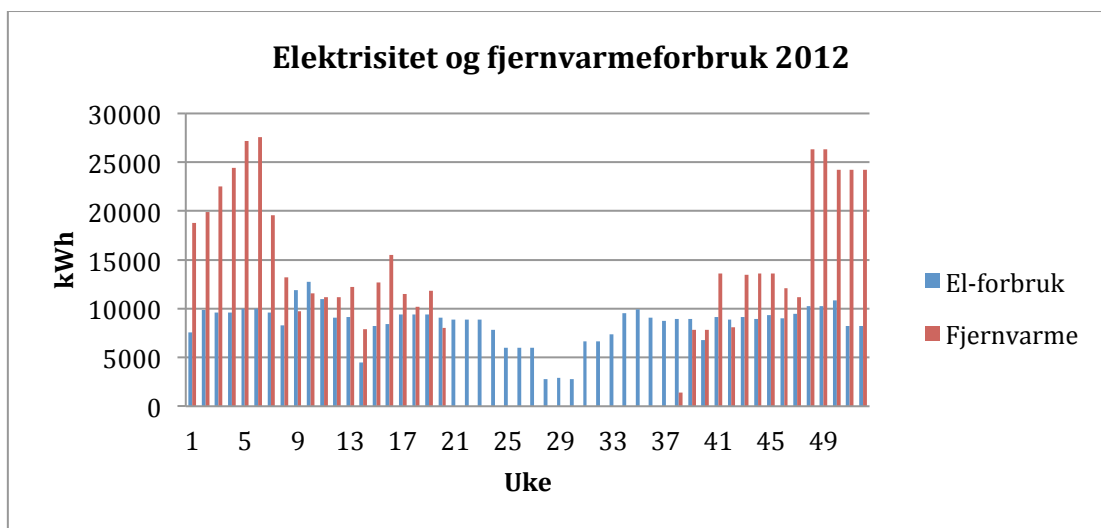
	Spesifikt korr. forbruk [kWh/m ² år]	Totalt GDD korr. forbruk [kWh/år]
2008	114,1	958 214
2009	98,2	824 629
2010	111,1	933 502
2011	109,9	923 483
2012	115,9	973 752

Fordelingen mellom elektrisitet og fjernvarmeforbruket for samme periode fremgår av tabell 4.2. For 2012 utgjorde fjernvarmeforbruket 54% av det totale forbruket med 528 062 kWh/år. Gjennomsnittlig verdi for de fem siste årene tilsvarer et elforbruk på 474867 kWh og et fjernvarmeforbruk på 424612 kWh.

Tabell 4.2 Elektrisitet- og fjernvarmeforbruk for perioden 2008-2012

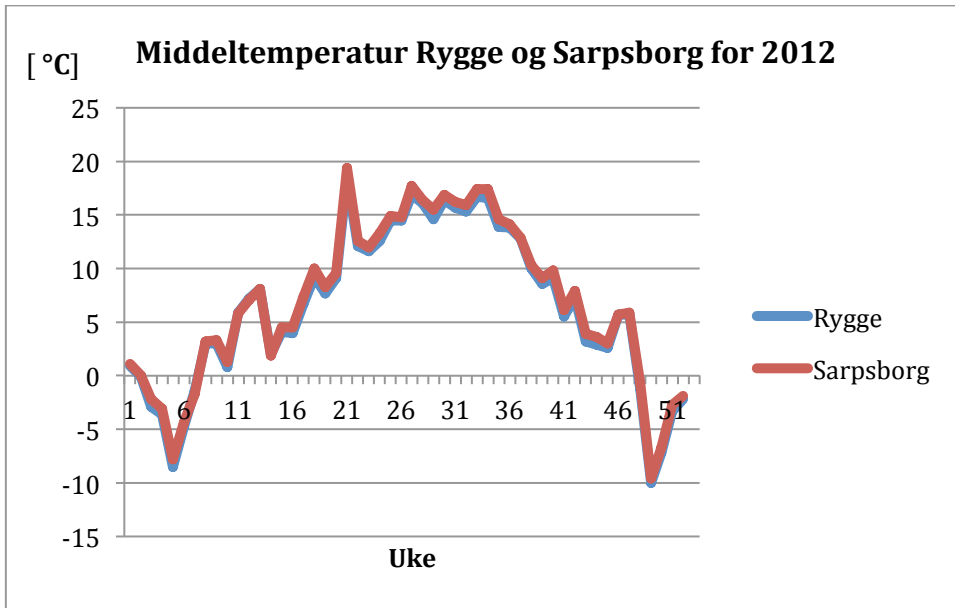
	Elektrisitet, fastkraft [kWh/år]	Fjernvarme [kWh/år]
2008	521 348	356 300
2009	495 937	295 300
2010	472 431	522 800
2011	442 571	420 600
2012	442 049	528 062
Snitt	474 867	424 612

Ukentlig forbruk og fordelingen på energibærere for 2012 er illustrert i figur 4.3. Høyeste forbruk for fjernvarmen er registrert i februar, med 27200 kWh på en uke. I uke 20 til uke 38 er fjernvarmeforbruket tilnærmet likt null. Elforbruket varierer fra 2000 kWh til maksimalt 12700 kWh på en uke.



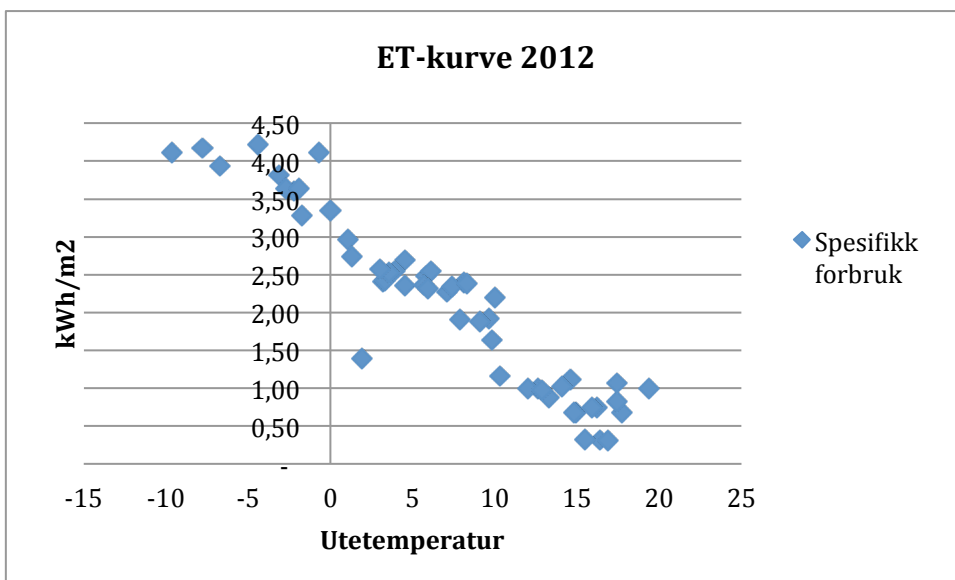
Figur 4.3 Forholdet mellom ukens forbruket til fjernvarme og elektrisitet 2012

Middeltemperaturen for Rygge og Sarpsborg er illustrert i figur 4.4. Begge klimastedene er presentert på grunn av at Rygge er nærmeste klimastad som har inndata som kan benyttes i SIMIEN.



Figur 4.4 Middeltemperatur i Rygge og Sarpsborg for 2012 (Meteorologisk institutt, 2013)

ET-diagrammet i figur 4.5 viser sammenhengen mellom utetemperatur og energiforbruk i 2012. Hvert punkt viser energiforbruket på en uke. Som det er beskrevet i ENØK-rapporten er det en klar trend mellom energiforbruk og utetemperaturen (Ribu, 2012).



Figur 4.5 E-T kurve for 2012 (Ribu, 2012)

For analysene som skal gjøres mellom simulert og målt energiforbruk vil det være det gjennomsnittlige energiforbruket de siste fem årene som vil være sammenligningsgrunnlag.

4.3 UTGANGSPUNKTET: SIMULERINGSMODELLEN SOM BLE BRUKT UNDER ENØK-RAPPORTEN

Simuleringsmodellen som ble brukt under simuleringene til ENØK-rapporten besto av en tredelt soneinndeling; kjeller, hovedbygg og nybygg. Inndataverdier var basert på utregnede U-verdier for bygningsdelene og informasjon om tekniske anlegg som var tilgjengelig på det tidspunktet analysen ble utført. Verdier for internlaster ble satt ut fra NS 3031. Elementer som ble antatt var verdier for lekkasjetall, kuldebroverdier og U-verdier for vinduer. Antakelsene var basert på forskriftskrav i TEK97 og referanseverdier hentet fra "energibruk i bygninger" (Ribu, 2012).

Hovedfunn i rapporten var det store avviket mellom virkelig og simulert energiforbruk. Simulert beregnet levert energi er som figur 4.6 gjengir.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	704413 kWh	79,5 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	184768 kWh	20,9 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	776483 kWh	87,6 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1665664 kWh	188,0 kWh/m²

Figur 4.6 Utdrag fra ENØK-rapport som viser resultat fra simulering før det ble gjort endringer med hensyn til fjernvarmen

Fjernvarmeforbruket ble simulert til 776483 kWh og elforbruket til totalt 889181 kWh. Av den grunn ble modellen justert på bakgrunn av noen vurderinger. Det ble antatt at fjernvarmen sto for en mindre andel av romoppvarmingen, ny prosentandel på 15 %. Varmepumpen som forsyner varmebatteriet sto for en høyere andel av romoppvarmingen og ble derfor oppjustert til 75 %.

Grunnet det store volumet i bygget, ble det gjort vurderinger på lekkasjetallet. Det som tidligere ble simulert var trolig for høyt. Lekkasjetall ble derfor simulert som 1,5 (h⁻¹) for hele bygget. Det som tidligere var antatt var 1,5 (h⁻¹) for kjeller og 3.etasje og 4 (h⁻¹) for hovedbygg.

Som det kommer frem av figur 4.7 ble de nye resultatene tilnærmet likt det målte fjernvarmeforbruket, men fortsatt et veldig stort avvik i forhold til elforbruket.

Energivare	Lvert energi til bygningen (beregnet)	
	Lvert energi	Spesifikk lvert energi
1a Direkte el.	925442 kWh	104,5 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	222330 kWh	25,1 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	330856 kWh	37,3 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt lvert energi, sum 1-6	1478629 kWh	166,9 kWh/m ²

Figur 4.7 Utdrag fra ENØK-rapport som viser resultat fra simulering etter det er gjort vurderinger med hensyn til fjernvarmeforbruket

4.4 NY SIMULERINGSMODELL – FLERE SONER

Det er laget en ny simuleringsmodell som vil ligge til grunn for analysene i oppgaven. Den nye simuleringsmodellen har i alt 12 soner. Inndelingen er basert på kriterier presentert i metodekapittelet om soneinndeling, kapittel 3.2.2. Det er lagt mest vekt på å samle områder med like interne varmetilskudd og å skille mellom områder som har ulikt bruksmønster. Ved å dele opp i flere soner blir detaljeringsmuligheten større. Oversikt over sonene er presentert i tabell 4.3

Tabell 4.3 Sone-id og beskrivelse av de 12 sonene som simuleres

Sone	Beskrivelse
U1	Kantine u.etg
U2	Korridor/lager u.etg
H01	Klasserom 1.etg og 2.etg
H02	Klasserom (kritisk) nordvendt 1.etg
H03	Kontorer/administrasjon 1.etg
H04	Korridor/lager 1.etg
H05	Aula 1.etg
H06	Kontorer østvendt 1.etg
H07	Korridor/lager 2.etg
H08	Bibliotek/grupperom 2.etg
H09	Kontorlandskap 3.etg
H10	Fellesområder 3.etg

Det er valgt å dele inn kjelleren i to soner. Kantinen ligger i sentrum av bygget og skiller ikke mot yttervegg, samtidig som den har et ulikt bruksmønster enn resten av etasjen. Det er derfor valgt å simulere kantinen som en egen sone. Resterende rom i kjelleren er lager, teknisk rom og korridor. Disse rommene benyttes i liten grad. Figur 4.8 viser hvordan inndelingen er utført.



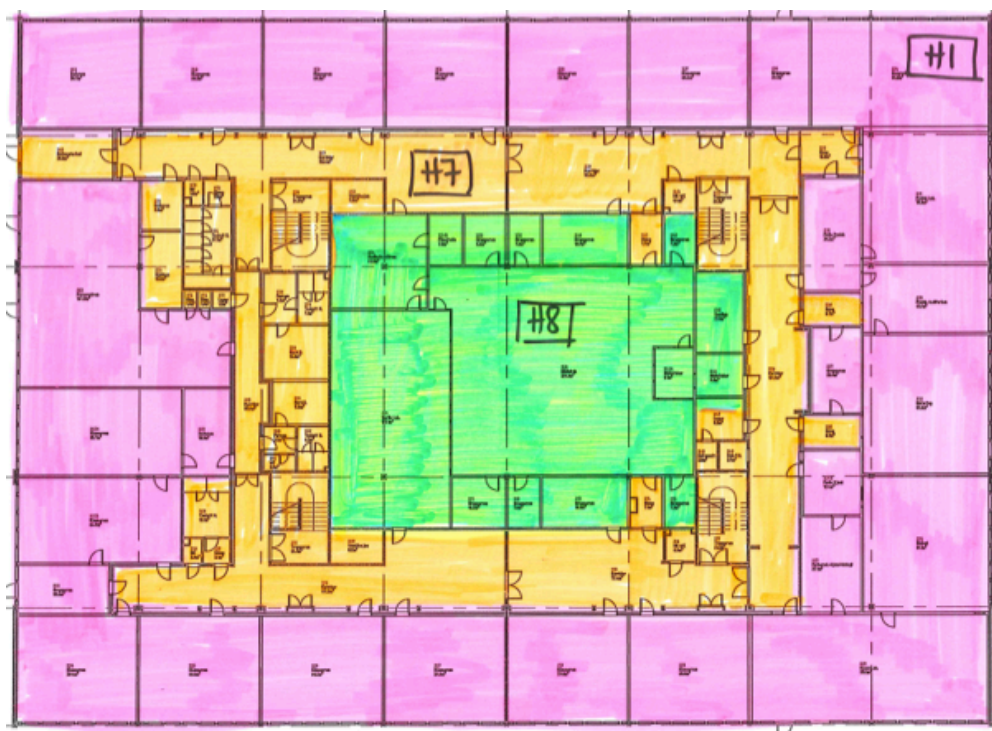
Figur 4.8 Soneinndeling av kjelleren, sone U1 og U2

Hovedbygget er beskrevet med sonene H01-H08. Her er det valgt å skille mellom "normalklasserom" (H01) og klasserom som driftslederne har problemer med (H02). Korridor og lager er simulert som egne soner i henholdsvis første og andre etasje. Kontorer er delt inn i to ulike soner grunnet orienteringen. Kontorer (H03) er sørvendte og kontorer (H06) er østvendte.

Aula og biblioteket ligger begge i sentrum av bygget og er relativt store rom uten tilknytning til yttervegg. Disse rommene har også særegne bruksmønstre som det er viktig å ta hensyn til. Figur 4.9 og 4.10 viser soneinndelingen i henholdsvis første og andre etasje.



Figur 4.9 Soneinndeling av 1. etasje, H1-H6



Figur 4.10 Soneinndeling av 2. etasje

Tredjeetasje er i en annen bygningsteknisk stand. Det er i denne etasjen også et eget ventilasjonsanlegg og oppvarmingsprinsipp. Det er derfor naturlig å dele det inn i egen sone. Etasjen deles opp med bakgrunn i bruksmønster og internlast. Kontorlandskapet (H09) har i gjennomsnitt flere personer og mer teknisk utstyr enn fellesområdet (H10). Området som er markert med grønt er ventilasjonsteknisk rom og regnes som en uoppvarmet sone. Uoppvarmede rom skal ikke simuleres som egne soner i SIMIEN. Figur 4.11 beskriver soneinndelingen.



Figur 4.11 Soneinndeling av 3.etasje

4.5 BYGNINGSSPESIFIKKE INNDATA

Bygningsspesifikke inndata som presenteres i følgende kapittel ligger til grunn for den geometrien som er lagt inn i SIMIEN. Informasjonen er hentet fra ENØK-rapporten, intervjuer og befaringer.

4.5.1 Fasader



Figur 4.12 Fasade hovedbygg



Figur 4.13 Fasade nybygg 3.etasje

Skolen er oppført med ulike typer ytterveggkonstruksjoner. De kan deles inn i tre typer:

Type 1: Betong og 150 mm pusset leca. Denne er under vinduer i 1.etasje.

Type 2: Gipsplater, rupanel, plastfolie, 10 cm bindingsverk, 10 cm mineralull, papp, utlekting og superternit. Ytterveggene fra den opprinnelige bygningen ble rehabilitert og pusset i 2010. Denne typen finnes over vinduene i 1. etasje og hele yttervegg i 2. etasje.

Type 3: Her er det et lag av 13 mm gipsplate, 148 mm isolasjon, dampsperre, 48 x 148 mm bindingsverk, vindsperre, 23 mm utlekting og fasadekledning. Dette er ytterveggen i 3.etasje.

Tabellen under viser beregnede U-verdier for de ulike ytterveggtypene. Beregningene er utført av Teresa Maria Ribu i forbindelse med ENØK-rapporten.

Tabell 4.4 U-verdier for de tre typene yttervegg (Ribu, 2012)

Type yttervegg	U-verdi [W/m ² K]
Type 1	1,6
Type 2	0,26
Type 3	0,21

4.5.2 Fundament, dekke og gulv

Fundament og grunnmur er utført i armert betong. Gulv mot grunn er uisolert og beregnet U-verdi i henhold til ENØK-rapport er på 0,55W/m²K.

Dekkene består av DT-elementer i armert betong. Prefabrikkert betongelement med 90 mm armert påstøp. Alle gulv i klasserom og korridorer har 4 mm gulvbelegg. Aula, vestibyle og trapperom er flislagt.

4.5.3 Tak

Takkonstruksjonen fra det opprinnelige bygget fra 1978 består av betong og 100 mm isolasjon. I forbindelse med utvidelsen av skolen, ble det skiftet ut deler av taket i 3.etasje. Ny konstruksjon består av 90 mm armert betong, hardrock underlagsplate, 120 + 50 mm isolasjon og takfolie. U-verdiene er beregnet til 0,36 W/m²K og 0,14 W/m²K (Ribu, 2012).

Teknisk rom i 3.etasje er uisolert, det er verken isolert tak eller dekke ned til 2.etasje.

4.5.4 Vinduer og dører

De fleste vinduer i 1. og 2. etasje er som de ble montert i 1978, med unntak av noen vinduer som ble byttet ut i 1995. Vinduer er av typen to-lags isolerglass. Det er fast solavskjerming på vinduer mot sør og øvrige vinduer har innvendig solavskjerming. Vinduene har en antatt U-verdi på 2,5 W/m²K (Ribu, 2012). Det er ulike dimensjoner på vinduene, se tabell.

Tabell 4.5 Oversikt over vinduer i hovedbygg med dimensjon og antall

Vindu	Dimensjoner [m]	Antall [stk]
V1	1,04x1,32	235
V2	0,70x1,32	18
V3	0,40x1,32	71

I 3.etasje er det også montert isolerglassvinduer med fast solavskjerming i form av takutstikk. Det er i tillegg montert utvendig solavskjerming på vinduer vendt mot sør, øst og vest. U-verdien er vurdert til 1,6 W/m²K. Verdiene er beregnet etter Byggforsk byggdetalj 733.162 og TEK97, hentet fra ENØK-rapport.

Tabell 4.6 Oversikt over vinduer i nybygg med dimensjon og antall

Vindu	Dimensjoner [m]	Antall [stk]
V4	1,00x1,20	21
V5	0,40x1,20	26
V6	1,60x1,20	23

4.5.5 Forutsetninger for tetthet og kuldebroer

Parallelt med denne oppgaven, skrives det en masteroppgave om kuldebroer på St. Olav videregående skoler. Det er ikke tatt utgangspunkt i disse verdiene, da resultatene kom etter simuleringene var gjennomført. Antakelsene av kuldebroverdiene er basert på NS 3031 og er fastsatt etter type bærekonstruksjon. Hovedbygg er satt til 0,12 W/m²K og påbygg er satt til 0,06 W/m²K (Standard Norge, 2007).

Lekkasjetallet er antatt å være 3 (h⁻¹) for hovedbygg og 1,5 (h⁻¹) for påbygg. Antakelsene er gjort med utgangspunkt i veiledende verdier gitt i NS 3031. For hovedbygget er det tatt utgangspunkt i anbefalt nivå for bygningskategori inntil to etasjer av byggforskrifter 1969 og 1985 (Standard Norge, 2007).

4.6 INSTALLASJONSSPESIFIKKE INNDATA

4.6.1 Ventilasjon

Det er installert to ventilasjonsaggregater som forsyner skolen med behandlet luft etter CAV-prinsippet. Hovedbygg betjenes av ventilasjonsaggregatet (36.01) som ble installert da bygget var nytt. Det nye ventilasjonsanlegget fra 2003 (36.02) forsyner 3.etasje. Begge anleggene er utstyrt med roterende varmegjenvinner og ifølge ENØK-rapport er det antatt en gjenvinningsgrad på 65% for 36.01 og 70% for 36.02. Kjelleren er basert på en naturlig ventilasjonsstrategi.

Antatte luftmengder er for 36.01 på 60 000 m³/h og 9 000 m³/h for 36.02. Det er uklart når målingene av luftmengdene ble utført. Det er i løpet av det siste året gjort oppgiring av anlegget. Nåværende luftmengde er derfor ukjent. SFP faktor settes til 2 kW/(m³/s) ut fra veiledende verdier gitt i NS3031.

Tabell 4.7 Oversikt over ventilasjonsaggregatene med dekningsområde og antatte luftmengder

Aggregat	Dekningsområde	Luftmengde [m ³ /h]
36.01	Hovedbygg	60 000
36.02	Påbygg, 3.etasje	9 000

Tilluften fra det gamle anlegget blåses ut i rommet via induksjonsapparatene som er plassert langs yttervegg. Anlegget i 3.etasje har radielle ventiler i himling for lufttilførsel, luften tilføres etter omrøringsprinsippet.

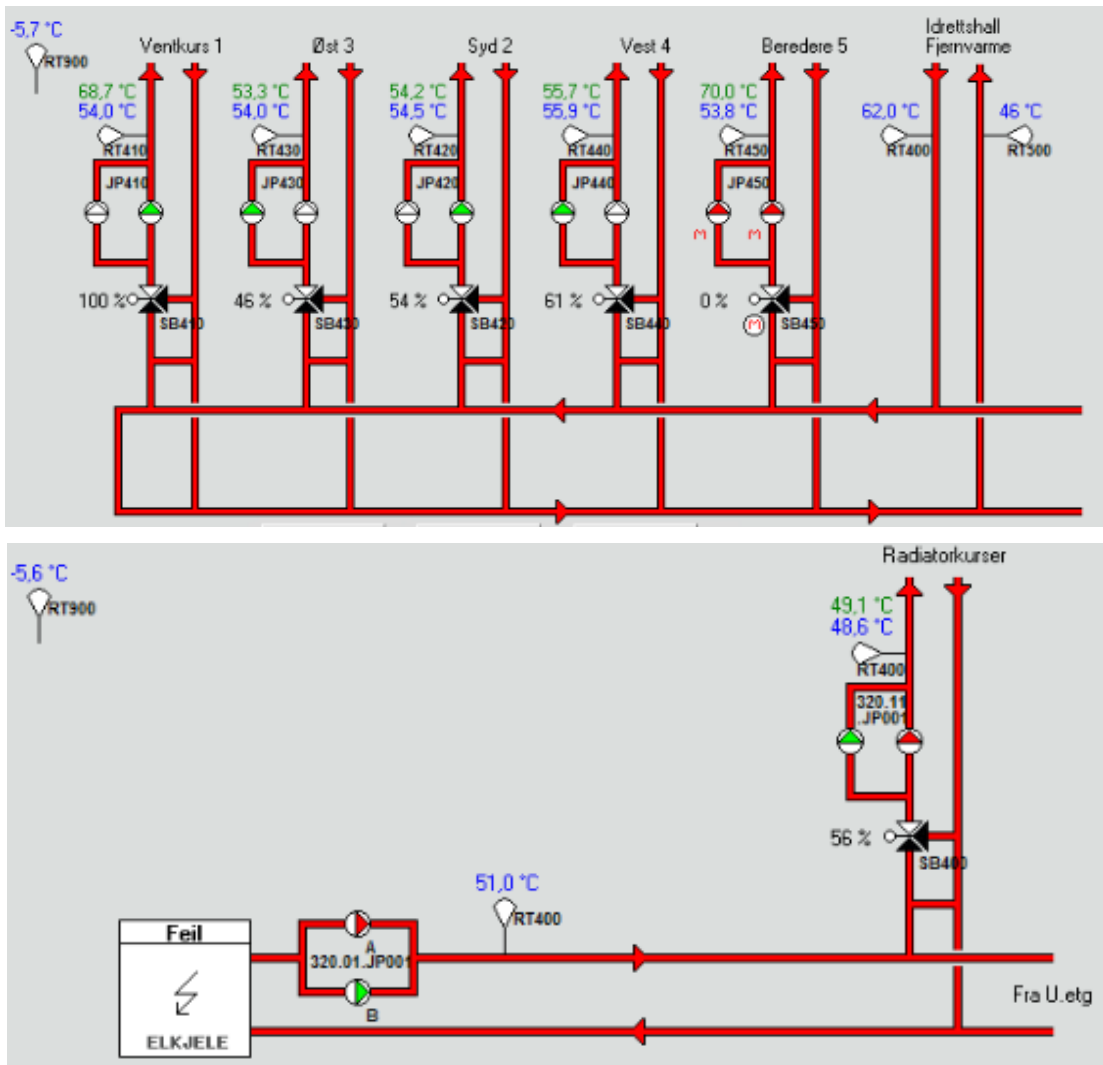
Styring av ventilasjonsanlegget gjøres via SD-anlegget. Driftstiden er fra 07.00 til 17.00 på hverdager. Anleggene slås helt av utenom dette tidsrommet. Når aula i første etasje er brukt utenom normaldrift må hele ventilasjonsanlegget kjøres fullt.

Aggregat 36.01 har varme- og kjølebatteri som forsynes av en luft- vann varmepumpe. Varmepumpen er defekt på varm og brukes kun på kjøling. Effekten er anslått til 2/4 på grunn av defekte kompressorer.

Varmebatteriet til 36.02 forsynes av fjernvarme og en elkjel. Det er to kjølemaskiner som sørger for kjøling til kjølebatteriet.

4.6.2 Oppvarming

Bygget varmes opp med vannbårent varmeanlegg med induksjonsapparat og radiatorer. Anlegget er tilknyttet varmesentralen i Sarpsborghallen, som ligger like ved skolen. Anlegget har tre varmekurser som leverer varme til induksjonsapparatene og en kurs for radiatorer i 3.etasje. I tillegg er det en kurs til varmebatterier i ventilasjonsaggregatene og en kurs til varmtvannsbereder. Figur 4.14 viser et oversiktsbilde av varmekursene slik det presenteres i SD-anlegget.



Figur 4.14 Skjerm bilde fra SD-anlegget med oversikt over varmekursene for fjernvarmen

Tur- og returtemperatur for hovedstokk var 62 °C og 46 °C ved befaring tidlig i januar. Det tilsvarer en ΔT på 16 °C. Utover i mars ble det registrert tur- og returtemperaturer på 59 °C og 46 °C. For simuleringer vil inndata baseres på ΔT som ble registrert i januar.

Det vannbårne varmeanlegget antas å ha konstant volumstrøm. Det vil videre i oppgaven tas utgangspunkt i det. Det er ikke gjennomført mengdemålinger grunnet mangel på utstyr.

Varmeavgiverene i alle klasserom og kontorer i 1. og 2. etasje er induksjonsapparater som er montert på yttervegg. Ventilasjonsluften tilføres under apparatene, luften varmes opp og spres ut i rommet. Det er påpekt av driftslederne at vindusbrett hvor luften skal komme ut, ofte er tildekt av klær eller søppel. Typisk spesifikt effektbehov til oppvarming basert på byggeår (1970-1984) er satt til 50-80 W/m², 50 W/m² vil derfor være utgangspunkt for simuleringene (Programbyggerne, 2013c).

Induksjonsapparatene er termostatstyrt. Det er termostater i alle klasserom, men mange av disse er defekte. I klasserom hvor termostater og ventiler til varmtvannet i induksjonsapparatene er defekte, styres varmen manuelt. I slike tilfeller går driftslederne inn på hvert induksjonsapparat og justerer inn apparatene til cirka temperaturer.

Det har ved flere anledninger vært lekkasjer i vannanlegget. Grunnet ødelagte rør måtte deler av vannsløyfen som tilfører vann til klasserommene i nord legges om og kobles til en annen varmekurs. Det er ikke gjennomført skylling av rørsystemet tilknyttet induksjonsapparatene. Det blir i den forbindelse stilt spørsmålstegn ved gjengroing av rørene.

I 3.etasje er det termostat på hver radiator. Grunnet mangel på behov er ikke alle radiatorer i 3.etasje i bruk. Oppvarming i kjelleren er også ved radiatorer som er termostatstyrte.

Bygget driftes etter en settpunkttemperatur på 21 °C. Ifølge driftslederne er det vanskelig å opprettholde denne temperaturen jevnt over hele bygget. For rom på samme varmekurs vil det varmeste rommet være dimensjonerende, noe som ifølge driftslederne går ut over temperaturen i andre rom. For enkelte områder av bygget er det plassert elektriske ovner til oppvarming, for å klare å tilfredsstille brukernes varmebehov.

4.6.3 Kjøling

Kjølebehovet i bygget oppleves av driftslederne som stort på sommerhalvåret. Det er til tider store problemer med å holde tilfredsstillende temperaturer, spesielt i klasserom og kontorer. Det er installert en reversibel luft-vann varmepumpe/kjølemaskin. Denne er defekt på varme og benyttes kun til kjøling. For simuleringer som gjøres i SIMIEN vil varmepumpen plottes inn med kapasitet kun på kjøling.

4.7 BRUKERSPESIFIKKE INNDATA - INTERNLASTER

4.7.1 Personbelastning

Antall brukere av bygget er anslått sammen med driftslederne. Totalt antall elever ved skolen er omtrent 600 stykker. I tillegg kommer lærere og driftspersonell som er tilnærmet 140 stykker. Alle klasserom rommer 30 elever, og det er videre i simuleringene tatt utgangspunkt i fulltallige klasser. Aula rommer i gjennomsnitt 100 stykker, kantine har i snitt 80 stykker og bibliotek med språklab har tilnærmet 60 stykker. Kontorer har varierende personbelastning, fra enkeltmannskontor til 12 personer samlet i åpent kontorlandskap.

I følge driftslederne er korridorene også brukt som oppholdssone store deler av dagen. Det er områder med benker som brukes ved gruppearbeid og i friminutter. Det er generelt en trend at elever sitter inne friminuttene. Korridor i kjeller er ikke brukt som oppholdssone.



Figur 4.15 Bilde fra klasserom med normal personbelastning

4.7.2 Belysning

Det er i alle klasserom installert ny lysarmatur med en installert effekt på 750 W per klasserom. Lyssensor regulerer belysningen etter tilstedeværelse. I korridorer og øvrige rom er det installert armatur med 2x36 W lysrør. Alt av korridorlys slås manuelt på om morgenen og slukkes etter innstilt tidsur på kveldstid. For rom som benyttes i liten grad er det manuell styring.

På befaring ble det registrert eksakt antall lysrør for hele bygget, og utført en beregning på effekt per m². I resultatkapittelet kommer en oversikt over effekt til belysning ut fra valgt soneinndeling.

4.7.3 Teknisk utstyr

Det meste av det tekniske utstyret som befinner seg i bygget er i klasserom og på kontorer. Alle klasserom har opplegg med ekstra skjøteledninger for bruk av bærbare PCer. Det er registrert at alle elever har med seg egen PC og benytter den i undervisningen. Hvert klasserom har også prosjektorer og overhead. Det er ingen egne datarom i bygget, men det

er en språklab med teknisk utstyr som er tilknyttet biblioteket. Alle kontorer har stasjonær pc og det er kopimaskiner i kontorområder i første og tredje etasje.



Figur 4.16 Bilde fra klasserom med skjøteledninger hengende ned fra taket



Figur 4.17 Språklab med teknisk utstyr

4.7.4 Bruksmønster

Skolens overordnede driftstid er mandag til fredag fra 07.00 til 17.00. Bruksmønsteret til hver enkelt sone er som presentert i tabell 4.8.

Tabell 4.8 Kartlagt bruksmønster for de ulike sonene

	Bruksmønster
U01	10.00-15.00
U02	07.00-17.00
H01	08.00-16.00
H02	08.00-16.00
H03	07.00-17.00
H04	08.00-16.00
H05	10.00-14.00
H06	07.00-17.00
H07	08.00-16.00
H08	09.00-15.00
H09	07.00-17.00
H10	07.00-17.00

Skolen er stengt og uten elever i alle ferier, men administrasjonen er åpen utenom fellesferier og bygget må da driftes som om det var normal drift.

4.7.5 Tappevann

Det er plassert en varmtvannsbereder på 2200 L i kjelleren. Det er ikke gymsal eller garderobes tilknyttet skolen, så alt av forbruk av varmt tappevann er forbundet med servanter på toalett, minikjøkken og kantinedrift. Det er en dusj for personale i kjelleren, men den benyttes i liten grad. Veiledende verdi for tappevann for skoler er satt til 4,5 W/m². Veiledende verdi for Universitets og høyskolebygg er satt til 1,6 W/m². Det blir forsøkt simulert med begge verdier.

4.8 DRIFTSSYSTEM

Luft-, varme- og kjøleanlegg styres av SD-anlegget. Anlegget er utviklet og levert av Normatic. Det benyttes flittig til styring, regulering og overvåking av temperaturløslansen i bygget. Hver morgen kontrolleres alle temperaturer, og det reguleres i henhold til utetemperaturer. Som allerede påpekt er det i noen tilfeller nødvendig å overstyre anlegget. I forbindelse med problemer knyttet til noen induksjonsapparater, går de inn på hvert apparat å justerer manuelt. I følge samtaler med driftslederne gjøres dette ofte.

5.0 RESULTATER FRA SIMULERING OG MÅLINGER

De viktigste resultater fra målinger og simuleringer vil bli presentert i dette kapittelet.

5.1 BEREGNING AV REELLE INTERNLASTER

5.1.1 Internlaster fra personer

Resultatet fra beregning av personbelastning presenteres i tabell 5.1. Her er det gjort antakelser om at hvert rom er i bruk og med full belastning. Antall personer per sone er diskutert med driftslederne.

Tabell 5.1 Resultater fra beregning av personbelastning for de tolv sonene

Sone		Internlaster personer Effekt [W/m ²]
U1	Kantine u.etg	16,7
U2	Korridor/lager u.etg	1,5
H01	Klasserom 1. etg og 2.etg	31,0
H02	Klasserom, kritiske nordvendt 1.etg	24,2
H03	Kontorer 1.etg	3,9
H04	Korridor/lager 1.etg	3,7
H05	Aula 1.etg	19,4
H06	Kontorer 1.etg øst	4,4
H07	Korridor/lager 2.etg	4,7
H08	Bibliotek/språklab/grupperom 2.etg	9,2
H09	Kontorlandskap 3.etg	16,1
H10	Fellesområder 3.etg	3,6

5.1.2 Internlaster belysning

Resultatet fra opptelling av lysarmatur og beregnet effekt for hver av de tolv sonene er presentert i tabell 5.2. Detaljert beregning er å finne i vedlegg A.

Tabell 5.2 Resultater fra beregning av effekt til belysning fordelt på de tolv sonene

Sone		Internlaster belysning Effekt [W/m ²]
U1	Kantine u.etg	13,14
U2	Korridor/lager u.etg	6,15
H01	Klasserom 1. etg og 2.etg	9,69
H02	Klasserom, kritiske nordvendt 1.etg	9,00
H03	Kontorer 1.etg	8,09
H04	Korridor/lager 1.etg	7,29
H05	Aula 1.etg	5,77
H06	Kontorer 1.etg øst	11,81
H07	Korridor/lager 2.etg	9,33
H08	Bibliotek/språklab/grupperom 2.etg	12,21
H09	Kontorlandskap 3.etg	14,19
H10	Fellesområder 3.etg	11,16

5.1.3 Internlaster teknisk utstyr

Et overslag av effekten knyttet til det tekniske utstyret på skolen, er som beskrevet i tabell 5.3. Beregningene er basert på observasjoner av synlig utstyr som er gjort under befarings. Detaljert beregning er å finne i vedlegg A.

Tabell 5.3 Resultater fra beregning av effekt til utstyr fordelt på de tolv sonene

Sone		Teknisk utstyr Effekt [W/m ²]
U1	Kantine u.etg	13
U2	Korridor/lager u.etg	2,17
H01	Klasserom 1. etg og 2.etg	19,43
H02	Klasserom, kritiske nordvendt 1.etg	17,50
H03	Kontorer 1.etg	15,05
H04	Korridor/lager 1.etg	0,46
H05	Aula 1.etg	3,15
H06	Kontorer 1.etg øst	8,37
H07	Korridor/lager 2.etg	0,59
H08	Bibliotek/språklab/grupperom 2.etg	7,42
H09	Kontorlandskap 3.etg	10,93
H10	Fellesområder 3.etg	7,14

5.2 MÅLINGER AV VENTILASJONSANLEGGET

5.2.1 Luftmengdemålinger

Resultatene fra luftmengdemålingene som ble gjort på de to aggregatene er som presentert i tabellene under. Tabell 5.4 og 5.5 beskriver resultater fra det gamle anlegget 36.01. Tabell 5.6 og 5.7 gjengir resultater fra det nye anlegget 36.02.

Tabell 5.4 Resultater fra luftmengdemåling avtrekkskanaler hovedanlegg 36.01

Aggregat 36.01			
Avtrekk			
Sjakt	Hastighet [m/s]	Kanaldimensjon [mm]	Luftmengde [m ³ /h]
A1	8.2	630	9200
A2	8.5	500	6000
A3	9.5	400	4300
A4	7.5	800	13500
B1	7.2	630	8000
B2	8.6	630	9600
B3	7.5	630	8500
		Sum avtrekk	59100

Tabell 5.5 Resultat fra luftmengdemåling tilluftskanaler hovedanlegg 36.01

Aggregat 36.01			
Tilluft			
Sjakt	Hastighet [m/s]	Kanaldimensjon [mm]	Luftmengde [m ³ /h]
A1	10.5	1000	29000
B1	6.8	400	3100
B2	5.5	500	3850
B3	7	400	3100
B4	8.2	630	9200
B5	7.2	500	5100
B6	7.9	400	3500
B7	9.2	500	6450
B8	5.5	400	2500
		Sum tilluft	65800

Tabell 5.6 Resultat fra luftmengdemåling av avtrekkskanal aggregat 36.02

Aggregat 36.02 Avtrekk		
Sjakt	k-faktor	Luftmengde [m ³ /h]
1	230	3700
2	112	3000
Sum avtrekk		6700

Tabell 5.7 Resultat fra luftmengdemåling av tilluftskanal aggregat 36.02

Aggregat 36.02 Tilluft		
Sjakt	k-faktor	Luftmengde [m ³ /h]
1	230	3200
2	112	3600
Sum tilluft		6800

5.2.2 Kontrollberegning av SFP faktor

Med utgangspunkt i strømmålinger som ble gjennomført er det beregnet SFP-faktor for de to anleggene. Som det kommer frem av tabell 5.8 ble SFP beregnet til 2,22 kW/(m³/s) for det gamle anlegget og 2.15 kW/(m³/s) for det nye anlegget.

Tabell 5.8 Resultat fra beregning av total vifteeffekt og SFP for begge ventilasjonanlegg

Anlegg	Spenning [V]	Strøm [A]		Cos ϕ	Faktor Eldre anlegg	Sum vifteeffekt ΣP [kW]	Total luftmengde \dot{V} [m ³ /s]	SFP [kW/(m ³ /s)]
		Tilluft vifte	Avtrekk vifte					
36.01	230	52	52	0.98	1.73	40.55	18.29	2.22
36.02	230	9	9	0.98	0	4.06	1.89	2.15

5.2.3 Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner

Det ble målt reelle temperaturer over varmegjenvinneren for de to ventilasjonsanleggene. Følgende resultat gjengitt i tabell 5.9 og tabell 5.10, beskriver temperatur og beregnet temperaturvirkningsgrad i henhold til beskrivelse i teorien.

Tabell 5.9 Målte temperaturer og beregnet temperaturvirkningsgrad for ventilasjonsanlegg 36.01

Ventilasjonsanlegg 36.01		
Målte lufttemperaturer:		
Før varmegjenvinner tilluftside, t_1	-2,7	C°
Etter varmegjenvinner tilluftside, t_2	13	C°
Før varmegjenvinner avtrekkside, t_3	21,7	C°
L_{\min}	59100	m ³ /h
Beregnet temperaturvirkningsgrad, η_t	64 %	

Tabell 5.20 Målte temperaturer og beregnet temperaturvirkningsgrad for ventilasjonsanlegg 36.02

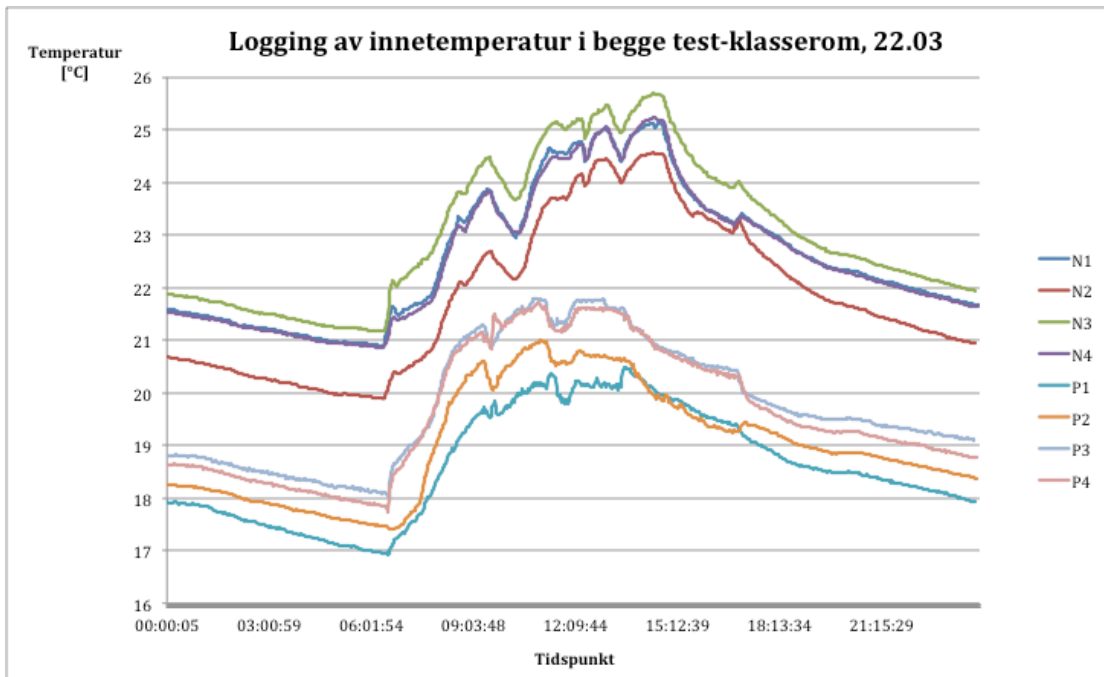
Ventilasjonsanlegg 36.02		
Målte lufttemperaturer:		
Før varmegjenvinner tilluftside, t_1	-2,5	C°
Etter varmegjenvinner tilluftside, t_2	15,1	C°
Før varmegjenvinner avtrekkside, t_3	21,5	C°
L_{\min}	6700	m ³ /h
Beregnet temperaturvirkningsgrad, η_t	74 %	

5.3 INNEKLIMAMÅLINGER

Her presenteres de viktigste resultatene fra inneklimatemålingene som er gjennomført av Tinymesh og undertegnede.

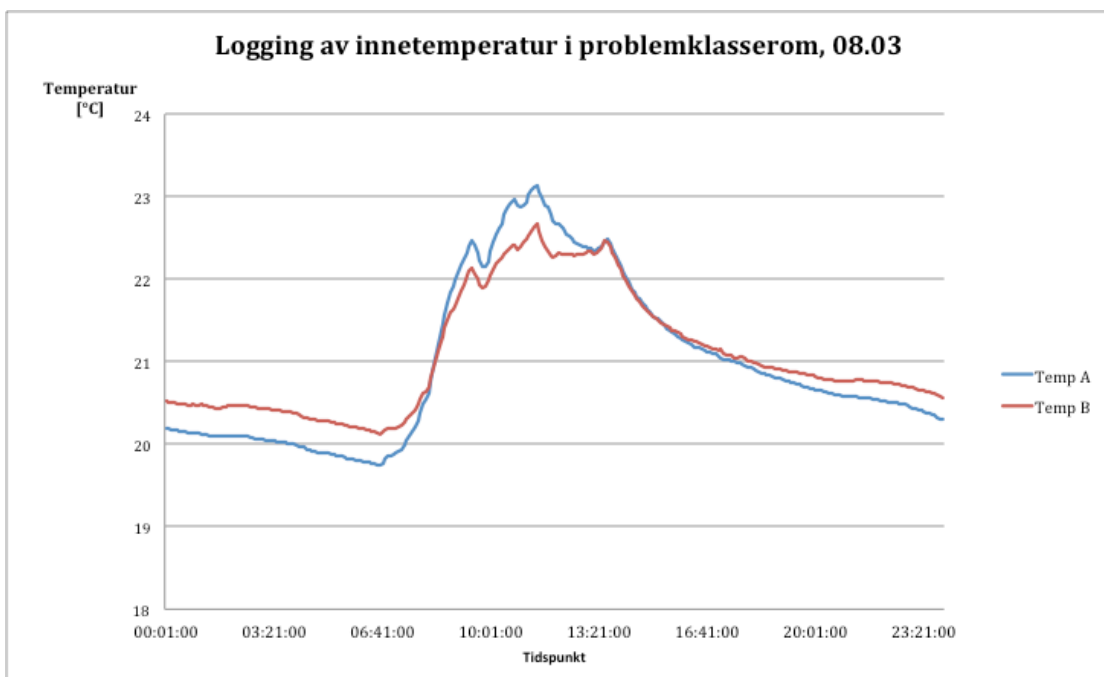
5.3.1 Temperaturmålinger

Logging av innetemperatur som ble gjennomført 22.03.13 presenteres i figur 5.1. "Normalklasserommet" illustreres med N1-N4 og "problemklasserommet" med P1-P4. Høyeste og laveste innetemperatur som ble målt i "problemklasserommet" i tidsperioden 07-17, var 21,7 °C og 17,3 °C. Tilsvarende for "normalklasserommet" var 25,7 °C og 20,4 °C. Registrert utendørs middeltemperatur for samme periode var -6,2 °C.



Figur 5.1 Resultat fra temperaturlogging i test-klasserom gjennomført av Tiny-Mesh 22.03

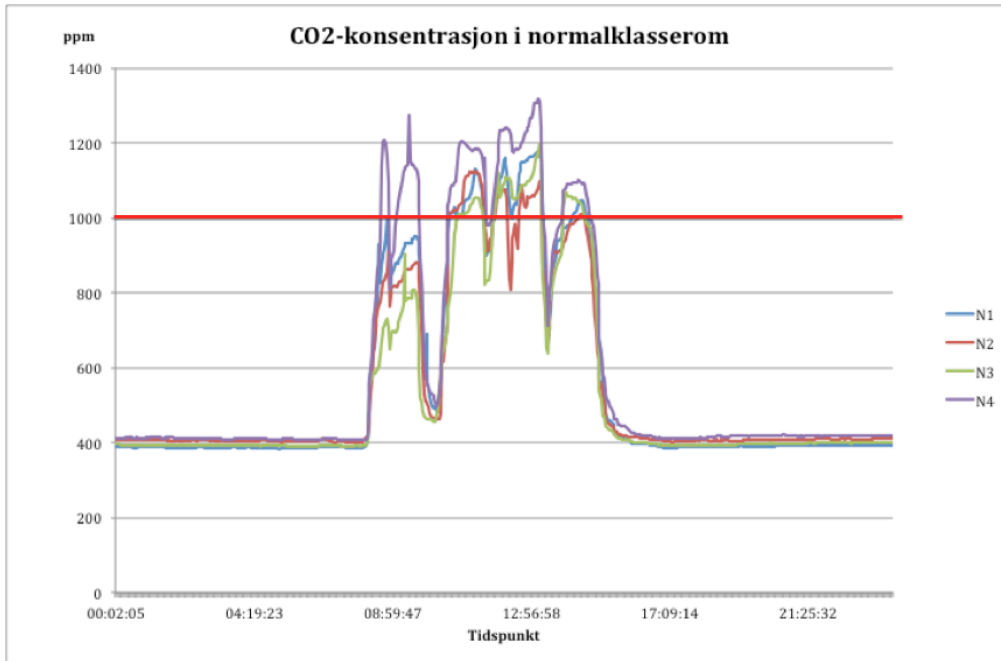
Resultater fra logging av innetemperatur gjennomført 08.03.13 presenteres i figur 5.2. Figuren presenterer kun resultater fra målinger i "problemklasserommet". Midlere utetemperatur fra samme tidspunkt som målingene ble gjennomført var $-3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



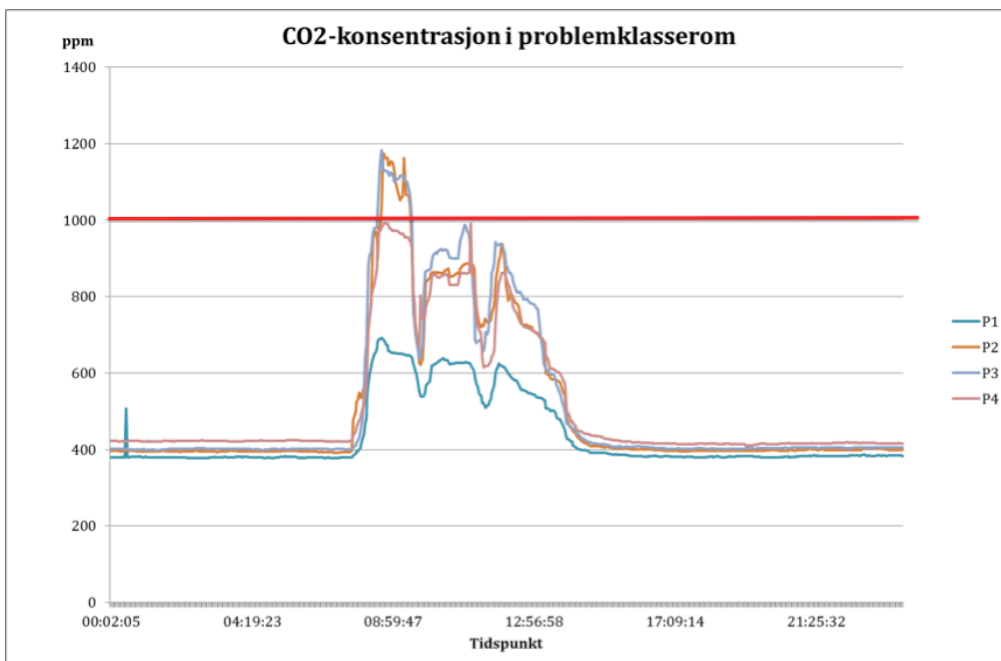
Figur 5.2 Resultat fra temperaturlogging i problemklasserom gjennomført av undertegnede 08.03

5.3.2 Målinger av CO₂-konsentrasjon

Resultatet fra målinger av CO₂-konsentrasjonen er som presentert i figur 5.3 og 5.4. Målingene viser variasjonen over et helt døgn for de fire sensorene på hvert test-klasserom.



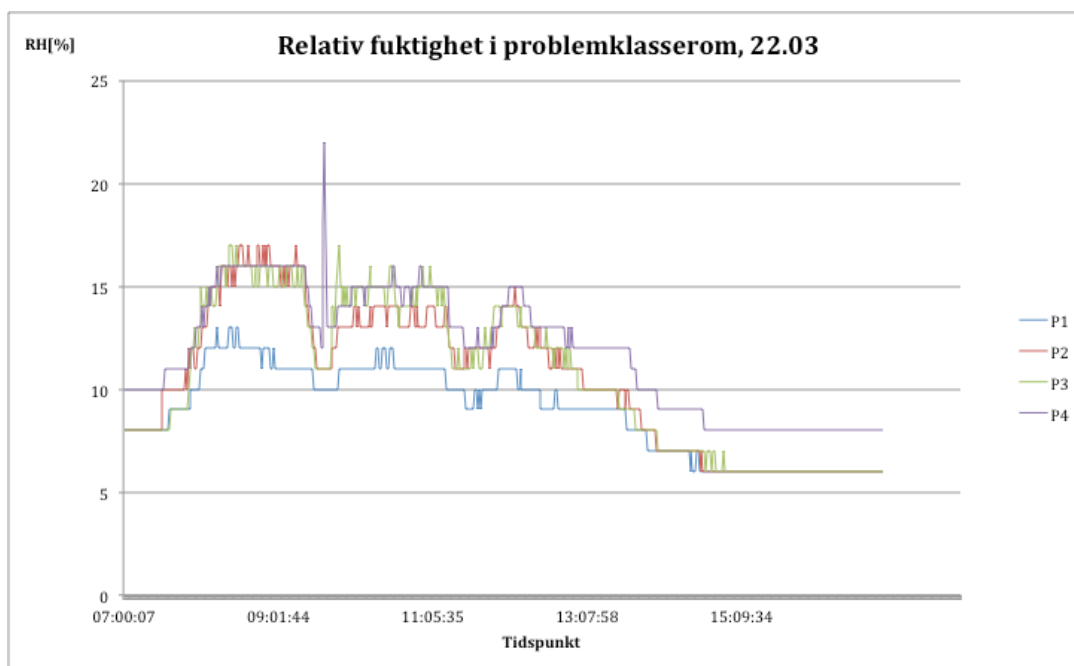
Figur 5.3 Døgnvariasjon i CO₂-konsentrasjon i normalklasserommet, målinger fra fire sensorer i ulike deler av rommet.



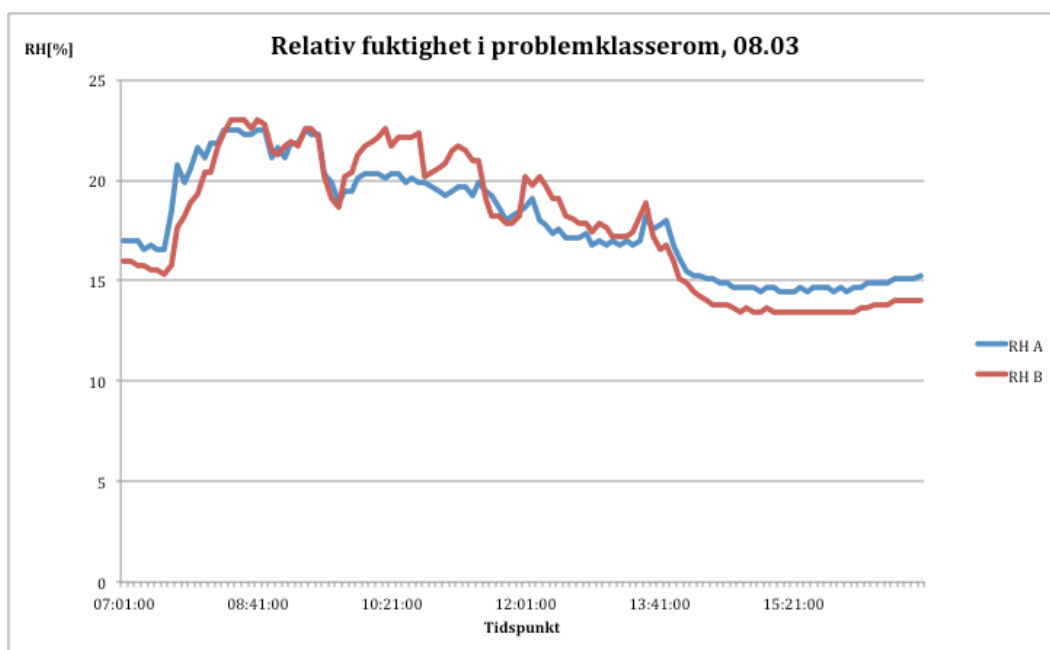
Figur 5.4 Døgnvariasjon i CO₂-konsentrasjonen i problemklasserommet, målinger fra fire sensorer plassert i ulike deler av rommet

5.3.3 Målinger av relativ fuktighet

Den relative fuktigheten i "problemklasserommet" ble målt ved to anledninger. Figur 5.5 beskriver forholdene som ble registrert 22.03.13 og figur 5.6 beskriver det som ble målt 08.03.13.



Figur 5.5 Resultat fra logging av RH i problemklasserommet 22.03. Resultatet viser logging fra fire forskjellige steder i rommet, P1-P4

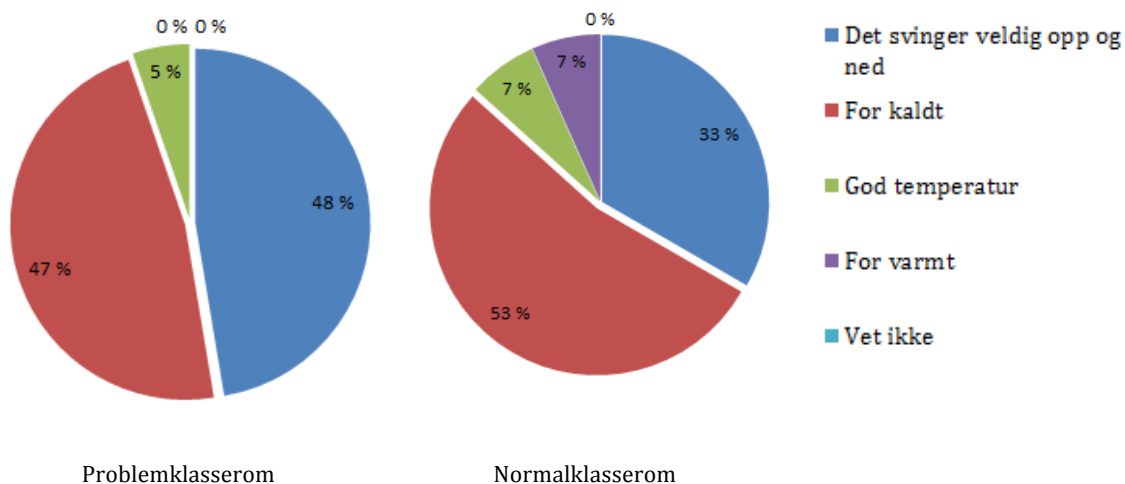


Figur 5.6 Resultat fra logging av RH i problemklasserommet 08.03. Resultatet viser logging fra to steder i rommet

5.4 SPØRREUNDERSØKELSE OM OPPLEVD INNEKLIMA

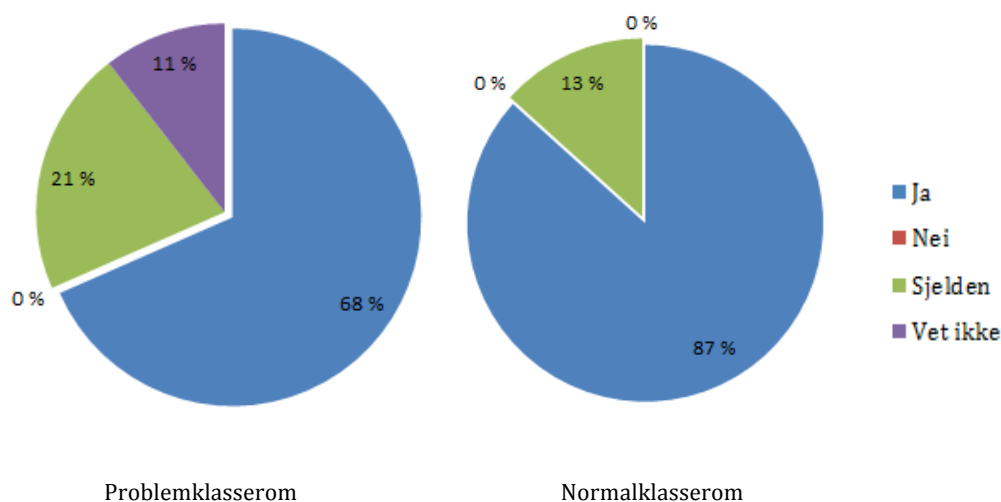
Resultatene fra undersøkelsen er presentert i figurene som følger. Besvarelsen fra undersøkelsene deles inn i to, et for "normalklasserommet" og et for "problemklasserommet".

Hva synes du om temperaturen i klasserommet?



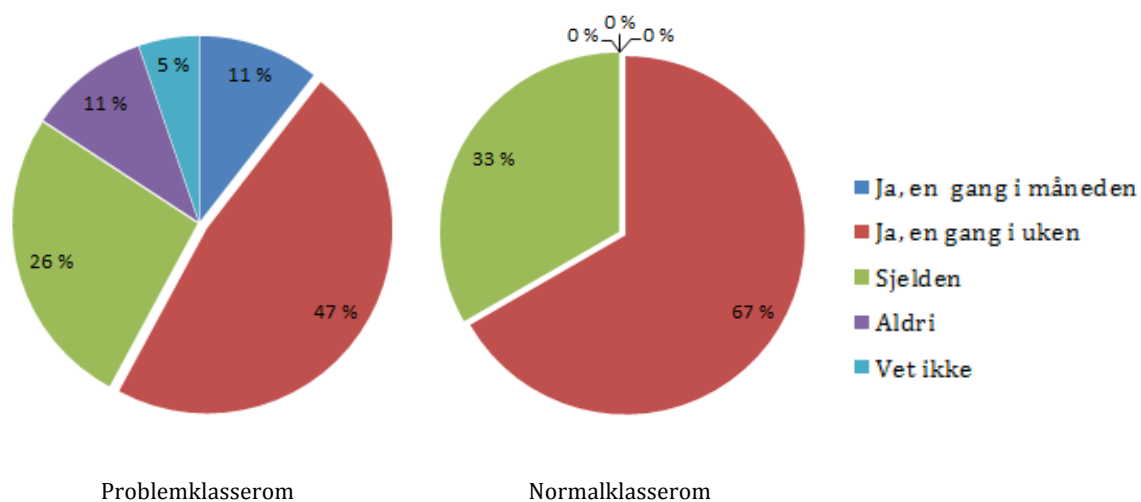
Figur 5.7 Resultat fra spørreundersøkelse om opplevd temperatur i testklasserommene

Opplever du ofte dårlig luft i dette klasserommet?



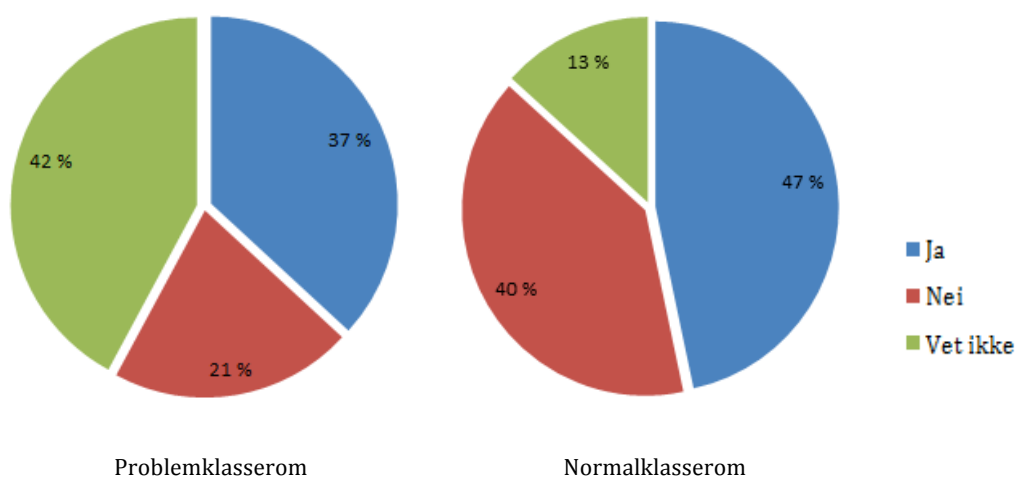
Figur 5.8 Resultat fra spørreundersøkelse om opplevd luftkvalitet i testklasserommene

Opplever du hodepine?



Figur 5.9 Resultat fra spørreundersøkelse om hodepine

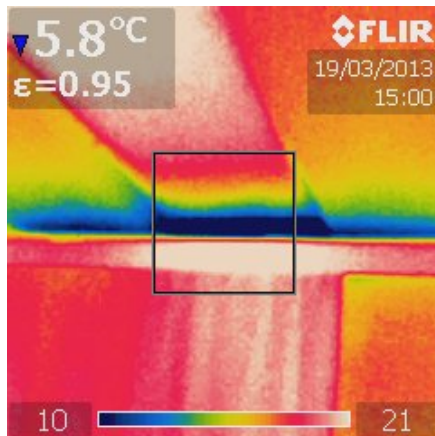
Opplever du trekk når du sitter ved vinduet?



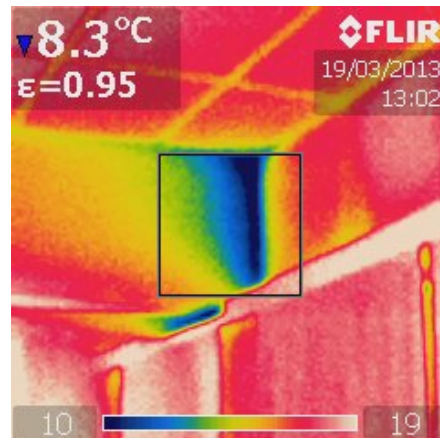
Figur 5.10 Resultat fra spørreundersøkelse om opplevd lufthastighet ved vinduer

5.5 TERMOGRAFERING

Her presenteres to utvalgte termograferinger som er tatt på "problemklasserommet" 19.03.13. Bildene er tatt av Harald Halsne i forbindelse med hans masteroppgave om kuldebroer ved St. Olav VGS. Bildene er ment som en illustrasjon på strålingstemperaturen.



Figur 5.11 Termografering av søyle i "problemklasserommet"



Figur 5.12 Termografering av bjelke i "problemklasserommet"

5.6 SIMULERING I SIMIEN

I dette kapittelet vil hovedresultatene fra simulering i SIMIEN bli presentert. Alle simuleringene tar utgangspunkt i samme hovedmodell med soneinndeling som beskrevet i kapittel 4.4. De resultatene som gjengis i dette kapittelet er beregnet levert energi for bygningen. Tabell 5.11 viser en oversikt over hvordan casene henger sammen.

Tabell 5.11 Oversikt over de casene som er simulert

Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
1a: Alt av inndata er basert på verdier gitt i NS 3031	2a: Her er det tatt utgangspunkt i case 1b men med reelle internlaster og bruksmønster	3a: Her er det tatt utgangspunkt i case 2b men med justering for målte luftmengder i ventilasjonsanlegget	4a: Her er det tatt utgangspunkt i case 3c men med endring i settpunkttemperatur i sone H2 og H6 til 20 °C i drift og 18 °C utenfor drift
1b: Tilsvarende som for 1a men med justeringer for oppgitte ventilasjons luftmengder	2b: Her er det tatt utgangspunkt i case 2a men med justering hvor områder uten tappevanntilgjengelighet er tatt hensyn til i SIMIEN	3b: Her er det tatt utgangspunkt i case 3a med justering for målte SFP-faktorer	4b: Endret settpunkttemperatur i sone H2 og H6 til 19 °C i drift og 17 °C utenfor drift. Resterende soner har 21 i drift og 18 utenfor drift.
		3c: Her er det tatt utgangspunkt i case 3b med justering for målte temperaturvirknings grader	4c: Endrer effekt til oppvarming i sone H2 og H6 til 30 W/m ²
			4d: Her settes effekt til oppvarming lik null i soner uten egen varmeavgiver. Dette gjelder sonene H4, H5 og H7.

5.6.1 Case 1: Et utgangspunkt i NS 3031

Denne casen er utgangspunktet for alle simuleringene. Her er det simulert med riktig geometri og bygningsspesifikke inndata. Installasjonsspesifikke inndata og internlaster er basert på veiledende verdier gitt i NS 3031 og som beskrevet i kapittel 2.7.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	596832 kWh	71,9 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	33764 kWh	4,1 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	884404 kWh	106,5 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1514999 kWh	182,4 kWh/m ²

Figur 5.13 Case 1a: Resultat fra simulering av utgangspunktet. Inndata basert på veiledende verdier gitt i NS 3031

Case 1a er en justering av case 1b, hvor de antatt ventilasjonsluftmengdene som var oppgitt av driftslederne er lagt inn. Dette var de samme luftmengdene og SFP-faktorene som ble brukt i ENØK-rapporten. Resterende verdier er fra NS 3031. Figur 5.14 presenterer resultatene fra case 1b.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	506327 kWh	61,0 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	27052 kWh	3,3 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	725023 kWh	87,3 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1258402 kWh	151,5 kWh/m ²

Figur 5.14 Case 1b: Inndata basert på veiledende verdier gitt i NS 3031 og antatte luftmengder

5.6.2 Case 2: Reelle internlaster og bruksmønster

Case 2 simulerer scenario hvor det er tatt utgangspunkt i case 1b, men justert for reelt bruksmønster, beregnede internlaster og antatt effekt til tappevann på 1,6 W/m². Figur 5.15 gjengir resultater fra simuleringen av case 2a, hvor reelle internlaster og reelt bruksmønster er lagt inn.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	500026 kWh	60,2 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	29289 kWh	3,5 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	619276 kWh	74,6 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1148590 kWh	138,3 kWh/m ²

Figur 5.15 Case 2a: Resultat fra simulering med beregnet reelt bruksmønster og internlaster

I tillegg til internlastene som belysning, teknisk utstyr og personbelastning ble det også simulert en case 2b, hvor det er tatt hensyn til forbruk av tappevann for de ulike sonene. Resultatet som presenteres i figur 5.16 er fra case 2b hvor det ble korrigert for de soner som ikke har tappevanntilgjengelighet.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	494794 kWh	59,6 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	28438 kWh	3,4 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	568926 kWh	68,5 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1092159 kWh	131,5 kWh/m ²

Figur 5.16 Case 2b: Resultat fra simulering hvor tappevann er fjernet fra soner som ikke har servanter

Det simulerte energibudsjettet for case 2a og case 2b er som beskrevet i tabell 5.12. Her kommer det frem hvordan endringen i tappevann har betydning for energibudsjettet.

Tabell 5.12 Formålsdelt energibudsjett for case 2a og case 2b

Energibudsjett	Spesifikt energibehov [kWh/m ²]	
	Case 2a	Case 2b
Romoppvarming	61,6	59,4
Ventilasjonsvarme	13,8	13,8
Varmtvann	8,1	4,5
Vifter	12,3	11,9
Pumper	1,9	1,9
Belysning	18,6	18,6
Teknisk utstyr	15,1	15,1
Romkjøling	0,9	0,9
Ventilasjonskjøling	1,8	1,8
Totalt netto energibehov	134,1	127,9

5.6.3 Case 3: Reelle inndata på ventilasjonsanlegget

Følgende tre simuleringer har inndata basert på de resultatene som har kommet frem av målinger på ventilasjonsanlegget. Figur 5.17 gjengir resultatet fra simulering av case 3a, hvor det er lagt inn de luftmengdene som ble målt i forbindelse med denne oppgaven.

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	472478 kWh	56,9 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	26677 kWh	3,2 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	533421 kWh	64,2 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1032575 kWh	124,3 kWh/m ²

Figur 5.17 Case 3a: Resultat fra simulering basert på de målte luftmengdene i kapittel 5.2.1

Figur 5.18 gjengir resultatet fra simuleringen av case 3b, hvor både beregnet SFP og målte luftmengder er lagt inn.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	478569 kWh	57,6 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	26839 kWh	3,2 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	531610 kWh	64,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1037018 kWh	124,9 kWh/m ²

Figur 5.18 Case 3b: Resultat fra simulering basert på målte luftmengder og beregnet SFP

Simulering av case 3c er basert på alle de målte verdien for ventilasjonsanlegget. Målte luftmengder, SFP og varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad. Resultatet fremkommer av figur 5.19.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	479915 kWh	57,8 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	26845 kWh	3,2 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	533857 kWh	64,3 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1040618 kWh	125,3 kWh/m ²

Figur 5.19 Case 3c: Resultat fra simulering basert på målte verdier på luftmengde, SFP og varmegjenvinningsgrad

5.6.4 Case 4: Eksperimentering med settpunkt-temperaturer og effekt på oppvarming

I følgende simuleringer er det gjort justeringer i forbindelse med de temperaturene som ble målt ved inneklimate målingene. Det er tatt utgangspunkt i at sone H02 og H06 tilsvarer samme situasjon som "problemklasserommet" og sone H01 tilsvarer "normalklasserommet".

I simulering av første case 4a gjøres det endringer i settpunkttemperatur i "problemsonene" H2 og H6, resultatet presenteres i figur 5.20. Nye settpunkttemperaturer er 20 °C i drift og 18 °C utenfor drift.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	479174 kWh	57,7 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	26489 kWh	3,2 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	527828 kWh	63,6 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1033491 kWh	124,5 kWh/m²

Figur 5.20 Case 4a: Beregnet levert energi ved reduserte settpunkttemperaturer i sone H2 og H6

Tilhørende simulerte temperaturer i soner som omfatter "normalklasserommet" og "problemklasserommet" er som beskrevet i tabell 5.13. Temperaturene som er presentert her skal tilsvare temperaturer for mars måned.

Tabell 5.13 Case 4, tilhørende simulerte temperaturer for mars måned

Sone	Midlere temperatur [°C]	Maks temperatur [°C]	Min temperatur [°C]
H01	20,2	24,6	19
H02	19,2	22	18

I simulering av case 4b endres settpunkttemperaturen for sonene H2 og H6 til 19 °C og 17 °C i driftstid og utenfor driftstid, og samtlige soner i hovedbygget reduseres til 18 °C utenfor driftstiden. Beregnet levert energi er som beskrevet i figur 5.21.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	476789 kWh	57,4 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	25086 kWh	3,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	502555 kWh	60,5 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1004430 kWh	121,0 kWh/m²

Figur 5.21 Case 4b: Beregnet levert energi når settpunkttemperatur i og utenfor driftstiden er 21 °C/18 °C for alle soner i hovedbygget og 19 °C /17 °C for sone H02 og H06

Tilhørende simulerte temperaturer for måneden mars er som beskrevet i tabell 5.14.

Tabell 5.14 Case 4b, tilhørende simulerte temperaturer for mars måned

Sone	Midlere temperatur [°C]	Maks temperatur [°C]	Min. temperatur [°C]
H01	19,6	24,3	18
H02	18,5	22	17

I simulering av case 4c er effekt til oppvarming i problemsonene H02 og H06 endret. Effekten er redusert fra 50 W/m² til 30 W/m². Resultatet fra simuleringen er gjengitt i figur 5.22.

Lever energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Lever energi	Spesifikk lever energi
1a Direkte el.	476587 kWh	57,4 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	25085 kWh	3,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	502544 kWh	60,5 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt lever energi, sum 1-6	1004216 kWh	120,9 kWh/m ²

Figur 5.22 Case 4c: Beregnet lever energi når effekt til oppvarming er redusert fra 50 W/m² til 30 W/m² i sonene H02 og H06

I case 4d simuleres det med effekten til oppvarming lik null for soner som ikke har egne varmeavgivere. Dette gjelder sone H04, H05 og H07. Beregnet lever energi er presentert i figur 5.23.

Lever energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Lever energi	Spesifikk lever energi
1a Direkte el.	475372 kWh	57,2 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	21563 kWh	2,6 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	448145 kWh	54,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt lever energi, sum 1-6	945080 kWh	113,8 kWh/m ²

Figur 5.23 Case 4d: Beregnet lever energi når soner uten egen varmeavgiver har effekt til oppvarming lik null

6.0 ANALYSE OG DRØFTING

6.1 CASE 1: ET UTGANGSPUNKT I NS 3031

NS 3031 er et utgangspunkt for alle energiberegninger som gjøres i Norge. Hensikten med simuleringen av case 1 var å få frem hvordan en simuleringsmodell av St. Olav med inndata basert på de veiledende verdiene gitt i NS 3031 ville være sammenlignet med det målte forbruket. De to simuleringene som ble gjort viste begge et høyere energiforbruk enn det virkelige. Den første simuleringen hvor det kun var inndata fra NS 3031 var i utgangspunktet en urealistisk modell med tanke på at de oppgitte luftmengdene fra driftslederne var lavere enn de som veiledningen i NS 3031 oppga. Det interessante med denne casen er å få et inntrykk av hvordan det simulerte resultatet som kun er basert på de kjente bygningsfysiske egenskapene er. Resultatet viser at det er et nokså forskjellig forbruk enn det virkelige forbruket. Beregnet levert energi ligger 68 % høyere enn det målte gjennomsnittsforkbruket. Det bør nevnes at standarden understreker at reelle luftmengder og spesifikke vifteeffekter må dokumenteres for den gitte bygningen som simuleres.

Når oppgitte ventilasjonsspesifikke inndata ble lagt inn i den generelle simuleringsmodellen ble det en reduksjon i både fjernvarmeforbruket og elektrisitetsforbruket. Samlet sett ligger det beregnede energiforbruket 40 % høyere enn det målte gjennomsnittsforkbruket. Case 1b beregner fjernvarmeforbruket til 725023 kWh og elforbruket til 533379 kWh. Det tilsvarer et høyere forbruk enn det virkelige, på henholdsvis 70,7 % og 12,3 % sammenlignet med snittforbruket til el og fjernvarme de siste fem årene. Da tilnærmet samme inndata som ENØK-rapporten ble brukt, er det case 1b som på størst grunnlag kan sammenlignes med resultatet fra ENØK-rapporten. Forskjellene mellom resultatene som kommer frem av case 1b og de som ble gjort i ENØK-rapporten kan for det første knyttes opp mot selve oppsettet med simuleringsmodellen. Hovedoppsettet som er brukt i denne oppgaven har en økt detaljeringsgrad med flere soneinndelinger enn den som ble brukt under ENØK-rapporten. Noe av avviket kan derfor knyttes direkte opp mot simuleringsmodellen. En usikkerhet ved simulering vil alltid være knyttet til informasjon som er tilgjengelig og kjennskap til det bygget som skal simuleres. I dette tilfelle har det dukket opp opplysninger under befaringer i vår, som ikke var kjent ved det tidspunktet ENØK-simuleringene ble gjennomført. Eksempelvis kom det frem at varmpumpen var defekt på varme. Med hensyn til denne opplysningen ble varmpumpen kun lagt inn med effekt på kjøling. Differansen mellom case 1b og ENØK-rapport med

hensyn til elforbruk til varmepumpe, ble derfor på 157716 kWh. Forskjellen mellom de resultatene som simuleres her og de som ble gjort i forbindelse med ENØK-rapporten kan også knyttes til tid. Simuleringene som er gjennomført i denne oppgaven har foregått over tre måneder mot et tidsbegrensning på en uke i ENØK-rapporten.

Som forventet ble resultatene av case 1b noe lavere enn de simuleringene som var gjort fra før, som følger av en økt detaljeringsgrad og nye opplysninger om bygget. Imidlertid kreves en ytterligere detaljering for at en skal komme ned på samme nivå som det virkelige forbruket.

6.2 CASE 2: REELLE INTERNLASTER OG BRUKSMØNSTER

I case 2 er det sett på hvor store forskjeller i levert energi det er mulig å få frem ved simulering med reelle internlaster og bruksmønstre mot det som er oppgitt som veiledende verdier i NS 3031. Avhengig av type rom viser resultatene fra beregningene av internlastene en stor variasjon for hver enkelt sone. Det vil være naturlig å anta at klasserom og kontorer har større personbelastning enn øvrige rom. Antakelsene som er gjort i forkant av beregning av internlastene var blant annet 100 % tilstedeværelse i alle klasserom. Det understrekes også at de tall som fremkommer i beregning av teknisk utstyr er basert på synlig utstyr. Begge disse antakelsene kan være usikkerhetsmoment. I soner med høy personbelastning er det også mye teknisk utstyr. Dette medfører at personbelastning og utstyr følger hverandre. Om alle de beregnede verdiene sammenlignes med de som er gitt i NS 3031, ser vi for eksempel at personbelastningen i sone (H1) med klasserom har en beregnet effekt på 31 W/m² mot en veiledende verdi på 12 W/m². Det skal sies at veiledende verdi skal være dekkende for hele skolen. For noen soner er avvikene positive og i andre soner er de negative i forhold til veiledende verdi. Ser vi på middelveiden av personbelastningen for alle soner, ligger beregnet verdi bare 0,5 W/m² lavere enn den som er gitt som veiledende. Det tilsvarer 4,1 % lavere enn veiledende verdi. De veiledende verdiene gitt i standarden forsøker å beskrive en stor kategori, det kan til dels være store interne forskjeller fra skole til skole. For personbelastning ser det ut til at veiledende verdier er nokså like for denne skolen. Dersom vi ser på middelveidene, ligger effekt til belysning også tilnærmet likt det som beskrives i NS 3031, med 1,9 % lavere verdi enn veiledningen. Internlasten teknisk utstyr ligger 46 % høyere enn veiledningen. Antall soner øker også detaljeringsmuligheten for bruksmønsteret på skolen. I flere soner avviker det reelle bruksmønsteret fra veiledende bruksmønster (07.00 til 17.00). Dette er en effekt som kan forklare noe av avviket mellom beregnet og målt energiforbruk.

Resultatene fra simuleringen av case 2a beregner et årlig fjernvarmeforbruk på 619276 kWh med bruk av reelle internlaster og bruksmønster. Det tilsvarer en reduksjon på 14,6 % i forhold til det som ble simulert i case 1b med standardverdier gitt i NS 3031. Det beregnede elforbruket som er tilnærmet likt det som ble simulert i 1b, ligger på 529315 kWh. Ut fra de simuleringene som er gjort her, kan vi se at det er lite å hente i forhold til elforbruket. Økte interne varmetilskudd og et bruksmønster som er mer detaljert kan sees i sammenheng med det reduserte fjernvarmeforbruket. Forbruket av tappevann spiller også en betydelig rolle i forhold til levert fjernvarme. Fra NS 3031 er veiledende verdi på 4,5 W/m² for tappevann i skolebygg. Som allerede beskrevet er de veiledende verdiene dekkende for et bredt antall skoler. Det er ikke beskrevet om denne verdien omfatter skolebygg med dusjanlegg og gymsal. For simuleringen av reelle forhold ble det derfor gjort antakelser om at veiledende verdi for Universitets- og høyskolebygg på 1,6 W/m² var mer dekkende for vannforbruket på denne skolen. Som resultatene indikerer kan det reelle vannforbruket på skolen være en forklarende faktor på noe av avviket mellom det simulerte og virkelige.

SIMIEN åpner for å huke av områder hvor det ikke er tappevann. Klasserom, aula og kontorer er eksempel på slike områder. Fra simuleringer av case 2b, hvor områder uten tappevannsmuligheter ble fjernet, er det en ytterligere reduksjon i fjernvarmeforbruket. Dette er som følger av at årlig forbruk til tappevann ble redusert. Ut fra energibudsjettet for case 2a og case 2b som ble presentert i tabell 5.12, ser vi at det spesifikke forbruket knyttet til tappevann ble redusert fra 8,1 kWh/m² til 4,5 kWh/m². Sammenlignes case 2b med case 1b har vi en reduksjon i fjernvarmeforbruket på 21,5 %. Fjernvarmeforbruket ligger etter simuleringen av case 2b på 33,9 % over snittforbruket de siste fem år, som følger av reduksjon i oppvarmingsbehov av tappevann. Det totale beregnede energiforbruket ligger nå 21,4 % høyere enn gjennomsnittsförbruket over de fem siste årene.

6.3 CASE 3: MÅLTE INNDATA PÅ VENTILASJONSANLEGGET

I case 3 er det sett på om det er større eller mindre luftmengder i ventilasjonsanlegget enn det som er oppgitt av driftslederne. Store luftmengder krever et høyere energiforbruk enn små luftmengder, størrelsen på luftmengdene er derfor avgjørende for energiforbruket. Spørsmålet er da om det er mindre luftmengder i anlegget enn det som tidligere er antatt, og om dette kan underbygge det lave energiforbruket. Resultatene fra luftmengdemålingene følger derimot ikke denne tankerekken. Sammenlignet med de verdiene som allerede er oppgitt, viser målingene av det gamle anlegget 36.01 en større

avtrekksmengde, men lik tilluftsmengde. For det nye anlegget 36.02 ble det påvist lavere tilluft- og avtrekksluftmengder, en reduksjon på henholdsvis 2200 m³/h og 2300 m³/h.

Simuleringen av case 3a med de målte luftmengdene beregner et elforbruk på 499155 kWh og et fjernvarmeforbruk på 533421 kWh. Dette tilsvarer et høyere elforbruk på 5,1 % og et høyere fjernvarmeforbruk på 25,6 % sammenlignet med snittforbruket de siste fem årene. Ved korrigeringsfaktor for beregnet SFP og varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad er det ikke store endringer i beregnet levert energi. Begge SFP-faktorene ligger noe over den som er simulert fra før, og beregnet levert energi blir derfor noe høyere. Det bør understrekes at SFP er beregnet ved hjelp av forenklet metode og resultatene vil derfor være veiledende.

Det er en grad av usikkerhet knyttet til alt av målinger som gjennomføres. Det å tallfeste en størrelse som skal tilsvare virkeligheten kan by på utfordringer. Resultatene som er kommet frem av målingene i denne rapporten bør derfor nødvendigvis behandles med varsomhet. Gjennomføring av målingene er ikke blitt gjennomført helt i tråd med veiledende målemetode. Det ble blant annet kun målt på et sted i kanalen. Det er usikkert hvor store utslag det vil ha for resultatene.

6.4 INNEKLIMAMÅLINGER OG SIMULERING AV CASE 4

I den siste casen er det sett på hvordan inn klimaet er på skolen, og om det er mulig å se noen sammenhenger mellom inn klimamålingene og det målte energiforbruket. I første del av denne diskusjonen vektlegges inn klimaet på skolen, deretter argumenteres det for hvordan de resultatene har innvirkning på det som blir simulert i SIMIEN.

Resultatene fra inn klimamålingene viser for det første at det er en temperaturdifferanse mellom de to test-klasse rommene. Dette er et resultat som er i tråd med de indikasjoner som driftslederne hadde gitt på forhånd. Temperaturvariasjonen for "normalklasserommet" fra målingene gjennomført 22.03.13 er fra 21 °C til 25,7 °C, og for "problemklasserommet" en temperaturvariasjonen på 17 °C til 21,7 °C. Dersom man tar utgangspunkt i sensorene som målte høyest og lavest verdi, tilsvarer det en gjennomsnittlig temperaturdifferanse på 4 °C mellom de to testklasserommene. Sammenlignes disse verdiene opp mot veiledende verdier for operativ temperatur gitt for skolebygg, som er 19-22 °C på vinteren, ser man at "problemklasserommet" ligger på grensen av det som er fastsatt som krav. Det skal også nevnes at de temperaturer som er målt her er lufttemperatur. Ved operativ temperatur legges strålingstemperaturen til. Strålingstemperaturen er imidlertid ikke blitt målt for de to klasserommene. Men de

termograferingene som ble presentert i kapittel 5.5 kan på en annen side gi et inntrykk av hvordan overflatetemperaturen er ved yttervegg i "problemklasserommet". To av temperaturene som ble målt var 5,8 °C og 8,3 °C. Dette er relativt lave temperaturer. Ved bestemmelse av strålingstemperaturen legges gjennomsnittet for de omliggende flatene sammen. Vi kan anta at temperaturen på de andre veggene ligger noe høyere enn det som ble målt ved yttervegg. Likevel kan det være perioder hvor den operative temperaturen trolig ligger under 19 °C for "problemklasserommet".

Det er interessant å se forskjellen i temperaturlogging fra 22.03.13 og 08.03.13. Resultatene fra loggingen 08.03.13 viser at temperaturen varierer mellom 20 °C til 23 °C, noe som er innenfor det fastsatte kravet. Årsaken til forskjell i temperatur målt for de to dagene kan være at utetemperaturen var lavere ved siste måling 22.03.13. Et annet poeng kan være usikkerheten rundt bruken av de elektriske ovnene som er plassert i "problemklasserommet". Det er usikkert om disse ble brukt eller ikke i løpet av måleperioden. For målingene som ble gjennomført 08.03.13 var det to sensorer som logget, mot fire sensorer 22.03.13. Sensorene P2 og P3 har samme plassering som de to sensorene som ble brukt 08.03.13. Ved loggingen med fire sensorer får man en bedre oversikt over hvordan temperaturvariasjonen er innad i klasserommet, noe som trolig ikke ble fanget opp ved logging med to sensorer.

Resultatene fra spørreundersøkelsen hvor det ble spurt om opplevd temperatur i klasserommet viser at de fleste opplever temperaturen som for kald eller at det er stor variasjon i temperaturen. I følge figur 5.7 er det 48 % som svarer at de opplever store variasjoner i temperaturen i "problemklasserommet". For "normalklasserommet" er det 33 % som svarer det samme. Det er ikke så stor forskjell mellom resultatene fra spørreundersøkelsen ved spørsmål om rommet føles for kaldt. Dette er interessant i og med at temperaturloggingen viser at det er en temperaturdifferanse i gjennomsnitt på 4 °C. Her kan man da stille spørsmål om hvordan den operative temperaturen er. Det er heller ikke målt lufthastigheter i rommet, en faktor som også er med på å bestemme menneskets opplevde termiske komfort. Ved spørsmål om opplevd trekk ved vinduer er det flere som opplever problem med det i "normalklasserommet" enn det er i "problemklasserommet". Som det kommer frem av teorien vil en kombinasjon av en lufthastighet på 0,15 m/s og en gjennomsnittlig lufttemperatur på 22 °C med en turbulensintensitet på 40 kunne føre til 15 % misfornøyde blant en gruppe mennesker. For den aktuelle gruppen som ble spurt her, er andelen misfornøyde med tanke på temperatur og trekk høyere enn 15 %. Den gruppen av ungdommer som ble spurt er i alderen 17-19 år, det er usikkert hvor troverdig

deres besvarelser er. Det kan også stilles spørsmålsteget ved hvorvidt de spørsmålene som ble stilt ble oppfattet på riktig måte. Det er ikke sikkert at de ble formulert på en forståelig måte.

CO₂-konsentrasjonen gir en indikasjon på luftskifte og personbelastning i et rom. Målingene i de to klasserommene viser tydelig når på dagen det er undervisning, ved at CO₂-konsentrasjonen øker. Høyeste målte verdi for "normalklasserommet" var på 1319 ppm og 1184 ppm for "problemklasserommet". Det vil si at begge klasserom overskrider myndighetenes øvre akseptable grense på 1000 ppm for skoler og barnehager. Det er usikkert hvor mange personer som var inne i klasserommene i løpet av perioden det ble målt. Dersom klasserommene ikke hadde full belastning, kan vi anta at en CO₂-konsentrasjon med full belastning vil være noe høyere enn det som ble målt. I følge figur 5.3 som viser resultater fra "normalklasserommet", er det tydelig at det har vært en vinduslufting rundt klokken 10.00. CO₂-konsentrasjonen målt ved sensor N4 faller fra 1300 ppm til 450 ppm i løpet av en kort periode. Samme figur viser også at det er nokså stor forskjell i luftkvalitet i de ulike delene av rommet. De andre sensorene ligger i snitt noe lavere enn N4. Dette kan tyde på at luftskiftet i det området av klasserommet er dårligere. Vindusluftingen kan indikere at menneskene i rommet ikke er fornøyd med luftskiftet som skjer ved hjelp av ventilasjonsanlegget. Dette kan knyttes opp mot for lave luftmengder i ventilasjonsanlegget enn det som er nødvendig. I følge spørreundersøkelsene om opplevd luftkvalitet svarer 87 % at de ofte opplever dårlig luft i "normalklasserommet". Tilsvarende spørsmål for "problemklasserommet" er andelen 68 %. Dette kan ha en sammenheng med at varm luft kan oppleves eller forveksles med dårlig luft. Temperaturen for "problemklasserommet" ligger i snitt noe lavere enn for "normalklasserommet". Forskjellen kan dessuten knyttes til forskjellig personbelastning i klasserommene. Innregulering av lufteanlegget kan også være ujevnt ved at "problemklasserommet" får mer luft enn "normalklasserommet".

Den relative fuktigheten i "problemklasserommet" ble også målt ved to anledninger. Resultatene i figurene 5.5 og 5.6 viser at det er forskjell i fuktighet ved de to måleperiodene. Variasjonen i RH den 22.03.13 var mellom 6 % til 17 %, med en outlier på 23 %. Målingene som ble gjennomført 08.03.13 varierer mellom 15 % til 23 %. Utetemperaturen var høyere ved den første målingen som ble utført, noe som kan ha innvirkning på resultatet. Relativ fuktighet ligger under 40 % som er anbefalt for vinterhalvåret, men spørsmålet er om den ligger for lavt. Når det er moderat til lav temperatur og lav relativ fuktighet vil mennesker føle seg kaldere enn hvis det hadde vært

en høyere fuktighet med samme temperatur. Spørreundersøkelsene peker i den retningen at de fleste opplever at temperaturen i klasserommet er for lav. I perioder ligger temperaturen i "problemklasserommet" innenfor godkjente rammer for temperaturnivå, det kan tyde på at den lave fuktigheten som er målt påvirker den termiske komforten til elevene.

Med utgangspunkt i de inneklimatemålingene som er gjennomført er det mulig å analysere hvordan de tekniske anleggene på skolen fungerer, og hvordan det kan ha innvirkning på energiforbruket. Som allerede beskrevet ble det målt en temperaturdifferanse mellom de to test-klasserommene. Basert på den informasjonen som er gitt av driftslederne, samsvarer det med hvordan de selv opplever de ulike delene av skolen. Som de har sagt brukes det varmeste rommet som dimensjonerende ved temperaturjusteringer av fjernvarmekursen i SD-anlegget. Det fører til at noen områder får opprettholdt en normaltemperatur og andre områder blir for kalde. "Problemklasserommet" og områder de opplever som vanskelig å holde temperaturen i, ligger på enden av vannsløyfen. Vannavkjølingen ΔT som er registrert ved SD-anlegget ligger på 16 °C for hovedstokk. Generelt kan en lav vannavkjøling være et uttrykk for at vannet passerer varmeavgiveren uten å avgi tilfredsstillende varme til rommet. Lav vannavkjøling omtales som ΔT under 20 °C, og her er ΔT på 16°C for hele anlegget. Det hadde vært ønskelig å målt vannavkjølingen for hvert induksjonsapparat for å få et svar på om det er forskjell mellom vannavkjølingen for de to test-klasserommene. Trolig er ΔT over induksjonsapparatene i "normalklasserommene" høyere enn for "problemområdene". Basert på oppnådd temperatur i klasserommet kan det tyde på at effekten til induksjonsapparatene i "problemklasserommet" ikke er like bra som for "normalklasserommet". Gjengroing av rør er et typisk eksempel på noe som kan redusere effekten til induksjonsapparatene. Det er bekreftet av driftslederne at det ikke er gjennomført skylling av rørsystemet siden det ble installert, noe som underbygger denne teorien. Det ble også i forbindelser med lekkasjer på røranlegget gjort endringer på vannsløyfen, noe som medførte at induksjonsapparatene i problemområdene ble tilføyd på enden av en annen vannsløyfe. Dette er noe som kan knyttes opp mot forskjellen mellom beregnet og målt energiforbruk. Erfaring fra tidligere studier på forskjellen mellom simulert og målt energiforbruk knytter noe av avviket til feil i de tekniske anleggene som ikke blir fanget opp i simuleringene.

De resultatene som hittil er diskutert, er simuleringer med samme settpunkttemperatur og effekt til oppvarming for alle soner.

Det er forsøkt å simulere noen scenario i SIMIEN som skal tilsvare den situasjonen som er på skolen i de ulike områdene. Opprinnelig styres skolen ut fra en settpunkttemperatur på 21 °C. I case 4a hvor settpunkttemperaturen for problemområdene justeres ned til 20 °C i drift og 18 °C utenfor drift, får vi en liten reduksjon i energiforbruket tilknyttet fjernvarmen. Hvis case 4a sammenlignes med case 3c med målte ventilasjonsinndata tilsvarer det en reduksjon på 6029 kWh.

Simulering av case 4b tar hensyn til en settpunkttemperatur for problemområdene på 19 °C og 17 °C i og utenfor drift. Når ventilasjonsanlegget slås helt av på kvelden, fører det til en naturlig nattsenking. Induksjonsapparatene som blir brukt til oppvarming er koblet opp mot ventilasjonsanlegget. Når ventilasjonsanlegget slås av vil oppvarmingen foregå ved egenkonveksjon. Det kan i perioder være aktuelt at settpunkttemperaturen utenfor drift vil være noe lavere enn 19 °C. Det ble simulert i case 4b et scenario med 18 °C som settpunkttemperatur utenfor drift for hele bygget. Sammenlignet med case 3c, er det simulert en reduksjon i fjernvarmeforbruket på 31302 kWh. Ved dette scenarioet ligger fjernvarmeforbruket 18,3 % høyere sammenlignet med snittforbruket. Resultatet fra simuleringen av case 4c, hvor effekten til oppvarming ble redusert for problemsonene, viser et resultat hvor fjernvarmeforbruket er uendret. I case 4d hvor soner uten direkte oppvarming ble fjernet ligger fjernvarmeforbruket 5,5 % høyere og elforbruket 4,6 % høyere enn snittforbruket de siste fem årene. Eksperimenteringen med temperaturer og effekt i SIMIEN viser derfor at det er mulig å komme seg ned på et tilsvarende nivå som målt gjennomsnittlig energiforbruk. Det kan imidlertid stilles spørsmålsteget ved denne fremgangsmåten i SIMIEN.

Driftslederne beskriver variasjoner mellom hvert klasserom, og de beskriver hvordan de går inn i hvert klasserom og justerer temperaturen manuelt. En slik finjustering er vanskelig å fange opp i et program som SIMIEN. Skulle en slik justering vært mulig, måtte inndeling av soner vært detaljert ytterligere. Dette er også et moment som kan knyttes opp mot forskjellen mellom beregnet og målt energiforbruk.

Andre forhold som er knyttet til innetemperatur og ikke minst varmetapstallet for bygningen (som det kommer frem av formel 10 i teorien) er de ytre klimapåkjenningene. Som beskrevet i teorien er det ifølge STBA en mangelfull forståelse av værdataens betydning i simuleringssammenheng. Ifølge temperaturloggingen er variasjonen i utetemperatur avgjørende for temperaturen inne i klasserommene. Dette ble belyst ved forskjellen i temperaturloggingen mellom måletidspunktene 22.03.13 og 08.03.13. Rygge ble benyttet som klimasted for simuleringene, av den grunn at Sarpsborg ikke lå inne som

klimatestet. Det er knyttet usikkerhet til hvorvidt de klimadata som er benyttet er realistiske for Sarpsborg. Ifølge figur 4.4 hvor vi ser middeltemperaturen for de to stedene for 2012, skal det ikke være alt for store variasjoner i utetemperatur.

6.5 HOVEDFUNN

- Økt detaljering i den nye simuleringsmodellen reduserer noe av avviket.
- Økt informasjon om skolen gir grunnlag til en mer spesifikk simuleringsmodell. Noe av informasjonen som har kommet frem var ikke kjent ved ENØK-simulering.
- Beregnet personbelastning ligger i snitt 4,1 % lavere enn det som er gitt som veiledende i NS 3031. Beregnet belysning ligger 1,9 % lavere og effekt til teknisk utstyr ligger 46 % høyere enn veiledende verdi gitt i NS 3031.
- Veiledende bruksmønster er ikke dekkende for alle sonene i bygget.
- Simulering med reelle internlaster, tappevann og bruksmønster gir en reduksjon på 14,6 % i fjernvarmeforbruket, sammenlignet med case1b basert på NS 3031.
- Økte interne varmetilskudd og et bruksmønster som er mer detaljert kan sees i sammenheng med et redusert fjernvarmeforbruk.
- Forbruket av varmt tappevann antas å spille en betydelig rolle i forhold til levert fjernvarme.
- Det ble målt lavere luftmengder enn tidligere antatt for ventilasjonsanlegg 36.02. Etter simulering ligger fjernvarmeforbruket 25,6 % over snittforbruket.
- Det ble målt en temperaturredifferanse på 4 °C mellom de to testklasserommene. Noe som svarte til driftsledernes forventninger.
- 48 % av elevene i problemklasserommet og 33 % av elevene i normalklasserommet svarer at de opplever en stor variasjon i temperaturen i klasserommet.
- Begge test-klasserommene overskrider myndighetenes øvre akseptable grense for CO₂-konsentrasjon.
- Det er lav vannavkjøling på fjernvarmeanlegget med en ΔT på 16 °C for hovedstokk.
- Når settpunkttemperaturen i problemområdene ble endret til 20 °C og 18 °C i og utenfor drift, ble det en liten reduksjon i fjernvarmeforbruket. Sammenlignet med case 3c en reduksjon på 1,1 %.
- Fjernvarmeforbruket ligger 18,3 % høyere enn snittforbruket når alle soner ble simulert med en settpunkttemperatur til 18 °C utenfor drift og problemsonene til 19 °C i drift og 17 °C utenfor drift.
- Når effekt til oppvarming ble fjernet i soner uten direkte oppvarming ble fjernevarmeforbruket 5,5 % høyere og elforbruket 4,6 % høyere enn snittforbruket.
- Det er vanskelig å simulere de manuelle justeringene driftslederne gjør i forbindelse med temperaturregulering i klasserommene.

7.0 KONKLUSJON

I denne oppgaven er det sett på mulige årsaker til forskjellen mellom beregnet og målt energiforbruk for St Olav videregående skole. Det er fokusert på noen hovedtema; internlaster og bruksmønster, ventilasjonsspesifikk inndata og inneklime.

Simuleringsmodellen som blir brukt i denne oppgaven viser seg å ha et mindre avvik enn modellen som har vært brukt i tidligere simuleringer. Trolig skyldes dette en økt detaljeringsgrad som følger av flere soneinndelinger. Noe av avviket ble derfor eliminert allerede før analysene av hovedtema ble satt i gang.

Det viser seg at simuleringen i Case 2 med reelle internlaster, tappevann og bruksmønster fører til et redusert avvik tilsvarende 14,6 % sammenlignet med Case 1 hvor inndata ble basert på NS 3031. Fjernvarmeforbruket i Case 2 er 45,8 % høyere enn snittforbruket for de fem siste årene. Det er forbruk til tappevann og reelt bruksmønster som antas å ha størst betydning for det reduserte avviket. Veiledende verdier for personbelastning og belysning er tilnærmet likt det som beskrives i NS 3031. Teknisk utstyr ligger 46 % høyere enn verdiene i NS 3031. Veiledende verdier i NS 3031 kan ut i fra beregninger som er gjort i denne oppgaven derfor ikke regnes som konservative.

Det ble målt lavere luftmengder i ventilasjonsanlegget 36.02 enn det som har blitt forutsatt i tidligere simuleringer. Fjernvarmeforbruket i Case 3 ligger 25,6 % høyere enn snittforbruket etter denne endringen. Virkningen som følger av lavere luftmengder er derfor ikke ubetydelig for avviket, men forklarer ikke hele avviket.

Ved inneklime målingene ble det målt en temperaturredifferanse mellom to testklasserom på 4 °C. Eksperimenteringen med settpunkttemperatur i Case 4a viser en reduksjon i fjernvarmeforbruket på 1,1 % når det kun blir endret temperatur i problemsonene H02 og H06. I case 4b ligger fjernvarmeforbruket 18,3 % høyere enn snittforbruket. Dette er når alle soner ble simulert med en settpunkttemperatur på 18 °C utenfor drift, og problemsonene til 19 °C og 17 °C i og utenfor drift. I Case 4d ble effekt til oppvarming fjernet i soner uten direkte oppvarming, og fjernvarmeforbruket ble 5,5 % høyere og elforbruket 4,6 % høyere enn snittforbruket. Eksperimenteringen med temperaturer og effekt i SIMIEN viser derfor at det er mulig å komme seg ned på et tilsvarende nivå som målt gjennomsnittlig energiforbruk. Det kan imidlertid knyttes usikkerhet til denne fremgangsmåten i SIMIEN, og derfor om dette kan ses på som en avgjørende faktor for avviket.

FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Med mer tid tilgjengelig ville det vært interessant å tatt tak i mer av måleresultatene som er gjort av Tinymesh. Samtidig ville det vært aktuelt å gjennomført en mer omfattende inneklimateundersøkelse på skolen.

Det er flere momenter som kan studeres mer inngående med bakgrunn i undersøkelser som er satt i gang ved skolen i de siste månedene. Det er for det første bestemt at det skal settes opp målere på fjernvarmeanlegget. På denne måten er det mulig å skille mellom pådraget for hver vannsløyfe. Resultatene fra denne målingen ville vært interessant å sett på med hensyn til oppvarming i de ulike delene av skolen.

Videre foregår det også en lufttetthetsmåling ved skolen. De indikasjonene som er gitt noen dager før innlevering tyder på at lufttettheten til bygget er bedre enn hva veiledende verdier anslår. En videre analyse med hensyn til dette ville vært interessant. Samtidig ville det vært spennende å simulert samme inndata med ulike simuleringsverktøy for å se om det ligger store forskjeller på grunn av simuleringsverktøyet som brukes.

Som Dokka skriver i "prosjektrapport 76" er det ønskelig å lage en database som sammenstiller flere prosjekter med forskjell i beregnet og målt energiforbruk. Denne oppgaven er et ledd i en slik database. Det ville vært interessant å gjennomført flere analyser på skoler som er tilsvarende som St. Olav for å se om det er mulig å finne noen sammenhenger som kan knyttes opp til avvikene som oppstår. Resultatene fra disse sammenligningene kan til slutt bidra til at databasen blir utviklet.

8.0 KILDER

- Aas, K. (2013a). www.inneklima.com Hentet 28.03.13 fra <http://www.inneklima.com/index.asp?context=&document=299>
- Aas, K. (2013b). www.inneklima.com Hentet 02.05.13 fra <http://www.inneklima.com/index.asp?key=%D8rebrorosen>
- Arbeidstilsynet. (2012) *Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. Oslo: Gyldendal Akademisk. 44 s. Kan sees på: <http://www.arbeidstilsynet.no/binfil/download2.php?tid=79437>
- Aurlien, T. (2012) *Måling av bygningers luftlekkasje. Trykkmetoden*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 720.035. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.
- Blom, P. (1999a). *Krav til luftmengder i ventilasjonsanlegg*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 421.503. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 6 s.
- Blom, P. (1999b). *Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 421.501. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.
- Blom, P. (2001). *Inneklimaproblemer i yrkesbygg*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 700.105. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 7 s.
- Dalaker, M. (1994). *Innemiljø i eksisterende bygninger. Problemer og utbedring*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 700.100. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.
- Dokka, T. H., Svensson, A., Wigenstad, T., Andresen, I., Simonsen, I. & Berg, T. F. (2011). *Energibruk i bygninger. Nasjonal database og sammenligning av beregnet og målt energibruk. Prosjektrapport 76*. Oslo: SINTEF Byggforsk. 120 s.
- Dyrstad, T. (1991). *Energisparende tiltak i boliger*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 701.266. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.
- Edwardsen, K.I & Ramstad, T. (2007) *Trehus Håndbok 53*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 333 s.
- Emilsen, J. W. (2007). *Styring og regulering av tekniske anlegg i bygninger*. Oslo: Skarland Press. 276 s.
- Enova. (2004). *Enova håndbok 2004:3 Energioppfølging i næringsbygg – en innføring*. Trondheim, Enova SF. 33 s.
- E.ON. (2012). www.eon.dk. Hentet 12.03.13 fra <http://www.eon.dk/upload/dokument/eon-dk/dk-privat/afkoelingsbrochure.pdf>
- Espedal, K. J. (2010) *Bygningsfysikk*. Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS. 222 s.
- Fredriksen, S & Werner, S. (2012). *Fjärrvärme – Teori, teknik och funktion*. Malmö, Studentlitteratur. 440 s.
- Gemini Data Loggers. (2013). www.gemindataloggers.com Hentet 12.03.13 fra <http://www.gemindataloggers.com/data-loggers/tinytag-plus-2>
- Gundersen, P. (1991). *Fjernvarme i boligområder*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 515.505. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 13 s.

Gundersen, P. (1995). *Varmtvannssentraler og varmeanlegg*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 552.109. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 6 s.

Gundersen, P (1996). *Drift og vedlikehold av varmtvannssentraler, distribusjonsnett og varmeanlegg*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 752.207. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.

Gustavsen, A., Thue, J. V., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S. & Uvsløkk, S. (2008) *Kuldebroer- Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*. Prosjektrapport 25. Oslo: SINTEF Byggforsk. 93s.

Hveem, S. (2010) *Grenseverdier for innendørs og utendørs lydnivå*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 421.421. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.

Johansson, P. & Svensson, A. (2007). *Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallasjoner*. SINTEF Anvisning 16- 7. Fellesnordisk målemetode for luftmengder i ventilasjon. Formas. 76 s.

Karlsson, N. (1998). *Beregninger av U-verdier etter NS-EN ISO 6946*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 471.008. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.

Killingland, M. (2009). *Energimerking og fjernvarme*. Hentet 20.02.13 fra <http://www.fjernvarme.no/uploads/fvd-energimerking-og-fjernvarme-killingland.pdf>

Langseth, B., Everett, E. N., Havskjold, M. (2011). *Energibruk i lavenergi- og passivbygg- En sammenligning av forventet og målt energibruk*. Sandvika, Xrgia. & Energi Norge. 25 s.

Lovdata. (2013) www.lovdata.no Hentet 23.03.13 fra <http://www.lovdata.no/all/tl-19980717-061-011.html>

May, N. & Rye, C. (2012). *Responsible Retrofit og Traditional Buildings. Report on existing research and guidance with reccomendations*. London: Sustainable Traditional Building Alliance (STBA). 133 s.

Meteorologisk institutt. (2013). Klimadatabase. Hentet 30.04.13 fra www.eklima.met.no

Myhre, L & Dokka, T. H. (2004) *Energieffektive løsninger småhus. Redusert oppvarmingsbehov og bedre inneklima*. Anvisning 40. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 76 s.

Mysen, M. (2000). *Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 552.335. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.

Mysen, M. (2005). *Inneklima og ventilasjon i skoler*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 552.311. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.

Nilsen, R. M. (2013) Informasjon via e-mail fra Tinymesh (15.03.13)

Norges astma- og allergiforbund (2013). www.naaf.no Hentet 23.03.13 fra <http://www.naaf.no/no/inneklima/Kriterier-for-godt-inneklima-i-skoler-og-barnehager/>

Novakovic, V., Hanssen, S. O., Thue, J. V., Wangensteen, I. & Gjerstad, F. O. (2007). *ENØK i bygninger: effektiv energibruk*. 3.utg. Oslo: Universitetsforlaget AS. 476 s.

Polak, K. (1998). *Praktisk anvendelse av SFP. Ventøk 7.4 – VVS-bransjens håndbok i ventilasjon*. Oslo: Skarland Press AS. 6 s.

Precision Technic Nordic. (2013). Bilde av sensor. Hentet 12.03.13 fra http://www.ptnordic.no/MSR145+Temperatur+og+fukt+-+IP67.b7zFA-xfZ0B-hTN9OCT-tRJ6lVBt6705hRDIZ_ips?template=products_no

Programbyggerne. (2013a) www.programbyggerne.no Hentet 10.02.13 fra <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/validering>

Programbyggerne. (2013b). www.programbyggerne.no Hentet 10.02.13 fra <http://www.programbyggerne.no>

Programbyggerne. (2013c). www.programbyggerne.no Hentet 10.02.13 fra http://www.programbyggerne.no/downloads/Brukerv_eib.pdf

Rasmussen, R. & Hanssen, A. (1993). *Ventilasjons- og kuldteknikk*. Yrkesopplæring ans. 133 s.

Ribu, T.M. (2012). *ENØK-rapport for St Olav videregående skole Sarpsborg*. Oslo: COWI. 33 s.

Røstad, H. (1972). *Ventilasjon – En kort innføring i ventilasjonsteknikk*. Oslo: Universal-Trykk. 160 s.

Sandbakken, M. (2002). *Viftestøy og energibruk til vifter*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 552.308 Del 1. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 12 s.

Schild, S & Hestad, T. (2002). *Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 552.340 Del 1. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 12 s.

SINTEF. (2010). www.sintef.no Hentet 12.03.13 fra <http://www.sintef.no/Byggforsk/Laboratorier/Kalibrering-av-ventilasjonstekniske-instrumenter/Generelt-om-kalibrering-av-ventilasjonstekniske-instrumenter/>

Standard Norge. (2007). *NS 3031:2007 Beregninger av bygningers energiytelse, Metode og data*. Oslo: Standard Norge

Stensaas, L. (1973). *Ventilasjonsteknikk 1- Grunnlaget og systemer*. Trondheim: Universitets forlaget. 339 s.

Stensaas, L. (1976). *Ventilasjonsteknikk 2 – komponenter, industriventilasjon og innregulering m.m.* Trondheim: Universitetsforlaget. 315 s.

St Olav VGS. (2013). Bilde av skolen. Hentet 30.04.13 fra <http://stolav.vgs.no/ikbViewer/page/ofk/pages/forsiden>

Store Norske Leksikon. (2013) Inneklima. Hentet 28.05.13 fra http://snl.no/sml_artikkel/inneklima

Soma, M. H. (2013) www.somamiljokonsult.no Hentet 25.04.13 fra <http://www.somamiljokonsult.no/Varmeplaner.htm#Graddager>

Søgnen, O. G. (2002). *Modellbyggprosjektet. Måling av formålsdelt energibruk i 26 bygninger*. Trondheim: Enova. 44 s.

Thagaard, T. (2003) *Systematikk og innlevelse- en innføring i kvalitativ metode*. Oslo: Fagbokforlaget. 224 s.

Thunhelle, K & Hellstrand V. (2006). *Balansert ventilasjon i småhus*. Byggforskserien: byggdetaljer, Blad 552.303. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt. 8 s.

VVS Forum. (2013). www.vvsforum.no Hentet 23.04.13 fra <http://www.vvsforum.no/artikkel/6585/sparer-10-20-prosent-paa-god-innregulering.html>

Wall, M. (2006). *Energy-efficient terrace house in Sweden. Simulation and measurements*. Energy and Buildings 38. doi: 10.1016/j.enbuild.2005.10.005

Wigenstad, T. (2009). *Prosjektveileder. Forenklet anlegg for vannbåren oppvarming av boliger. Prosjektrapport nr. 39*. Oslo: SINTEF Byggforsk. 37 s.

9.0 VEDLEGG

A. Beregninger av internlastene belysning og teknisk utstyr.

Beregningen er basert på manuell optelling av teknisk utstyr og belysning.

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	U01	U02
Beregning av belysning												
lysrør pr stk	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
antall	0	48	0	110	33	18	110	90	0	0	70	90
areal	2012	427,2	500	1086,3	413,2	236,7	848,6	530,7	475,6	336	383,6	1053,8
varmetilskudd	0	8,09	0	7,29	5,75	5,48	9,33	12,21	0	0	13,14	6,15
effekt armatur klasserom	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
antall klasserom	26	6	0	0	0	2	0	0	9	5	0	0
areal	2012	500	427,2	1086,3	413,2	236,7	848,6	530,7	475,6	336	383,6	1053,8
varmetilskudd	9,69	9,00	0,00	0,00	0,00	6,34	0,00	0,00	14,19	11,16	0,00	0,00
Totalt varmetilskudd	9,69	9,00	8,09	7,29	5,75	11,81	9,33	12,21	14,19	11,16	13,14	6,15

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	U02
Beregning av teknisk utstyr											
PC	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	W
Antall	690	151		10	10	10	10	10	30	96	stk
Total effekt	34500	7550		500	500	500	500	500	1500	4800	W
Areal	2012	500		1086,3	413,2	413,2	413,2	848,6	530,7	475,6	m ²
Varmetilskudd	17,15	15,10		0,46	1,21	1,21	1,21	0,59	2,83	10,09	W/m ²
Projektor	200	200		200	200	200	200	200	200	200	W
Antall	23	6		4	4	4	4	3	3	2	stk
Total effekt	4600	1200		800	800	800	800	600	600	400	W
Areal	2012	500		413,2	413,2	413,2	413,2	530,7	475,6	336	m ²
Varmetilskudd	2,29	2,40		1,94	1,94	1,94	1,13	0,84	2,38	2,38	W/m ²
Stasjonær pc			230				230				230 W
Antall			21				6				3 stk
Total effekt			4830				1380				690 W
Areal			427,2				236,7				530,7 m ²
Varmetilskudd			11,31				5,83				0,65 W/m ²
Kopimaskin ventemodus			400							400	400 W
Antall			2							2	2 stk
Total effekt			800							800	800 W
Areal			427,2							336	1053,8 m ²
Varmetilskudd			1,87							2,38	0,76 W/m ²
Kaffetrakter			400				400				300 W
Antall			2				1			2	2 stk
Total effekt			800				400			600	600 W
Areal			427,2				236,7			336	1053,8 m ²
Varmetilskudd			1,87				1,69			1,79	0,57 W/m ²
Kjøleskap			200				200				200 W
Antall			1				1				1 stk
Total effekt			200				200				200 W
Areal			236,7				236,7				1053,8 m ²
Varmetilskudd			0,84				0,84				0,19 W/m ²
Enkel printer										50	W
Antall										4	4 stk
Total effekt										200	200 W
Areal										336	336 m ²
Varmetilskudd										0,60	0,60 W/m ²
Totalt varmetilskudd	19,43	17,50	15,05	0,46	3,15	3,15	8,37	0,59	7,42	10,93	2,17 W/m²