

Vurdering av energibruk og inneklima i verneverdige skolebygninger som renoveres

Kari Dahle Haukland

Master i energi og miljø

Oppgaven levert: Juni 2010

Hovedveileder: Sten Olaf Hanssen, EPT

Biveileder(e): Rasmus Høseggen, EPT
Ole Døsvik, Rambøll Norge AS

Oppgavetekst

Dette prosjektet vil omhandle den eksisterende delen av skolen. Bygningen skal modelleres i SIMIEN eller et tilsvarende energiberegningsprogram. Fire forskjellige tilstander skal simuleres:

1. Som bygget i 1928
2. Tiltak som skal utføres av Rambøll
3. Utbedringer som ønskes utført av Rambøll, dersom det ikke hadde vært begrensninger gitt av byantikvaren
4. Som bygget etter dagens krav, som skal fungere som en referanseverdi for energibruk i bygningen

Oppgaven skal bearbeides ut fra følgende punkter

I hver case skal følgende punkter besvares:

1. Bygningens beregnede netto og levert energibehov
2. Inneklima i bygningen, med tanke på luftmengder, temperatur og CO₂-nivå
3. Økonomiske betraktninger ved nødvendig investering og driftskostnader

Det skal utføres en sammenligning mellom de fire casene og se på de økonomiske konsekvensene av å verne bygninger, løsninger for å kunne sikre et godt inneklima og byggets energiytelse.

Hvis tiden tillater skal det avslutningsvis også utføres en detaljert analyse av klasserom hvor tilført luftmengde skal vurderes ut i fra relevant litteratur. Målet er å kunne finne ut om det kan være forsvarlig å redusere luftmengdene i klasserom på Ny Krohnborg skole for å spare energi. En sentral problemstilling er da om man eventuelt kan redusere luftmengdene om vinteren?

Oppgaven gitt: 18. januar 2010

Hovedveileder: Sten Olaf Hanssen, EPT

Norges teknisk-
naturvitenskapelige universitet
NTNU

Institutt for energi- og prosesseteknikk



EPT-M-2010-24

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Kari Dahle Haukland

Våren 2010

Vurdering av energibruk og inneklimate i verneverdige skolebygninger som renoveres

Assessment of energy use and indoor climate in a Grade II listed school building after renovation

Bakgrunn

Ny Krohnborg skole sto ferdig i 1928 og ligger på Kronstad utenfor Bergen sentrum. Skolen skal renoveres og bygges ut med tilhørende idrettshall og kulturhus. Store deler av den eksisterende skolen er verneverdig. Verneverdige bygninger kan gi begrensninger i mulighetene for utbedring med tanke på lavere energibruk og bedre inneklimate.

Mål

Dette prosjektet vil omhandle den eksisterende delen av skolen. Bygningen skal modelleres i SIMIEN eller et tilsvarende energiberegningsprogram. Fire forskjellige tilstander skal simuleres:

1. Som bygget i 1928
2. Tiltak som skal utføres av Rambøll
3. Utbedringer som ønskes utført av Rambøll, dersom det ikke hadde vært begrensninger gitt av byantikvaren
4. Som bygget etter dagens krav, som skal fungere som en referanseverdi for energibruk i bygningen

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

I hvert case skal følgende punkter besvares:

1. Bygningens beregnede netto og levert energibehov
2. Innklimate i bygningen, med tanke på luftmengder, temperatur- og CO₂ nivå
3. Økonomiske betraktninger ved nødvendig investering og driftskostnader

Det skal utføres en sammenligning mellom de fire casene og se på de økonomiske konsekvensene av å verne bygninger, løsninger for å kunne sikre et godt inneklimate og byggets energiytelse.

Hvis tiden tillater det skal det avslutningsvis også utføres en detaljert analyse av klasserom hvor tilført luftmengde skal vurderes ut i fra relevant litteratur. Målet er å kunne finne ut om det kan være forsvarlig å redusere luftmengdene i klasserom på Ny Krohnborg skole for å spare energi. En sentral problemstilling er da om man eventuelt kan redusere luftmengdene om vinteren?

” _ ”

side 1 av 2

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velkrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesseteknikk.

I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maksimalt én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

Til Instituttet innleveres to -2 komplette kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til eventuelle medveiledere/oppnavigivere skal avtales med, og eventuelt leveres direkte til de respektive. Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.

NTNU, Institutt for energi- og prosesseteknikk, 25. januar 2010



Olav Bolland
Instituttleder



Sten Olaf Hanssen
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e)
Sivilingeniør Ole Døsvik, Rambøll Norge As, Avdeling Bergen,
Førstemanuensis II, PhD Rasmus Høseggen, Institutt for energi- og prosesseteknikk,
NTNU/Evotek AS, Oslo.

side 2 av 2

FORORD

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2010, som avslutning på en 5-årig mastergrad. Oppgaven er gjennomført av Kari Dahle Haukland, student ved institutt for energi- og prosessteknikk, Norges teknisk- og naturvitenskapelige universitet, og utarbeidet i samarbeid med Rambøll Norge AS. Masteroppgaven omhandler "*Vurdering av energibruk og inneklima i verneverdige skolebygninger som renoveres*".

Takker tidligere hovedveileder professor Sten Olaf Hanssen ved institutt for energi- og prosessteknikk for utarbeidelsen av oppgaven, og veiledning i startfasen av arbeidet. Grunnet langvarig sykdom overtok professor Hans Martin Mathisen ved institutt for energi- og prosessteknikk posisjonen som hovedveileder. Takk går til Mathisen for samtaler og veiledning omkring emnet. Jeg vil også takke medveileder førsteamanuensis Rasmus Høseggen og professor Per Olav Tjeldflaat for å ha vært tilgjengelig for spørsmål hele semesteret.

Takk gis til veileder, Ole Døsvik i Rambøll Norge AS, avdeling Bergen, for diskusjoner rundt tema i oppgaven.

Takker også medstudenter og familien min i Trondheim for mange gode samtaler, innspill og støtte gjennom semesteret.

Trondheim, 14.06.2010



Sted og dato

Kari Dahle Haukland

SAMMENDRAG

Ny Krohnborg skole er vurdert som verneverdig av byantikvaren i Bergen. Skolen har i de siste årene hatt behov for rehabilitering. Rehabilitering av verneverdige bygninger gir spesielle krav til hvilke tiltak som kan utføres. Målet med rehabiliteringen er å redusere bygningen energibehov og bedre inneklimaet, uten at det skal gå på bekostning av skolens kulturhistoriske verdi.

Dagens tilstand for skolen presenteres og det blir sett på utfordringer og muligheter ved rehabilitering av eldre skolebygninger, med spesielt fokus på Ny Krohnborg skole.

Energiberegningene og vurdering av inneklima utføres i energiberegningsprogrammet SIMIEN. Fordelt på 4 case er det 13 scenario som simuleres. Hvert scenario blir simulert for flere ulike lekkasjetall, da det virkelige lekkasjetallet til bygningen er ukjent. Flere nødvendige verdier for simuleringene er ukjent, og disse blir bestemt ut i fra nasjonale kilder og undertegnedes vurdering.

De resulterende verdiene fra simuleringene vil være påvirket av bygningens lekkasjetall før og etter tiltaket. Virkningen av enkelttiltakene vil også variere i forhold til bygningens opprinnelige tetthet. Det anbefales å trykkteste bygningen før og etter utførelse av tiltakene, samt termofotografere bygningskroppen for å lokalisere lekkasjepunktene.

I masteroppgaven er det, i tillegg til å se på virkningen av tiltakene, sett på sammenhengen mellom netto oppvarmingsbehov og bygningens varmetapstall, for ulike lekkasjetall. Det er en lineær sammenheng mellom netto oppvarmingsbehov og bygningens varmetapstall. Stigningstallet til de lineære grafene øker med tettheten til bygningskroppen. Dette vil si at tiltakenes virkning øker desto tettere bygningen er. For en tett til en meget utett bygning doubles oppvarmingsbehovet for en middels god bygningskropp, mens det kun øker med 4 % for en bygning med dårlige U-verdier.

Å montere varevindu antas å gi en liten reduksjon av lekkasjetallet, og reduserer dermed oppvarmingsbehovet med omkring 11 %. Dersom varevinduene bedres fra 2,2 til 1,5 W/m²K gir det minimal virkning på netto oppvarmingsbehov.

Etterisolering av loftet reduserer netto oppvarmingsbehov med 20-25 % betinget at lekkasjetallet reduseres betraktelig ved at loftet isoleres og samtidig tettes.

Det er også blitt sett på virkning av å etterisolere enkelte fasader ved skolen, til tross for at dette går på bekostning av byantikvarens krav. Dette tiltaket gir stor reduksjon i oppvarmingsbehovet. Det oppfordres til å diskutere muligheten for total rehabilitering av enkelte fasader som er mindre synlige for allmennheten, hvis dette reduserer energibehovet betraktelig.

Inneklimate i skolen bedres med mekanisk balansert ventilasjon. CO₂-nivået i rommen er tilfredsstillende med de angitte luftmengdene. Ved vinterforhold er operativ temperatur tilfredsstillende, mens for sommerforhold er temperaturen høy. Den høye temperaturen kan reduseres ved bruk av utvendig solskjerming for å hindre at varmen transmitteres inn.

Ved utilstrekkelig og unøyaktig bakgrunnsmateriale vil ikke en økonomisk lønnsomhetsanalyse være pålitelig. Dette kan forårsake økonomiske feilvurderinger og mulighet for å velge feil løsninger og tiltak på bygningen.

Fokuset på å redusere bygningers energibehov må ikke ha som mål å kun redusere behovet til et minimum, men samtidig ta i betraktning at energiens rolle er å tjene brukerne og prosessene i bygningen på en tilfredsstillende måte, og oppnå et tilfredsstillende inneklimate. Samtidig skal Norges kulturarv ivaretas, og dette innebærer at bygninger blir vernet og betegnet som verneverdige. Kravene om lavere energibehov og bevaring av eldre bygninger må møtes for å finne løsninger alle partene kan godta. Verneverdige bygninger med begrensninger til hvilke tiltak som kan utføres vil ikke kunne tilfredsstillende ønsket om svært lave energibehov. Men mange mindre omfattende tiltak vil sammen utgjøre en stor reduksjon i bygningsmassens energibehov.

ABSTRACT

Ny Krohnborg elementary and junior high school is considered a Grade II listed school building, by the municipality in Bergen. For years the school has been in need of a rehabilitation to upgrade the indoor climate and reduce the need of energy. Rehabilitation of Grade II listed buildings demands special consideration concerning the choice of action to meet the goal of reducing the buildings energy demand and to satisfy the indoor climate. The chosen action is not to be contradicted with the cultural and historical value if the building.

The condition of the school and the challenges and possibilities concerning rehabilitation of historical school buildings are presented, with special focus on Ny Krohnborg.

The buildings need of energy and the resulting indoor climate is simulated with SIMIEN. There are 4 cases with a total of 13 scenarios. The scenarios are simulated with several different leakage factors, since the actual leakage factor is unknown. Some of the necessary factors for doing the simulations are unknown, and in these cases the factors are determined based on national reliable sources and the writer's assessments.

The results from the simulations will be influenced by the buildings leakage factor before and after the choices of action are implemented. The effect of single actions will also be influenced by the initial state of the building. It is advised to do a compression test of the building frame before and after the chosen actions are implemented, supplemented with thermo photography to locate the leakage areas.

This master's thesis also looks at the coherency between the net energy demand for climatization and the buildings heat loss factor, for different leakage factors. The net energy demand for climatization and the heat loss factor had a linear coherency and the slope of the curve increases with a decreasing leakage factor. This indicates that the effects of the chosen actions are more significant for smaller leakage factors. The current study found that for a building with a leakage factor of $1,5 \text{ h}^{-1}$ the net demand for climatization doubles, however, for a leakage number of 15 h^{-1} the resulting increase is only 4 %.

New inner windows will give only an insignificant decrease in the leakage number, and decreases the net energy demand for climatization with 11 %. Changing the heat transfer coefficient for an inner window from 2.2 to $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ gives an insignificant reduction of the net energy demand.

The results of this study indicate that the effect of insulating the attic will decrease the net energy demand for climatization with 20-25 %, provided that the leakage factor will be reduced significantly.

Even though the following action contradicts the requests made by the municipality in Bergen, the potential of insulating certain faces of the building is simulated. The results show a significant reduction of the net energy demand. It is therefore encouraged for the municipality to take into consideration the effect of insulating faces of the building that is less apparent to the public, if this action results in a major reduction of the buildings demand for energy.

The indoor climate will improve by implementing mechanical balanced ventilation. The level of CO₂ will be satisfactory with the suggested air supply. At winter conditions the operative temperature is satisfactory however, for summer conditions the temperature level is too high. The high temperature might be decreased by installing outdoor sun shade that will hinder the thermal radiation from the sun to transmit through the window.

The economical profitability analysis will not be reliable because of insufficient and inaccurate background material. An insufficient analysis could lead to incorrect evaluations and potentially choosing the wrong actions and unprofitable investments.

Today's focus to reduce the building's energy demand must not be aimed only to reduce to a minimum, but also take into account that the energy's role is to serve the users and processes in the building in a satisfactory manner, and to achieve a satisfactory indoor climate. At the same time the cultural heritage in Norway must be safeguarded, and this means that the buildings must be protected and designated as protected. The requirements to reduce the energy demand for the building sector, and conservation of older buildings should meet to find solutions all parties can accept. Listed buildings with restrictions concerning what actions can be performed will not be able to satisfy the desire for very low energy demands. But many less comprehensive actions may together constitute a major reduction in the building sector's energy demand.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	INNLEDNING.....	1
1.1	BAKGRUNN.....	1
1.2	MÅL.....	1
1.3	BEGRENSNINGER.....	2
1.4	OPPGAVENS OPPBYGGING.....	3
2	BEVARING AV ELDRE BYGNINGER.....	4
2.1	BYGNINGERS VERDI.....	4
2.2	VERNET.....	4
2.3	REGULERING AV OMRÅDER.....	5
2.4	VERNEVERDIG.....	5
2.5	BEVARE DEN ELDRE BYGNINGSMASSEN ELLER RIVE OG BYGGE NYTT.....	5
2.5.1	<i>Hvorfor rehabilitere eldre bygninger.....</i>	<i>5</i>
2.5.2	<i>Økonomiske og miljømessige betraktninger.....</i>	<i>6</i>
3	ENERGIBEHOVET TIL KLIMATISERING OG INNEKLIMA I ELDRE SKOLEBYGNINGER.....	8
3.1	BYGNINGERS VARMETAP.....	8
3.2	ENERGIBEHOVET.....	10
3.3	INNEKLIMA.....	11
3.3.1	<i>Lover og retningslinjer for inneklima.....</i>	<i>12</i>
3.3.2	<i>Det termiske miljøet.....</i>	<i>14</i>
3.3.3	<i>Det atmosfæriske miljøet.....</i>	<i>17</i>
4	PRESENTASJON AV NY KROHNBORG SKOLE.....	22
4.1	HISTORIE.....	22
4.2	UTFORMING.....	23
4.2.1	<i>Fasaden.....</i>	<i>24</i>
4.2.2	<i>Fundament, dekke og gulv.....</i>	<i>25</i>
4.2.3	<i>Takkonstruksjonen og loftet.....</i>	<i>26</i>

4.2.4	<i>Kjeller</i>	27
4.2.5	<i>Vinduer og dører</i>	27
4.3	KLIMATEKNISKE INSTALLASJONER	28
4.3.1	<i>Ventilasjonsløsning</i>	28
4.3.2	<i>Oppvarming</i>	28
4.4	ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING	28
4.5	INNEKLIMA.....	29
4.6	BYANTIKVARENS VURDERING AV SKOLEN.....	29
4.6.1	<i>Generelt</i>	29
4.6.2	<i>Ny rominndeling</i>	29
4.6.3	<i>Klimatekniske installasjoner</i>	29
5	REHABILITERING AV SKOLEN – UTFORDRINGER OG	
	MULIGHETER	31
5.1	BAKGRUNN OG MÅL FOR RENOVASJON.....	31
5.2	FASADEN	31
5.2.1	<i>Hulmur</i>	31
5.2.2	<i>Naturstein</i>	32
5.2.3	<i>Fundament, dekke og gulv</i>	32
5.3	TAKKONSTRUKSJONEN OG LOFTET.....	32
5.4	KJELLER.....	33
5.5	VINDUER OG DØRER.....	34
5.5.1	<i>Verneverdige vinduer med innvendige varevindu</i>	34
5.5.2	<i>Utskiftede vinduer fra 1989 – klar for ny utskifting</i>	35
5.5.3	<i>Dører</i>	35
5.6	ENERGIBEHOV, KLIMATEKNISKE INSTALLASJONER OG INNEKLIMA	35
5.6.1	<i>Energibehovet</i>	35
5.6.2	<i>Kuldebroens betydning</i>	36
5.6.3	<i>Lekkasjetallet og muligheter for å tette bygningskroppen</i>	38
5.6.4	<i>Ventilasjon og innvirkningen av ulike lekkasjetall</i>	42
5.6.5	<i>Oppvarming</i>	43
5.6.6	<i>Solskjerming</i>	44

5.6.7	<i>Bedre utnyttelse av bygningskroppen</i>	44
5.7	INNEKLIMA.....	44
5.8	SAMLET VURDERING.....	45
5.9	ØKONOMISK BETRAKTNING.....	45
6	METODE OG VERKTØY FOR VURDERING AV ENERGIBEHOV OG INNEKLIMA FOR SKOLEN	46
6.1	INNHENTING AV DATA.....	46
6.2	ENERGIBEREGNING ETTER METODE GITT AV NS 3031	47
6.3	ENERGIBEREGNING AV EKSISTERENDE BYGNINGER.....	47
6.4	BEREGNINGSVERKTØY.....	47
6.4.1	<i>Egnethet til simulering av eksisterende bygninger</i>	47
6.4.2	<i>Bygningskroppen - Grunnmodell</i>	48
6.4.3	<i>Bygningskroppen - Soneinndeling</i>	49
6.4.4	<i>Bygningskroppen - Sentrale inputdata for case 1,2 og 3</i>	49
7	SIMULERING AV CASE 1 – OPPRINNELIG BYGNING FRA 1924	50
7.1	SENTRALE VERDIER TIL SIMULERINGEN.....	50
7.1.1	<i>Lekkasjetallet</i>	50
7.1.2	<i>U-verdier</i>	50
7.1.3	<i>Solskjerming</i>	51
7.1.4	<i>Ventilasjon</i>	51
7.1.5	<i>Temperaturforhold</i>	52
7.1.6	<i>Den eldre bygningskroppen med dagens krav til ventilasjon og temperaturforhold</i>	52
7.2	RESULTATER.....	52
7.2.1	<i>Energibehovet - Lekkasjetallets innvirkning</i>	53
7.2.2	<i>Energibehovet - Dagens krav til ventilasjon og temperaturforhold</i>	54
7.2.3	<i>Energibehovet - Beregnet levert energi</i>	56
7.2.4	<i>Inneklima - Minimums- og maksimumstemperatur i driftstiden.</i>	56

7.2.5	<i>Inneklima - CO₂-nivå og forventet prosentandel misfornøyde i forhold til dagens krav til komfort.....</i>	56
8	SIMULERING AV CASE 2 – TILTAK SOM SKAL UTFØRES AV RAMBØLL.....	58
8.1	SENTRALE VERDIER TIL SIMULERINGEN.....	58
8.1.1	<i>Tetting av bygningen.....</i>	58
8.1.2	<i>U-verdi – Vinduer.....</i>	58
8.1.3	<i>Solskjerming.....</i>	59
8.1.4	<i>U-verdi - Etterisolering av loftet.....</i>	59
8.1.5	<i>Ventilasjon.....</i>	60
8.2	RESULTATER.....	60
8.2.1	<i>Energibehovet – Ulike varevindu.....</i>	61
8.2.2	<i>Energibehovet - Etterisolerer loftet.....</i>	62
8.2.3	<i>Energibehovet – Lekkasjetallets innvirkning.....</i>	64
8.2.4	<i>Energibehovet – Beregnet levert energi.....</i>	67
8.2.5	<i>Inneklima - Minimums- og maksimumstemperatur i driftstiden.</i>	67
8.2.6	<i>Inneklima - CO₂-nivå og forventet prosentandel misfornøyde i forhold til dagens krav ventilasjon og temperaturforhold.....</i>	68
9	SIMULERING AV CASE 3 – MULIGHETSSTUDIE.....	70
9.1	SENTRALE VERDIER TIL SIMULERINGEN.....	70
9.1.1	<i>U-verdier – utbedret u-verdi på yttervegger mot nord- og sørvest 70</i>	
9.1.2	<i>U-verdi Vinduer.....</i>	70
9.1.3	<i>Sammenhengen mellom bygningens varmetapstall, netto energibehov og lekkasjetallet.....</i>	71
9.1.4	<i>Ventilasjonsanlegget.....</i>	71
9.2	RESULTATER.....	71
9.2.1	<i>Energibehovet – Virkningen av å etterisolere fasadene mot sørvest og nordvest.....</i>	72

9.2.2	<i>Energibehovet - Virkningen av superisolerte vinduer</i>	73
9.2.3	<i>Energibehovet - Sammenhengen mellom lekkasjetallet, bygningens varmetapstall og netto energibehov</i>	74
9.2.4	<i>Energibehovet – Beregnet levert energi</i>	76
9.2.5	<i>Inneklima – Minimums- og maksimumstemperaturer i driftstiden</i>	76
9.2.6	<i>Inneklima – CO₂-nivået og forventet prosentandel misfornøyde</i> 76	
10	SIMULERING AV CASE 4 – BYGGET ETTER TILTAKSMETODEN I TEK07	78
10.1	SENTRALE VERDIER TIL SIMULERINGEN	78
10.1.1	<i>Energiltaksmetoden</i>	78
10.2	RESULTATER	79
10.2.1	<i>Energibehovet – Netto energibehov</i>	79
10.2.2	<i>Energibehovet – Beregnet levert energibehov</i>	80
10.2.3	<i>Inneklima – Minimums- og maksimumstemperaturer i driftstiden</i>	80
11	DISKUSJON	83
11.1	DISKUSJON VEDRØRENDE CASE 1	85
11.2	DISKUSJON VEDRØRENDE CASE 2	86
11.3	DISKUSJON VEDRØRENDE CASE 3	88
11.4	DISKUSJON VEDRØRENDE CASE 4	89
11.5	SAMLET DISKUSJON - ENERGIBEHOVET	90
11.5.1	<i>Energibehovet - Lekkasjetallet</i>	90
11.5.2	<i>Energibehovet – Prosentvis fordeling av varmetapet</i>	90
11.6	SAMLET DISKUSJON – INNEKLIMA	91
11.7	TILTAKENES GJENNOMFØRBARHET – PRAKTISK OG ØKONOMISK	92
12	KONKLUSJON	96
13	FORSLAG TIL VIDEREFØRING AV MASTEROPPGAVEN	98

14	BIBLIOGRAFI	99
15	VEDLEGG	I

TABELLISTE

TABELL 3.1: VARMETAPSTALLET - INNVIRKENDE FAKTORER	9
TABELL 3.2: LOVER OG RETNINGSLINJER FOR INNEKLIMA I SKOLEBYGNINGER	13
TABELL 3.3: BESKRIVELSE AV ANVENDELSESMULIGHETER FOR KATEGORIER FOR KLASSIFISERING AV INNEKLIMA	14
TABELL 3.4: FAKTORER SOM PÅVIRKER DET TERMISKE MILJØET OG OPPLEVELSEN AV TERMISK KOMFORT	15
TABELL 3.5: FAKTORER SOM PÅVIRKER DET ATMOSFÆRISKE MILJØET OG OPPLEVELSEN AV LUFTKVALITET	18
TABELL 3.6: ANBEFALTE LUFTMENGDER FOR MENNESKELIGE UTSLIPP	20
TABELL 3.7: ANBEFALTE LUFTMENGDER FOR BYGNINGSUTSLIPP.....	20
TABELL 5.1: FORDELER OG ULEMPER MED UISOLERTE OG ETTERISOLERTE LOFT.....	33
TABELL 5.2: SOLFAKTOR FOR ULIKE TYPER SOLSKJERMING.....	44
TABELL 6.1: SENTRALE INPUTVERDIER SOM ER LIK FOR CASE 1,2 OG 3.....	49
TABELL 7.1: SKOLEBYGNINGENS MULIGE LEKKASJETALL.....	50
TABELL 7.2: U-VERDIER FRA 1924	51
TABELL 7.3: CASE 1 - SENTRALE INPUTDATA FOR VENTILASJONEN.....	52
TABELL 7.4: CASE 1 - MINIMUM OG MAKSIMUM OPERATIVE TEMPERATURER I DRIFTSTIDEN.....	56
TABELL 8.1: CASE 2-LEKKASJETALL	58
TABELL 8.2: CASE 2 - U-VERDIER FOR VINDUER.....	59
TABELL 8.3: NØDVENDIG MAKSIMAL EFFEKT FOR VARMEANLEGGET.....	68
TABELL 10.1: ENERGILTILTAKSMETODEN I TEK07	78
TABELL 11.1: OVERSIKT OVER DE 13 SIMULERTE SCENARIOENE.....	84
TABELL 11.2: PRAKTISK OG ØKONOMISK GJENNOMFØRBARHET.....	92

FIGURLISTE

FIGUR 3.1: FORKLARING AV ENERGIBEGREPENE, UTARBEIDET FRA	11
FIGUR 4.1: PLASSERING PÅ KARTET	22
FIGUR 4.2: NY KROHNBORG SKOLE, MOT ØST	23
FIGUR 4.3: NY KROHNBORG SKOLE MOT SØRVEST, MØREGATEN.....	23
FIGUR 4.4: YTTERVEGGEN TIL NY KROHNBORG SKOLE.....	24
FIGUR 4.5: ENGELSK HULMUR FORBUNDET MED BINDERE AV STEIN (ØVERST) OG STÅLBINDERE (NEDERST).....	25
FIGUR 4.6: POHLMANS ETASJESKILLERE.....	26
FIGUR 4.7: KORRIDOR MED TEGLVEGGER OG SKIFERGULV	26
FIGUR 4.8: OPPRINNELIGE VINDUER (T.V) OG UTSKIFTEDE TAKARKER MED VINDU (T.H.).....	27
FIGUR 5.1: 3 GLASS VINDU, MED OPPRINNELIG 1-GLASS YTTERST, OG 2-LAGSGLASS I VARERAMME INNERST	35
FIGUR 5.2: VARMEKONDUKTIVITET OG NØDVENDIG TYKKELSE PÅ ULIKE MATERIALER, FOR AT DE SKAL ISOLERE LIKE GODT.....	37
FIGUR 5.3: TRYKKTESTMETODEN	39
FIGUR 5.4: VANLIGE LEKKASJEPUNKT PÅ BYGNINGSKROPPEN.....	41
FIGUR 5.5: INFILTRASJON OG EKSFILTRASJON I STORE ROM	41
FIGUR 5.6: FORSTYRRELSER FOR BALANSERT VENTILASJON.....	43
FIGUR 6.1: SONEINDELING ETTER SOLTILSKUDD.....	49
FIGUR 7.1: CASE 1- NETTO OPPVARMINGSBEHOV FOR ULIKE LEKKASJETALL.....	53
FIGUR 7.2: CASE 1 - VARMETAPSTALLET FOR ULIKE LEKKASJETALL.....	54
FIGUR 7.3: CASE 1 - NETTO ENERGIBEHOV FOR ULIKE LEKKASJETALL MED DAGENS KRAV TIL VENTILASJON OG TEMPERATURFORHOLD	54
FIGUR 7.4: CASE 1 - SAMMENLIGNING MELLOM VARMETAPSTALLET.....	55
FIGUR 7.5: FORVENTET PROSENTANDEL MISFORNØYDE, VED 9 h^{-1}	57
FIGUR 8.1: CASE 2 – VIRKNINGEN AV VAREVINDUER OG SAMMENLIGNING MELLOM TO TYPER VAREVINDU	61
FIGUR 8.2: CASE 2 - EFFEKTEN AV Å ETTERISOLERE LOFTET PÅ NETTO ENERGIBEHOV	62

FIGUR 8.3: CASE 2 - EFFEKTEEN PÅ AV Å ETTERISOLERE LOFTET FOR BYGNINGENS VARMETAPSTALL.....	63
FIGUR 8.4: CASE 2 - LEKKASJETALLETS INNVIRKNING PÅ ENERGIBEHOVET	64
FIGUR 8.5: CASE 2 - VARMETAPSTALLET - TILTAKENES BETYDNING VED ULIKE LEKKASJETALL	65
FIGUR 8.6: SAMMENLIGNING AV VARMETAP FOR CASE 1 OG CASE 2 MED LEKKASJETALL PÅ HENHOLDSVIS 9 h^{-1} OG $5,5 \text{ h}^{-1}$	66
FIGUR 8.7: CASE 2 – MINIMUM OPERATIVE TEMPERATUR FOR ULIKE LEKKASJETALL	68
FIGUR 8.8: PPD I FORHOLD TIL INNTEMPERATUREN OG CO ₂ -NIVÅET I LUFTEN	69
FIGUR 9.1: CASE 3 - EFFEKTEEN AV Å ETTERISOLERE FASADENE MOT SØRVEST OG NORDVEST FOR NETTO ENERGIBEHOV.....	72
FIGUR 9.2: VIRKNINGEN AV SUPERISOLERTE VINDUER FOR NETTO ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING	73
FIGUR 9.3: SAMMENHENGEN MELLOM LEKKASJETALLET, BYGNINGENS VARMETAPSTALL OG NETTO ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING FOR LEKKASJETALLET $5,5 \text{ h}^{-1}$	74
FIGUR 9.4: TILTAKENES VIRKNING	75
FIGUR 9.5: FORVENTET PROSENTANDEL MISFORNØYDE MED CO ₂ - NIVÅET OG TEMPERATURFORHOLDENE.....	77
FIGUR 10.1: CASE 4 - PROSENTVIS FORDELINGEN AV VARMETAPENE	79
FIGUR 10.2: RESULTERENDE ENERGIMERKE FOR CASE 4	80
FIGUR 10.3: CASE 4 – VARMETILSKUDD FOR VINTERFORHOLD	81
FIGUR 10.4: CASE 4 - VARMETILSKUDD FOR SOMMERFORHOLD.....	82

NOMENKLATUR

Antikvarisk verdi:

Er et synonym for aldersverdi, og er de verdier bygningen tillegges fordi den er gammel.

Byantikvar og riksantikvar:

Kommunal tjenestemann med ansvar å ivareta byens antikvariske interesse. Denne personen fungerer som kommunens rådgiver ved spørsmål om antikvarisk verdifulle bygninger, anlegg og miljø (Store norske leksikon, 2010)

Riksantikvaren har i oppdrag å verne bygninger i hele landet for å vise mangfoldet innen kulturminner som representerer ulike etniske og sosiale grupper, tidsepoker, næringsveier og offentlig virksomhet (Oppland fylkeskommune, 2008).

Kulturminne:

Alle spor etter menneskelig virksomhet i vårt fysiske miljø, herunder lokaliteter det knytter seg historiske hendelser, tro og tradisjon til.

Rehabilitere:

Istandsettelse av en bygning for dagens formål og bruksmønster, samt å rette opp forsømt vedlikehold. Hensikten er å bevare mest mulig av den antikvariske verdien og arkitektoniske kvalitet, samt å gjenvinne tapte kvaliteter den bygningen opprinnelig hadde.

Renovere:

Fornye og forbedre en bygning

Energimerkeordningen

Nærmest alle bygninger i Norge, med unntak angitt i energimerkeforskriften, skal etter 1. juli 2010 ha en energiattest som angir bygningens behov for levert energi. Målet med energimerkeordningen er å øke bevisstheten rundt energibruk og redusere bygningsmassens energibehov.

Bygningskropp:

Bygningens ytterskall, som består av med yttervegger, gulv, tak, vinduene, dører og lignende

Bruksareal (BRA):

Nettoarealet og arealet av bruksenhetens indre vegger, inkludert innerveggene

Ventilasjonseffektivitet:

Angir hvor effektiv ventilasjonsløsningen fjerner forurensningene i romluften. Som referanseverdi er ventilasjonseffektiviteten 100 % for ideell omrøringsventilasjon, men kan bli både høyere og lavere for andre ventilasjonsprinsipp og løsninger.

Omrøringsventilasjon:

Tilluften tilføres med høy hastighetsimpuls utenfor oppholdssonen som medfører omrøring med romluften. Ved omrøringsventilasjon regnes forurensningene og temperaturen å være homogent fordelt i hele rommet. Omrøringsventilasjon kan ved behov utnyttes til kjøling ved å tilføre mer luft og senke tilluftstemperaturen.

Fortrengningsventilasjon:

Tilluften tilføres rommet med undertemperatur og liten impuls. Den undertempererte luften vil fortrenge den varmere romluften og forurensningene vil stige oppover, og trekkes av øverst i vegg eller i himling. Fortrengningsventilasjon gir økt ventilasjonseffektivitet uten bruk av mer energi, sammenlignet med omrøringsventilasjon.

Skorsteinseffekten:

En oppadgående luftstrømning i bygningen som skyldes temperaturredifferansen ute og inne.

Transmisjon:

I denne sammenheng kan det forklares som overføring og ledning av varme gjennom bygningskroppen og materialer

Infiltrasjon:

Utsiktede luftlekkasjer gjennom bygningskroppen utenfra og innover gjennom bygningskroppen og åpninger.

Eksfiltrasjon:

Utsiktede luftlekkasjer innenfra og utover gjennom bygningskroppen og åpninger.

Lekkasjetall:

Angir bygningens lufttetthet i antall luftvekslinger per time, som benevnes i h^{-1} , ved 50 Pa overtrykk innendørs. I følge krav i TEK 07 skal nye skolebygninger med over 2 etasjer ha maksimalt 1,5 h^{-1} .

1 INNLEDNING

Mange skolebygninger i Norge har et omfattende behov for rehabilitering for å kunne oppnå et tilfredsstillende inneklima og lavere energibehov. Flere av disse skolene er verneverdige, og dette medfører at spesielle hensyn må tas og dette gir begrensninger til hvilke tiltak som kan iverksettes på bygningskroppen og de klimatekniske installasjonene. Masteroppgaven skal belyses muligheter og utfordringer ved rehabilitering av en spesifikk verneverdig skolebygning. Denne oppgaven vurderes å være svært aktuell i dag, da den eldre eksisterende bygningsmassens energibehov er stort og det er ønskelig å redusere dette av både økonomiske og miljømessige årsaker.

1.1 BAKGRUNN

Ny Krohnborg skole i Bergen sto ferdig i 1924. Skolen har i mange år hatt stort behov for rehabilitering. Byrådet i Bergen har ambisjoner om at utbyggingsområdet skolen er en del av skal bruke fremtidsrettede miljø- og energiløsninger. I den antikvariske dokumentasjonen for bygningen er den klassifisert som et objekt med høy antikvarisk verneverdi og dette gir begrensninger til hvilke energieffektiviseringstiltak som kan utføres på skolen.

1.2 MÅL

Prosjektet skal omhandle den eksisterende delen av skolen. Bygningen skal modelleres i SIMIEN. Fire forskjellige tilstander skal simuleres:

1. Som bygget i 1924
2. Tiltaket som skal utføres av Rambøll
3. Mulighetsstudie som skal se på sammenhengen mellom bygningens tetthet, U-verdier og netto energibehov til oppvarming
4. Som bygget etter dagens krav, gitt i tiltaksmetoden i TEK07. Casen skal fungere som en referanseverdi for energibruk i bygningen

Det skal for hver av casene blir sett på

- beregnet netto og levert energibehov
- inneklima i bygningen, med tanke på luftmengder, temperatur- og CO₂-nivå
- økonomiske betraktning ved nødvendig investering og driftskostnader

De ulike casene skal sammenlignes og de økonomiske konsekvensene av å verne bygninger skal vurderes, samt løsninger for å kunne sikre et godt inneklima og bygget energiytelse.

1.3 BEGRENSNINGER

Den opprinnelige oppgaveteksten forteller at simuleringene som skal utføres i Case 3 skal se på: *"Ubedringer som ønskes utført av Rambøll, dersom det ikke hadde vært begrensninger gitt av byantikvaren"*, men i avtale med hovedveileder Hans Martin Mathisen blir oppgaveteksten omgjort til *"Mulighetsstudie som skal se på sammenhengen mellom bygningens tetthet, U-verdier og netto energibehov til oppvarming"*. Dette er gjort for at Case 3 ikke skal bli altfor lik Case 4, hvor det også blir sett bort i fra byantikvarens begrensninger.

Energiberegningen for den eldre skoledelen omfatter ikke den tilhørende barnehagen og svømmehallen. Barnehagen tilhører en annen bygningskategori, og gjennomgikk en stor rehabilitering på 1970-tallet. Svømmehallen skiller seg ut fra resten av skolen i både bruksmønster og energibehov. For at dette rommet ikke skal gi utslag for resten av den homogene bygningen, ekskluderes den fra energiberegningen.

På grunn av mangel på tilgjengelig informasjon, samtidig som innhenting av informasjonen tok lenger tid enn forutsett, har det ikke vært mulig å finne detaljert informasjon om alle delene av bygningen. Det blir derfor i noen deler av oppgaven benyttet verdier som er funnet i nasjonale kilder og bestemt etter undertegnede vurdering. Det antas at disse stemmer med virkeligheten.

Masteroppgaven ser hovedsakelig på tetting av bygningen, samt muligheter for å bedre U-verdiene. Det er altså flere tiltak som kunne vært aktuelle for å redusere oppvarmingsbehovet til eldre bygninger, men de er ikke medtatt i denne masteroppgaven.

Beregnet levert energi er en usikker verdi i resultatene da systemvirkningsgradene og fordelingen mellom grunnlast og spisslast ikke er kjent. Denne verdien er angitt for de ulike simuleringene, men med forbehold om at de ikke er helt korrekt.

Det blir kun sett på netto oppvarmingsbehov, og ikke det totale energibehovet med alle energipostene. Dette gjøres da tiltakene som skal utføres vil ha størst innvirkning på oppvarmingsbehovet, og målsetningen er å gi en oversikt over tiltakenes virkning på varmetapstallet og netto oppvarmingsbehov. Dermed er belysningen og internlasten konstante i alle simuleringene, bortsett fra Case 1. Ved å holde de interne lastene

konstante gir det bedre mulighet for å sammenligne andre tiltak opp mot hverandre.

Da det er usikkerhet i forhold til varmeanleggets systemvirkningsgrad, grunnlast og spisslast vil den økonomiske betraktningen av driftkostnadene til bygningen bli usikre. På grunn av usikkerhet omkring detaljene og dermed kostnadene, samt tidsbegrensning er ikke detaljerte investeringskostnader for de ulike tiltakene funnet. De økonomiske betraktningene blir derfor overfladiske.

Tiden tillot ikke å se nærmere på ventilasjonsbehovet til skolebygninger, og gi en oversikt over faktorer som skal tas hensyn til ved dimensjonering av ventilasjonssystemet.

1.4 OPPGAVENS OPPBYGGING

I første del av masteroppgaven vil relevant teori bli gjennomgått. Kapittel 2 ser på teori og betraktninger med tanke på bevaring av eldre bygninger. Kapittel 3 omhandler energibehov og inneklima i eldre skolebygninger.

I kapittel 4 blir Ny Krohnborg skole presentert. Kapittelet skal gi informasjon som videre blir benyttet i kapittel 5, som ser på utfordringer og muligheter ved rehabilitering av skolen.

Kapittel 6 presenterer metode og verktøy som blir benyttet til å simulere energibehov og inneklima for skolen.

I kapittel 7, 8, 9 og 10 blir de fire casene presentert, samt resultater fra simuleringene.

Kapittel 11 skal diskutere de mest relevante resultatene som ble funnet ved simulering av de ulike casene. I kapittelet skal resultatene ses opp mot hverandre, for å kunne trekke slutninger og sammenhenger mellom ulike faktorer som påvirker energibehovet og inneklima i skolen.

Til slutt gir kapittel 12 en konklusjon over de viktigste funnene i masteroppgaven.

Kapittel 13 gir forslag til videreføring av masteroppgaven.

2 BEVARING AV ELDRE BYGNINGER

Bygningsvernets mål og hensikt er å bevare bygninger for å ivareta Norges kulturarv og identitet (Lovdata, 2010). Det er hovedsakelig to lovverk som regulerer graderingen av bevaring av den eksisterende bygningsmassen, *Kulturminneloven* og *Plan- og bygningsloven*, og disse lovene vil bli presentert i dette kapittelet.

2.1 BYGNINGERS VERDI

I verdivurderingen av bygninger er det mer enn de økonomiske betraktningene som er bestemmende for byggets verdistatus. Når en bygning skal vurderes som et fredningsobjekt eller få betegnelsen som verneverdig må spørsmålet om hvorfor bygningen skal bevares og hvilke verdier bygningen har besvares. Bygningers verdi kan måles i ulike former (Byggforsk, 1989):

- økonomisk verdi
- aldersverdi
- anekdoteverdi
- bruksverdi
- kulturhistorisk verdi
- estetisk verdi
- identitets- og symbolverdi
- forekomstverdi
- miljøverdi
- pedagogisk verdi

2.2 VERNET

Er bygningen vernet, også kalt fredet, omfatter dette å bevare både eksteriør og interiør. Dette er den strengeste form for vern av bygninger i Norge (Grytli, 2002). Vernede bygninger er ifølge energimerkeforskriften, § 9, unntatt plikten å ha energiattest for bygget (Lovdata, 2009).

Kulturminneloven har som formål å verne kulturminner og kulturmiljø, med dens egenart og variasjon, som er den del av Norges kulturarv og identitet. Kulturminneloven forvaltes av Riksantikvaren, mens forvaltningsansvaret for bygningene blir delegert til fylkeskommunens kulturminneavdeling. Alle bygninger bygget tidligere enn 1650 er automatisk vernet. De automatisk vernede bygningene blir også kalt *forminner*, og har da nasjonal verneverdi. Riksantikvaren kan vedta om bygninger som sto ferdig etter 1650 skal vernes, og dette skjer etter omfattende høringsrunder med berørte parter. Bygninger som står i fare for å rives eller bli ødelagt på noen måte, kan vernes midlertidig for å gi de forskjellige interessentene tid til å forhandle. Dette gir også anledning for vernemyndighetene å vurdere om bygningen skal vernes eller ikke.

(Oppland fylkeskommune, 2008). I Norge er omkring 5700 bygninger vernet i henhold til Kulturminneloven (Riksantikvaren, 2010).

2.3 REGULERING AV OMRÅDER

Enkeltbygninger kan være del av et større regulert område. Hensikten med regulering av områder er å bevare det helhetlige inntrykk av et bebygget område. Bygninger i et regulert område kan ikke rives, og det kan ikke utføres endringer av bygningens eksteriør. Interiøret kan derimot endres etter eget ønske. Regulering av områder skjer etter Plan- og bygningsloven. Loven omfatter planlegging av alt fra det teknisk orienterte til detaljert reguleringsplanlegging (Lovdata, 2010).

2.4 VERNEVERDIG

Bygninger kan være verneverdige uavhengig av om de ikke faller innenfor kriteriene til kulturminneloven eller er en del av et regulert område. Kulturfaglig instans i fylket, kommunen eller riksantikvaren kan bestemme om en bygning skal betegnes som verneverdig. Ved inngrep i verneverdige bygninger skal kulturminneforvaltningen varsles og gis anledning til å uttale seg om planene. I verneverdige bygninger kan det bestemmes at enkelte deler av bygningen ivaretas slik den er, slik at det ikke kan gjøres inngripen på disse elementene. Bygninger av kulturhistorisk verdi er ifølge energimerkeforskriften, § 9, unntatt plikter til å ha energiattest, dette gjelder da verneverdige bygninger (NVE, 2009).

2.5 BEVARE DEN ELDRE BYGNINGSMASSEN ELLER RIVE OG BYGGE NYTT

Bygningers verdi kan ikke vurderes kun i et økonomisk perspektiv, men må vektlegges ut i fra ulike typer verdier. Likevel er det interessant å undersøke de økonomiske konsekvensene av å verne og utnevne bygninger som verneverdig. Det vil her bli presentert årsaker til at den eldre bygningsmassen bør *rehabiliteres*. Det vil også bli vurdert om det kunne vært hensiktsmessig å rive for så å bygge nytt, istedenfor å bevare de eldre bygningene som må rehabiliteres for å møte dagens formål.

2.5.1 HVORFOR REHABILITERE ELDRE BYGNINGER

For eldre bygninger som er vernet eller verneverdige er endring i bruken av bygget en kritisk faktor som kan medføre at bygningens kvalitet reduseres. Dette kan blant annet være i form av bruksendringer hvor:

- bygningens funksjon endres, som kan påvirke byggets indre arkitektur, romfordeling og tilpasning, samt bruksmønster og driftstid
- større personbelastning som kan gi mer slitasje og dannelse av konsens og fukt innendørs dersom ytterflatene til bygget er kalde, på grunn av for eksempel lite isolasjon i veggene eller vinduer med høy u-verdi.
- større interne varmelaster som medfører høyere temperaturer og gir et dårligere inneklima

Det er derfor i mange tilfeller behov for at bygningene moderniseres til å imøtekomme dagens formål med bygget.

For en vernet bygning, hvor både eksteriøret og interiør ikke kan forandres, vil denne tilpasningen bli svært utfordrende. I verneverdige bygninger hvor kun bestemte elementer ikke kan forandres, er det fortsatt utfordrende, men mulig å utføre tilpasninger som kan imøtekomme dagens krav til bygningen, uten at det vil gå på bekostningen med bygningens autenticitets- og integritetsverdi.

Rehabilitering av den eldre bygningsmassen vil kunne:

- istandsette bygning til dagens formål
- bedre arealutnyttelse og mer tilpassede bygninger til den funksjon de skal ha
- bedre inneklimaet i bygningen
- gi besparelse i driftskostnadene
- heve standarden på bygningen ved å reparere skader og forfall

2.5.2 ØKONOMISKE OG MILJØMESSIGE BETRAKTNINGER

En rapport utarbeidet av Trondheim kommune har sett på de økonomiske konsekvensene av å enten utføre en total rehabilitering av en eldre skolebygning, kontra å rive og bygge nytt. Analysen ser på bygningen i et livsløpsperspektiv, med utgangspunkt i den stand bygningen var da rapporten ble skrevet. Konklusjonen fra rapporten er at investeringskostnadene ved å velge å rehabilitere blir lavest, mens driftskostnadene, samt vedlikeholdskostnadene i bygningens levetid, blir høyere. (Trondheim kommune, 2004) Rapporten tar ikke i betraktning de miljømessige aspektene.

Avfall fra bygg- og anleggsbransjen utgjør en av de største avfallsstrømmene i Norge (Husbanken, 2007). Ved å beholde eldre bygninger istedenfor å rive og bygge nytt kan spredningen av

forurensninger, avfallsmengder og energibruk til disse formålene reduseres kraftig. Derimot vil den eldre bygningen trolig har høyere energibehov enn en tilsvarende ny bygning.

Verneverdige bygninger har ulike grad av restriksjoner i forhold til hvilke inngrep som kan utføres på *bygningsskroppen*, og innendørs. Dette vil påvirke størrelsen på investeringskostnadene, og de kan reduseres enda mer enn i rapporten utført av Trondheim kommune, som tok utgangspunkt i en total rehabilitering av skolebygningen. Driftskostnadene vil derimot bli høyere, da energibesparende tiltak ikke kan utføres på grunn av restriksjonene. Det bør i hvert enkelt tilfelle hvor det vurderes å rehabilitere eller rive utføres en livsløpsanalyse av bygningen for å undersøke hvilke økonomiske og miljømessige konsekvenser valgene som tas vil utgjøre.

3 ENERGIBEHOVET TIL KLIMATISERING OG INNEKLIMA I ELDRE SKOLEBYGNINGER

Energibehovet og inneklima i eldre skolebygninger er ofte henholdsvis høyere og dårligere enn i nyere, moderne skoler. Dette kapittelet skal gi en oversikt over enkelte av faktorene som har innvirkning på energibehovet til klimatisering og inneklimaet, med fokus på faktorene som gjelder spesielt for eldre skolebygninger.

3.1 BYGNINGERS VARMETAP

Bygningens varmetap skal dekkes av oppvarmingskildene, samt interne og passive varmetilskudd. Varmetapstallet til bygningen forteller hvor energieffektiv bygninger er, uten å angi det faktiske energibehovet. Varmetapstallet er avhengig av (Thue & Novakovic, 2007) følgende faktorer vist i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Varmetapstallet - innvirkende faktorer

Tapspost	Spesielt for eldre bygninger
<i>Transmisjon som følge av bygningskroppens materialer, U-verdier og utforming</i>	Dagens krav til U-verdier er blitt strengere enn tidligere, og varmetapet via transmisjon er redusert. Derfor eksisterer det svært mange bygninger med større varmetap via transmisjon, enn hva nye bygninger vil ha. For å tilfredsstille dagens krav må nye bygninger isoleres, mens det tidligere var vanlig med ingen, eller lite, isolasjon i veggene.
<i>Infiltrasjon og luftlekkasjer som følge av byggets utførelse og tetthet</i>	Dagens bygninger er tettere enn tidligere og derfor vil eldre bygninger ha et lekkasjetall som vil være høyere enn nye bygninger. Infiltrasjonen i bygninger henger tett sammen med bygningens lekkasjetall.
<i>Ventilasjon som følge av ventilasjonskrav, gjenvinning og styring</i>	Eldre bygninger uten mekanisk ventilasjon kan ha tilstrekkelig god luftkvalitet som følge av utettheter i bygningen, samt hyppig vinduslufting. men dette er svært avhengig av temperatur- og vindforholdene utendørs. Temperaturdifferansen utendørs og inne driver frisk luft gjennom bygningen på grunn av termiske drivkrefter kalt <i>skorsteinseffekten</i> . Det vil kreve mye energi å varme luften for å unngå ubehagelige temperaturforhold innendørs, i forhold til dagens systemer med gjenvinning av varmen i avtrekksluften.
<i>Varmetap via avløpsvannet som følge av varmtvannsforbruket</i>	Varmetapet via avløpsvannet er avhengig av varmtvannsforbruket til brukerne og prosesser.

3.2 ENERGIBEHOVET

Det må skilles mellom energibegrepene som benyttes i omtalen av bygningers energibehov.

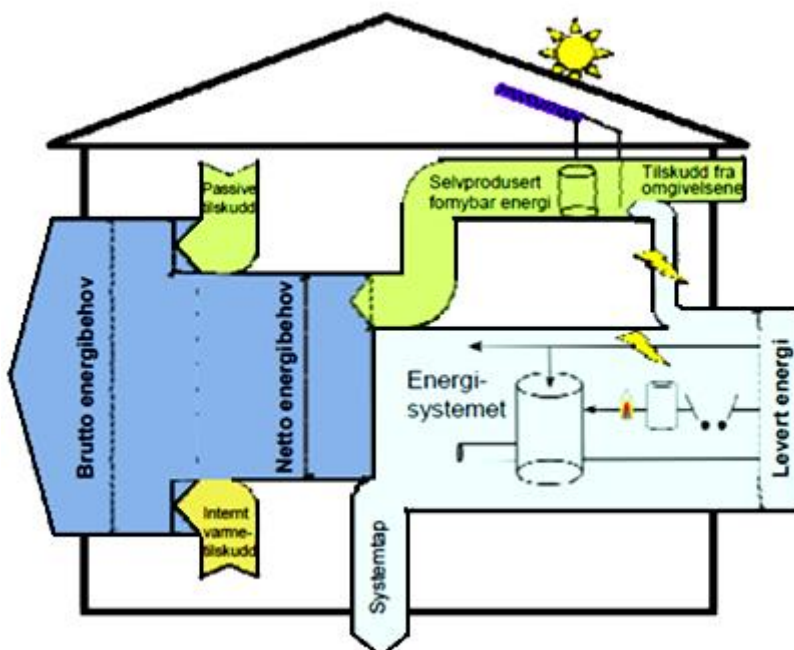
Brutto energibehov er den energimengden bygningen trenger for å dekke behovet til brukerne og prosessene i bygget. Dette behovet inkluderer tilskudd fra passive tilskudd, solinnstråling og termiske drivkrefter, samt interne laster, som varmeavgivelse fra personer og teknisk utstyr.

Netto energibehov angir energibehovet som skal dekkes av de tekniske installasjonene, og blir således den verdien installasjonene dimensjoneres for å dekke. Denne verdien tar ikke hensyn til systemvirkningsgradene. Verdien er ikke målbar og fremkommer kun ved beregninger av bygningens netto energibehov.

Levert energi (kjøpt energi) er den energimengden som må tilføres bygningen for å dekke netto energibehov, minus eventuelt tilskudd fra selvprodusert fornybar energi. Energimengden tilføres fra hovednettet som for eksempel fjernvarme og/eller elektrisitet, samt egenprodusert energi. Størrelsen på behovet er avhengig av systemenes virkningsgrad, og skal også dekke eventuelle tap i systemet, frem til energiavgiverne i bygningen.

Beregnet levert energibehov blir benyttet i energimerkeordningen, og ligger til grunn for valg av energimerke. Da denne verdien er beregnet, ut i fra netto energibehov, og ikke den relle leverte energien til bygningen, vil den kunne avvike fra *levert energi*.

Figur 3.1 viser systemgrensene for de ulike begrepene.



Figur 3.1: Forklaring av energibegrepene, utarbeidet fra (Høseggen, 2009)

3.3 INNEKLIMA

Inneklima i skoler påvirker elevenes evne til å prestere og lærernes evne til å utføre en tilfredsstillende jobb. Ansatte som arbeider ved eldre skoler er mer plaget av inneklima enn de som arbeider i nyere skoler (NAAF, 2009). Undersøkelser utført av Statistisk sentralbyrå (SSB) viser at blant sysselsatte innen undervisning klaget hele 36 % på dårlig inneklima (Statistisk sentralbyrå, 2006a).

Store deler av dette kapittelet er hentet fra undertegnede prosjektoppgave "Inneklima og effektiv energibruk" skrevet for NTNU og Rambøll Norge AS, høsten 2009. Innholdet videreføres i masteroppgaven hvor det konkretiseres og tilpasses for å trekke frem faktorer som er spesielt viktige for skolebygninger."

Menneskets opplevelse av inneklima er subjektiv og kan variere avhengig av tid på døgnet, året, kjønn, alder og helsetilstand. Verdens helseorganisasjon, WHO, har inkludert følgende punkter i sin definisjon av inneklima (Hanssen, 2007):

- Termisk miljø
- Atmosfærisk miljø
- Akustisk miljø
- Aktinisk miljø
- Mekanisk miljø

For å kunne gjennomføre en totalvurdering må også det estetiske og psykososiale miljø tas med. De syv faktorene kalles ofte "*de 7 søstre*" og påvirker hverandre i stor grad. Begrepet *innemiljø* omfatter alle de syv faktorene. Uteklimate har også betydning for hvordan innemiljøet vil oppleves av brukerne.

Et godt inneklima kjennetegnes ved følgende punkter;

- helsefremmende,
- fravær fra skadelig og irriterende forurensninger,
- behagelige termiske forhold,
- det skal legges til rette for utførelse av bestemte oppgaver og prosesser,
- ha fravær for støy,
- har gode belysningsnivå for tenkte arbeidsoppgaver
- skal bidra til gi en opplevelse av trivsel og velvære

Inneklima skal også sikre at selve bygningen ikke nedbrytes i form av fuktighet, luktavsetning m.m.

Det termiske miljø og atmosfæriske vil presenteres i dette kapittelet, men dette betyr på ingen måte at de andre miljøene er mindre viktige.

3.3.1 LOVER OG RETNINGSLINJER FOR INNEKLIMA

I forbindelse med inneklima i skolebygninger er det mange lover og retningslinjer som skal følges. De meste sentrale presenteres i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Lover og retningslinjer for inneklima i skolebygninger

Teknisk Forskrift 2007	Forskriften har hjemmel i plan- og bygningsloven. § 8-3, stiller følgende krav til innemiljøet: <i>"Bygningen med installasjoner skal planlegges, prosjekteres, oppføres, vedlikeholdes og drives slik at innemiljøet oppleves tilfredsstillende. Det skal ikke oppstå helse- og utifredsstillende hygieniske forhold..."</i> Forskriften fastsetter ingen tallfestede krav til inneklima.
Arbeidsmiljøloven og internkontroll-forskriften	Forskriften stiller krav til det fysiske og psykiske arbeidsmiljøet for de ansatte
Forskrift for miljørettet helsevern i barnehager og skoler	Forskriften stiller krav til inneklima, støyforhold, hygiene, lysforhold og luftkvalitet.
NS-EN 15251 - Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk	<p>Standarden omhandler inneklimaparametre for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. Standarden gir en klassifisering av inneklimate og anbefaler ulike verdier til parametrene etter hvilket kvalitetsnivå byggherren velger å følge.</p> <p>Hovedkapitlene i standarden tar for seg</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensjonerende kriterier som grunnlag for dimensjonering av systemer for bygninger, oppvarming, kjøling, mekanisk og naturlig ventilasjon • Innendørs miljøparametre for energiberegning • Evaluering av inneklimate og langsiktige indikatorer • Inspeksjon og målinger i eksisterende bygninger • Klassifisering og sertifisering av inneklimate

Ved planlegging og vurdering av inneklima blir forholdene prosjektert og vurdert ut i fra ulike forventningsnivå for bygningen. De ulike kategoriene er presentert i tabell 3.3.

Tabell 3.3: Beskrivelse av anvendelsesmuligheter for kategorier for klassifisering av inneklima (NS-EN 15251, 2007)

Kategori	Forklaring
I	Høyt forventningsnivå. Anbefalt i rom der svært sensitive og sårbare personer med spesielle behov oppholder seg, f.eks. mennesker som har nedsatt funksjonsevne, er syke, spedbarn eller gamle
II	Normalt forventningsnivå. Bør brukes i nye og rehabiliterte bygninger
III	Akseptabelt, moderat forventningsnivå. Kan brukes i eksisterende bygninger
IV	Verdier utenfor kriteriene for kategoriene ovenfor. Denne kategorien bør bare godtas i begrenset tid av året

3.3.2 DET TERMISKE MILJØET

Det termiske miljøet omhandler menneskets varmembalanse og termisk komfort, og påvirkes av mer enn temperatur alene. De termiske parametre er ifølge NS-EN 15251 lufttemperatur, midlere strålingstemperatur, lufthastighet, fuktighet, bekledding og aktivitetsnivå. Ved prosjektering av bygningen benyttes ofte begrepet operativ temperatur som målverdi for termiske forhold i rommet.

Termisk komfort er en sinnstilstand hvor en person er tilfreds med sine termiske omgivelser. Kroppen er da i termisk balanse og trenger verken kvitte seg med eller produsere varme. For en frisk person er kroppens hudtemperatur og kjernetemperatur henholdsvis 32-34 °C og 37-38 °C (Hanssen, 2007), og disse temperaturene må opprettholdes for å oppnå termisk komfort.

Tabell 3.4 angir faktorer som påvirker det termiske miljøet og termisk komfort (Haukland, 2009).

Tabell 3.4: Faktorer som påvirker det termiske miljøet og opplevelsen av termisk komfort

Lufttemperatur	Lufttemperaturen bestemmes av settpunktet for tilluftstemperaturen fra ventilasjonsanlegget og oppvarming av luften som følge av varmekilder i rommet. I rom uten spesielle termiske strålingskilder blir denne temperaturen benyttet i prosjektering.
Termisk stråling	Termisk stråling overføres fra varmekilder til kaldere flater eller legemer, som vegg, gulv, mennesker med mer. Den vertikale temperaturgradienten i oppholdssonen i rommet må påses å ikke bli for stor. Ved asymmetrisk temperaturstråling vil en person kunne føle lokal under- eller overtemperatur, fra eksempelvis kalde vinduer med høy U-verdi, varme tak eller kalde gulv. Kalde legemer i rommet kan gi en opplevelse av strålingstrekk. Strålevarme er gunstig i tilfeller med store lokaler og liten oppholdssone. Det er da ikke nødvendig å varme hele luftvolumet i rommet.
Operativ temperatur	Operativ temperatur er et mål for den temperatur menneskene opplever. Ved lav lufthastighet, <0,4 m/s, beregnes den fra middeltemperaturen av luftens temperatur og termisk stråling fra omgivelsene. Temperaturen måles i oppholdssonen. I veiledning til TEK07 angis anbefalte verdier for operativ temperatur i rommet: <ul style="list-style-type: none"> • Lett arbeid: 19-26 °C • Middels arbeid: 16-26 °C • Tungt arbeids: 10-26 °C
Lufthastighet, lufttemperatur og trekk	Lufthastigheten bør ikke overstige 0,15 m/s på arbeidsplasser med lett fysisk arbeid, som i skolebygninger. Ved sommerforhold kan en høyere hastighet tillates, og virke gunstig da mer tilført luft kan bidra til kjøling av rommet. Da tillates en hastighet på 0,25 m/s. Dette kan være gunstig å utnytte for å unngå mekaniske kjølesystem, som er svært energikrevende.

	<p>For å avgjøre om luftstrømningen i rommet vil oppleves som trekk er det i tillegg til den laminære lufthastigheten nødvendig å vite turbulensintensiteten målt i prosent. Hvis denne verdien er ukjent, settes den som oftest til 35 % for rom med omrøringsventilasjon, og 20 % for rom uten mekanisk ventilasjon eller fortrenningsventilasjon.</p> <p>Høy lufthastighet kan resultere i konvektivt trekk som påvirker den termiske opplevelsen av inneklime. Trekk er uønsket, lokal, avkjøling av legemet.</p>
<p>Termisk isolasjon og aktivitetsnivå</p>	<p>Termisk komfort kan påvirkes av påkledningsvalget og aktivitetsnivå.</p> <p>Klær fungerer som termisk isolasjon mellom menneskets hud og omgivelsene, og gir anledning til å kunne tilpasse seg de termiske forhold. De forskjellige plagg har ulik isolasjonsevne, og den termiske isolasjonsevnen til klær måles i <i>Clo</i>. 1 <i>Clo</i> tilsvarer en varmemotstand på $0,155 \text{ m}^2\text{K}\backslash\text{W}$, som vil tilsvare en <i>U</i>-verdi på $6,54 \text{ W}\backslash\text{m}^2\text{K}$. Vedlegg 3 angir typiske verdier for termisk isoleringsevne til forskjellige kombinasjoner av klesplagg.</p> <p>Mennesker produserer varme. Aktivitetsnivået måles i <i>Met</i>. 1 <i>Met</i> tilsvarer $58 \text{ W}/\text{m}^2$ kroppsoverflate. Bygninger av samme bygningskategori har ofte samme bruksmønster og aktivitetsnivå. Det er derfor lite sannsynlig at personer vil kunne forandre sitt aktivitetsnivå for å tilpasse seg de termiske forhold. I de fleste tilfeller vil alle i rommet ha samme aktivitetsnivå og det dimensjoneres for det aktuelle tilfellet av varmeavgivelse.</p>

For å kunne vurdere om de termiske forhold er tilfredsstillende blir den subjektive opplevelsen registrert og vurderingen av forholdene blir gitt av hvor mange prosent av de spurte som er misfornøyd. Dette måles i *Predicted mean vote (PMV)* og *Predicted percentage dissatisfied (PPD)*.

Predicted Mean Value (PMV) angir forventet middelverdi fra tilbakemeldingene fra en stor gruppe mennesker i samme omgivelser, basert på kroppens varmebalanse. I en stor gruppe mennesker vil det sannsynligvis alltid være noen som er mindre fornøyd med omgivelsene (NS-EN ISO 7730, 2006). Gruppen skal vurdere den termiske opplevelsen av omgivelsene ut i fra en syvpunkts skala (NS-EN ISO 7730, 2006):

+3	Meget varm
+2	Varm
+1	Litt varm
0	Nøytral
-1	Litt kald
-2	Kald
-3	Meget kald

People Percentage Dissatisfaction (PPD) angir en kvantitativ størrelse for andel personer som forventes å være misfornøyde med det termiske miljø. PPD baseres på PMV og andel misfornøyde regnes å være de som har vurdert den termiske opplevelsen som +3, +2, -2 og -3 ut i fra syvpunktsskalaen for PMV (NS-EN ISO 7730, 2006).

3.3.3 DET ATMOSFÆRISKE MILJØET

Det atmosfæriske miljøet omhandler forurensninger, gasser, damper, fibre og partikler (Hanssen, 2007). Mennesket forbruker flere kilo luft hver dag enn det tar til seg mat og drikke. Av dette er 90 % inneluft, mens kun 10 % er uteluft (Flack, 1997).

Det er ikke først og fremst mengde tilluft inn i et rom som avgjør om ventilasjonen er tilfredsstillende, men at luften som tilføres er av god kvalitet. Tilluftens kvalitet bestemmes av utluftens forurensningsinnhold, filter i ventilasjonssystemet, veksling med avtrekksluften i varmegjenvinneren og forurensninger i ventilasjonskanalene og ventilene. Luftkvaliteten i rommet blir påvirket av utslipp fra mennesker, aktivitetsnivå, bygningskomponenter og de klimatekniske systemene. Utslipp fra mennesker omfatter både CO₂ og fukt fra respirasjon og luktavgivelse.

Tabell 3.5 angir faktorer som påvirker det atmosfæriske miljøet og opplevelsen av luftkvalitet (Haukland, 2009).

Tabell 3.5: Faktorer som påvirker det atmosfæriske miljøet og opplevelsen av luftkvalitet

<p>Konsentrasjon av CO₂</p>	<p>Romluftens konsentrasjonen av CO₂ kan gi en indikasjon på om det er tilstrekkelig ventilasjon. Høyt konsentrasjonsnivå kan bety at det er for lave luftmengder eller uheldige strømningsforhold i rommet som medfører dødsoner hvor luften ikke skiftes ut. Mennesker tilfører luften CO₂ ved respirasjon og er ofte den eneste kilden til denne forurensningen.</p> <p>I klasserommet på 60 m² kan det være opptil 30 personer samlet samtidig. I løpet av en time kan en person produsere 15-20 liter CO₂. Ubehag eller problemer som følge av CO₂ vil normalt inntre når O₂ nivået i inneluften blir for lavt. Uteluftens CO₂-nivå i Norge ligger på omkring 350-450 ppm. Konsentrasjonen av CO₂ i romluften anbefales å ikke overstige normverdien på 1000 ppm.</p>
<p>Lukt</p>	<p>Informasjon om en lukt bruker 0,05 sekunder fra nesen til hjernens luktsenter. I løpet av et sekund vil halve luktintensiteten være borte. Mennesket kan derfor tilpasse seg lukter relativt raskt.</p> <p>Luktopplevelsen er subjektiv og hvordan en lukt oppfattes henger sammen med tidligere erfaringer med lukten, arv og hvor godt luktesansen fungerer. Når mennesker entrer et rom vil luktopplevelsen være viktig for hvordan inneklime oppfattes. Nye lukter i rommet vil også raskt bli registrert. Førsteintrykket vil ofte bestemme helhetsinntrykket av inneklime, derfor kan det være hensiktsmessig å ventilere for at denne opplevelsen skal bli best mulig.</p>
<p>Emisjon fra materialer og inventar</p>	<p>Bygningsmaterialer og inventar vil emitte forurensninger avhengig av temperatur- og fuktforhold. Ved prosjektering er emisjonsgraden av materialene bestemt eller antatt, og blir tatt hensyn til ved dimensjonering av ventilasjonsluftmengdene. Valg av lavemitterende materialer vil kunne redusere nødvendig luftmengde. Veiledning om klima og luftkvalitet gir anbefaling til hvordan man kan forholde seg til byggematerialer.</p>

Svevestøv, partikler, fibre og bakterier i romluften

Luften skal ikke inneholde kjente skadelige konsentrasjoner av forurensninger med hensyn til helsefare og irritasjon. Det vil alltid finnes partikler og bakterier i luften, opp til flere tusen forskjellige forurensningskomponenter. Problemer oppstår først når konsentrasjonen av enkeltstoffer blir for stor eller ved samvirkende effekt som kan forsterke enkeltstoffenes virkning. Kjennskap til partiklene i luften er avgjørende for å kunne velge riktig filter til ventilasjonssystemet. Filteret skal hindre forurensninger fra uteluften å komme inn i romluften. Dette kan typisk være partikler fra forbrenningsprosesser og allergener.

Ventilasjonssystemet skal bidra til å gi god luftkvalitet i oppholdssonen. Frisk luft tilføres for å fortynne og fjerne forurensninger, med hensyn til helse og komfort. Tilførsel av luft er også nødvendig for fjerne fuktighet, og for å kunne kontrollere temperaturen i rommet. Ventilasjonsbehovet i bygninger er unikt for hvert bygg.

Nødvendige luftmengder er avhengig av en rekke faktorer, som er nevnt tidligere. Det er flere metoder for å dimensjonere luftmengdene. NS-EN 15251:2007 angir metoder for dimensjonering av ventilasjonsluftmengder ut i fra:

- Nødvendig luftmengde for menneskeskapte forurensninger og emisjon fra bygningskomponenter
- Nødvendig luftmengde per person eller per kvadratmeter gulvareal
- Nødvendig luftmengde basert på en massebalanse og nødvendig kriterium for CO₂-nivå.

Anbefalte luftmengder for menneskelige utslipp og bygningsutslipp er presentert i tabell 3.6 og 3.7, og er vist for de ulike klassifiseringskategoriene angitt i NS 15251

Tabell 3.6: Anbefalte luftmengder for menneskelige utslipp

Kategori	Forventet andel misfornøyde	Luftmengde per person l/s/person
I	15	10
II	20	7
III	30	-
IV	>30	< 4

Tabell 3.7: Anbefalte luftmengder for bygningsutslipp

Kategori	Svært lavt forurensende bygning [l/s/m ²]	Lavt forurensende bygning [l/s/m ²]	Ikke lavt forurensende bygning [l/s/m ²]
I	0,5	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,3	0,4	0,8

Luftvekslingstallet forteller hvor mange ganger i timen luften i et rom skiftes ut. Tallet framkommer av tilluftsmengden dividert på rommets totale luftvolum.

Infiltrasjon angir byggets naturlige luftskifte per time, h⁻¹, som følge av utettheter i bygningskroppen. Infiltrasjonen påvirker også det termiske miljøet. Faktiske verdier for infiltrasjon er vanskelig å fastslå da det avhenger av omgivelsene rundt bygningen, skjermingsgrad og klima. Formelen for luftskifte som følge av infiltrasjon er (NS 3031, 2007):

$$n_{\text{inf}} = \frac{n_{50}e}{1 + \frac{f}{e} \left(\frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{Vn_{50}} \right)^2}$$

Hvor

n_{50} lekkasjetallet ved 50 Pa [h⁻¹] overtrykk.

V oppvarmet luftvolum [m³]

\dot{V}_1 tilluftmengden i ventilasjonsanlegget [m³/h]

\dot{V}_2 avtrekksmengden i det mekaniske ventilasjonsanlegget [m^3/h]

e,f terrengskjermingskoeffisienter angitt i NS 3031

Når tillufts- og avtrekksmengdene i ventilasjonssystemet er lik blir uttrykket for infiltrasjonen forenklet til:

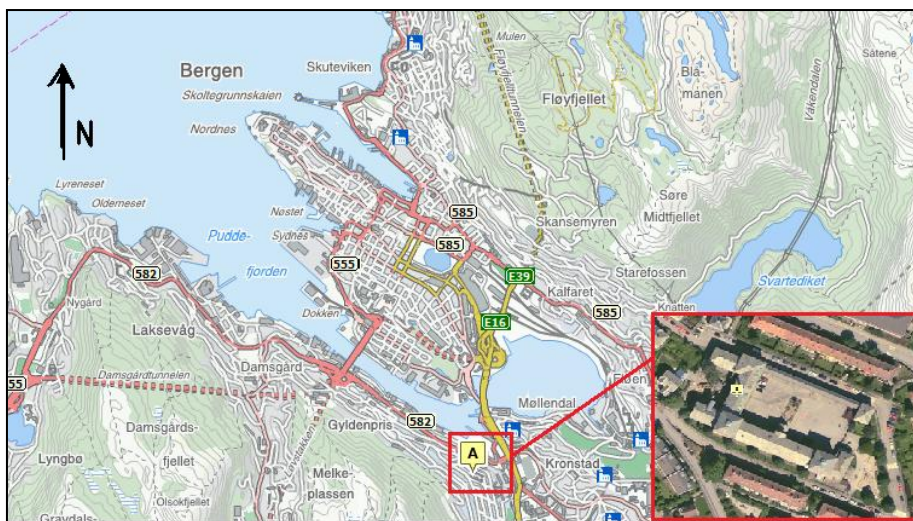
$$n_{\text{inf}} = V n_{50} e$$

Tilluftstemperaturen bestemmes ut i fra hvilket *ventilasjonsprinsipp* som benyttes og temperaturkravet til rommet. Ved *omrøringsventilasjon* bør temperaturen settes noen grader under ønsket romtemperatur for å sikre at luften omrøres eller spres til oppholdssonen i rommet. Ved *fortrengningsventilasjon* skal settpunktet settes lavt nok til at luften sprer seg ved gulvnivå og stiger til avtrekket som følge av varme kilder i rommet, og dette vil skape en friskluftzone i oppholdssonen. Det anbefales ikke å benytte ventilasjonsluften til oppvarmingsformål, da dette har vist seg å medføre uheldige helseeffekter (Bakke, 2007).

Relativ luftfuktighet (RF) defineres som forholdet mellom vanddampens partialtrykk og vanddampens metningstrykk ved samme lufttemperatur (Hanssen, 2007). Den forteller hvor fuktig luften er i forhold til hvor mye fuktighet den maksimalt kan inneholde ved den aktuelle temperaturen. Uteluftens fuktighet varierer i løpet av døgnet og året. Mennesker er godt tilpasset varierende fuktighetsnivå og vil derfor også kunne tolerere store variasjoner innendørs. Vanligvis kan RF svinge mellom 20 til 70 %. Opplevelsen av RF henger tett sammen med andre faktorer som lufttemperatur, luftveksling, støv og andre irritanter i luften (Hanssen, 2007).

4 PRESENTASJON AV NY KROHNBORG SKOLE

Ny Krohnborg skole ligger i fjellsiden til Løvestakken på Kronstad, utenfor Bergen sentrum, som vist i figur 4.1. Skolen har i flere år hatt behov for en gjennomgående renovasjon. I dette kapittel vil skolens historie, utforming, energibruk, inn klima, samt byantikvarens innspill til renovasjonsplanene bli presentert.



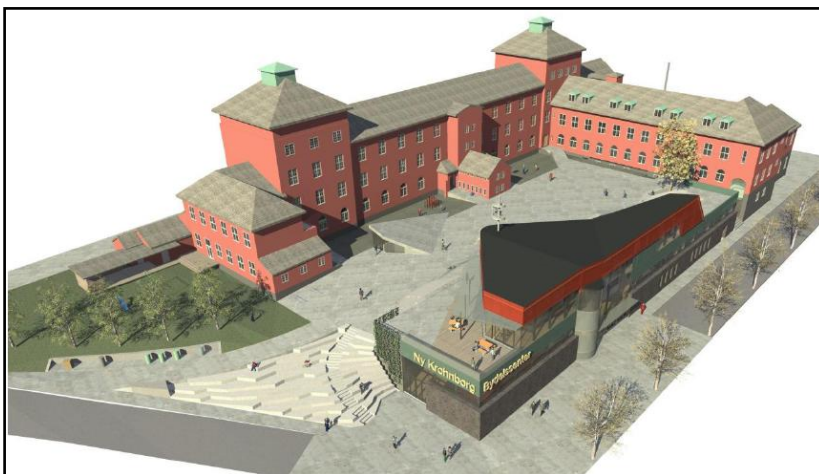
Figur 4.1: Plassering på kartet

4.1 HISTORIE

Ny Krohnborg skole sto ferdig i 1924, og er tegnet av arkitekt Kaspar Hassels (1877-1962). Det var stor prestisje knyttet til skolebygningene bygget i Bergen på 1800-tallet og ut i 1900-tallet. Skolebygningene ble plassert på byens flotteste tomter og utformet slik at de var godt synlige i omgivelsene. Ny Krohnborg skole er tegnet og bygget i en overgangsfase i Bergens bygningshistorie, da det i 1924 ble innført en nasjonal bygningslov, som fjernet mange av særlovene i storbyene. Da skolen åpnet hadde skolen 34 klasserom, to sløydrom, to gymnastikksaler, to naturfagrom, to lærerrom, kontor for overlærer, matsal, legerom, rom for sykepleiere, bad med dusj og svømmebasseng.

4.2 UTFORMING

Ny Krohnborg skole, ekskludert svømmehallen og barnehagen, har i dag er bruksareal på omkring 5100 m². Skolen består av to hovedfløyer, og tre mindre fløyer, som vist på figur 4.2. Det skal bygges en kantine, idrettshall og kulturhus i en ny bygning i tilknytning til skolen. Figur 4.2 viser i forgrunnen den nye skoledelen, med tilhørende kantine, idrettshall og kulturhus. Skolens bakside mot sørvest er vist i figur 4.3. Klasserommene er strategisk plassert for optimal utnyttelse av daglys, og toalettene er plassert strategisk slik at elevene har direkte tilgang fra klasserommene og fra gårds plassene (Bergen byantikvar, 2007).



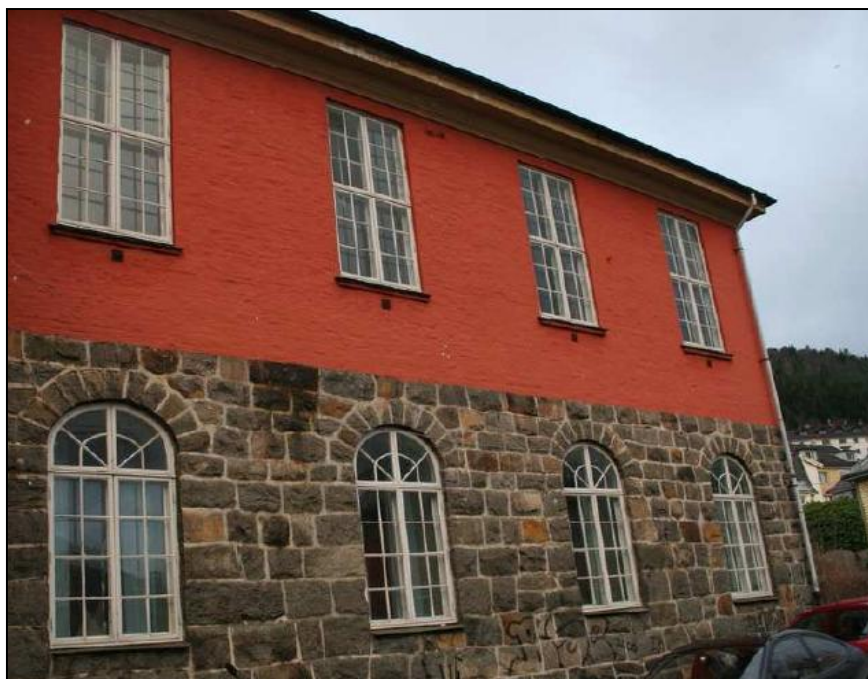
Figur 4.2: Ny Krohnborg skole, mot øst (Rambøll, 2010)



Figur 4.3: Ny Krohnborg skole mot sørvest, Møregaten

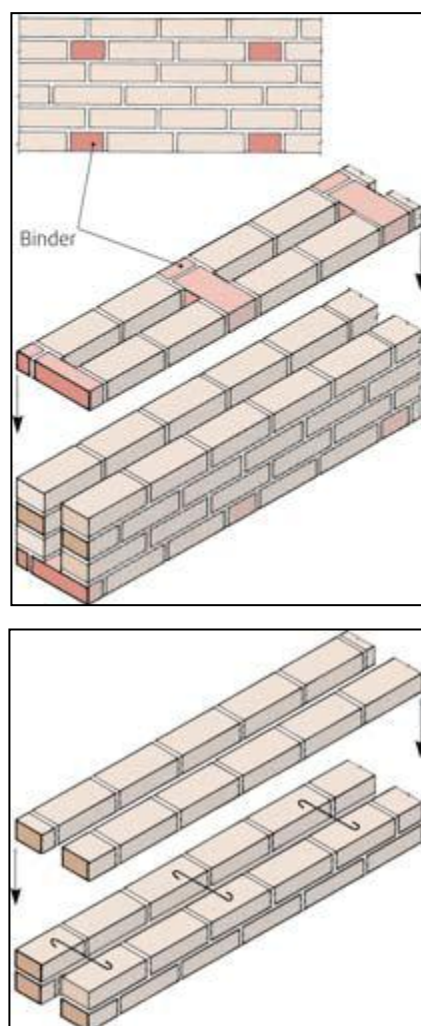
4.2.1 FASADEN

Ytterveggen til skolen består hovedsakelig av to typer konstruksjoner, hultmur med slemmet tegl og natursteinsmur, vist i figur 4.4.



Figur 4.4: Ytterveggen til Ny Krohnborg skole (Bergen byantikvar, 2007)

Hoveddelen av ytterveggen består av hultmur av teglstein, slemmet på utsiden (Bergen byantikvar, 2007). Veggen er bygget som en engelsk hultmur og består av to 1/2-steins vanger med luftrom i mellom. Det er usikkert hva veggen er forbundet med. Dersom den er forbundet med bindere av stein, skal de være lagt inn ved hvert femte skift. Hvis veggen er forbundet med stålbindere er de lagt inn med en minimumsavstand på 0,5 m i begge retninger. Figur 4.5 viser oppbyggingen til hultmur, med stein- og stålbindere.



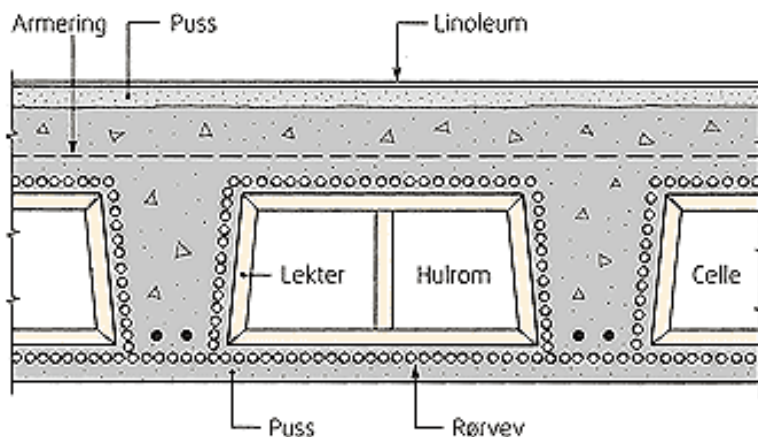
Figur 4.5: Engelsk hulmur forbundet med bindere av stein (øverst) og stålbindere (nederst) (Byggforsk, 2007a)

Deler av ytterveggen er av naturstein, type gråsteinsmur. Dette gjelder kjellerveggene over bakken. Gråsteinsmur ble ofte brukt på utsatte steder av bygningen da den er robust, eller som et dekorativt virkemiddel (Byggforsk, 2007a).

4.2.2 FUNDAMENT, DEKKE OG GULV

Fundamentet og grunnmuren er i gråsteinsmur, og dekkene er utført i armert betong. Dekke over klasserommene er av armert betong, såkalt Pohlmanns etasjeskillere, vist i figur 4.6. Dette var mye brukt rundt år 1900, og har god egenskaper i forhold til lydemping, vekt og

varmeisolering mellom etasjene, grunnet stillestående luftrom inni konstruksjonen (Byggforsk, 2007b).



Figur 4.6: Pohlmanns etasjeskillere (Byggforsk, 2007b)

Gulvet i korridorene, vist i figur 4.7, og trappeoppganger er av skifer. I klasserommene er det lagt linoleum, og i gymsalene er det lakkert tregulv. Badet har keramiske fliser. (Bergen byantikvar, 2007).



Figur 4.7: Korridor med teglvegger og skifergulv (Bergen byantikvar, 2007)

4.2.3 TAKKONSTRUKSJONEN OG LOFTET

Takkonstruksjonen er av treverk, tekket med skiferheller, som opprinnelig bygget (Bergen byantikvar, 2007). Takkonstruksjonen er generelt tørr og i god stand. Taket er uisolert, med unntak av et mindre

loftsareal som har blitt benyttet til undervisningsformål hvor etterisolering er blitt utført.

4.2.4 KJELLER

Kjellerveggene over bakken, er som nevnt av naturstein. Vegger under grunn er av tegl dekket med armert betong (Bergen byantikvar, 2007).

4.2.5 VINDUER OG DØRER

Bygningen har både opprinnelige og utskiftede vinduer. Vinduene på hovedfløyens fasade mot nørddøst er opprinnelige fra 1924, og består av 1-glass vindu med karm av høy trekvalitet (Rambøll, 2010). Vinduene er vist i figur 4.8.

Alle vinduene på hovedfløyen mot Møregaten ble skiftet i 2006. Vinduene er av type Magnor, 2-lags med argongass i hulrommet.

Vinduene og takarkene, figur 4.8 mot sørøst er skiftet (Bergen byantikvar,



Figur 4.8: Opprinnelige vinduer (t.v) og utskiftede takarker med vindu (t.h.)

2007). Takvinduene ble skiftet i 1989 og det ble satt inn isolerglass. De utskiftede takvinduene er feilmontert og feil materiale er benyttet. Dermed er vinduene blitt ødelagt med tiden, det er full gjennomtrekk rundt vinduene, da dampspærre, fuge, vindtetting og isolasjon mangler (Multiconsult, 2007).

Dørene ved skolen skal beholdes, slik de er opprinnelige fra 1924. Det skal monteres nye dører på skolens bakside, mot Møregaten.

4.3 KLIMATEKNISKE INSTALLASJONER

Ventilasjonsløsningen og oppvarmingssystemet til Ny Krohnborg skole blir presentert i dette kapitlet.

4.3.1 VENTILASJONSLØSNING

Opprinnelig var ventilasjonsløsningen ved Ny Krohnborg skole å utnytte takhettene over trapperommene som luftkanaler. Ut i fra tegning mottatt fra Bergen kommune av et av tårnene med kanalordning kan det tyde at skolen i 1924 hadde hybrid ventilasjon, se vedlegg A. Ved tilstrekkelig temperaturforskjell ute og inne blir luften drevet ut gjennom luftetårnene ved naturlige oppdriftskrefter, også kalt *skorsteinseffekten*. Om vinteren vil luftskiftet i bygningen være størst på grunn av stor temperaturdifferanse, samtidig som oppvarmingsbehovet også er størst. Dette vil gi et svært høyt energibehov. Ved sommerforhold med varmere utetemperaturer blir drivkreftene til skorsteinseffekter redusert, da temperaturforskjellen ute og inne reduseres, og det ble da benyttet en mekanisk aksialvifte plassert i kanalordningen i tårnet som drivkraft.

Det ble ved slutten av 1970-tallet etablert et nytt ventilasjonsanlegg, hvor det ble installert mekanisk avtrekksventilasjon på skolen. Frisk luft ble trukket inn i bygningen gjennom ytterveggventiler bak radiatorene, ved at avtrekksventilasjonen skaper undertrykk i bygningen (Rambøll, 2010).

4.3.2 OPPVARMING

Oppvarmingssystemet i bygningen er høytemperatur vannbåren varme hvor radiatorer er plassert under vinduene. Vannrørene er ikke isolerte, som kan medføre varmetap til omgivelsene. Hele oppvarmingssystemet er i dårlig stand og bør skiftes ut (Rambøll, 2010).

4.4 ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING

I 2009 var energibehovet til oppvarming med fjernvarme 953 310 kWh (personlig kommunikasjon med Ole Døsvik i Rambøll Norge AS), og inkluderer den tilhørende barnehagen og svømmehallen. Dette tilvarer

omkring 170 kWh/m². Det har ikke vært mulig å finne størrelsen av det elektriske energibehovet for skolen.

4.5 INNEKLIMA

Detaljert informasjon om inneklimate er ikke tilgjengelig. Det er generelt lite klager på inneklimate ved Ny Krohnborg skole. Målinger i klasserommene har vist store konsentrasjoner av CO₂ og høye temperaturer (Rambøll, 2009).

4.6 BYANTIKVARENS VURDERING AV SKOLEN

Byantikvaren i Bergen (2007) har utarbeidet en antikvarisk bygningsdokumentasjon på bakgrunn av de omfattende planene som var skissert for Ny Krohnborg skole. I rapporten blir skolen definert som et objekt med høy antikvarisk verneverdi. Rapporten skal bidra til å legge rammer for hvilke tiltak som kan verksettes, uten at det går på bekostningen av bygningens autenticitets- og integritetsverdi.

4.6.1 GENERELT

Det helhetlige skoleanlegget skal bli ivaretatt, og bygningens hovedkarakter skal opprettholdes. Spesielt viktig er at alle detaljene ved bygget ivaretas, da dette utgjør den verneverdige helheten. Bygningen skal rehabiliteres og bygges i tråd med de antikvariske verdiene som bygget utgjør. Byantikvaren, Byrådsavdelingen for oppvekst og Bergen kommunale bygg har alle uttrykket felles forståelse for hvorfor Ny Krohnborg skole ble betegnet som verneverdig.

4.6.2 NY ROMINDELING

Det skal for hvert klassetrinn etableres egne fleksible læringsareal, baser, som del av skolebruksplanen i Kunnskapsløftet (Bergen kommune, 2008a). Hver base skal bestå av åpne og allmenne læringsareal, grupperom, studiesone, stillerom, garderobe, toalett, lærerarbeidsplasser og kjøkkenkrok. For å oppnå tilstrekkelig plass til disse basene må deler av korridoren innlemmes i sonene, og det åpnes mellom eksisterende klasseromsareal og korridoren. Dagens romkarakter, materialbruk og typiske detaljer skal bli forsøkt bevart og fremhevet i størst mulig grad. Dette gjelder også i trapperommene.

4.6.3 KLIMATEKNISKE INSTALLASJONER

Ventilasjonskanaler skal bli plassert både utvendig og innvendig. Utvendige kanaler skal så godt som mulig plasseres i hjørnene, på

pilastrene. De innvendige kanalene må ta hensyn til bueganger og andre detaljer ved bygningen.

Det er ikke blitt gitt spesifikke anbefalinger fra byantikvaren angående skolens varmedistribusjonssystem, som skal skiftes ut i sin helhet.

5 REHABILITERING AV SKOLEN – UTFORDRINGER OG MULIGHETER

Før simulering av skolens energibehov og inneklimate utføres skal dette kapittelet gi en oversikt over utfordringer og muligheter ved rehabilitering av Ny Krohnborg skole. Det tas utgangspunkt i informasjonen om skolen presentert i kapittel 4. Dette kapittelet tar for seg tiltak som kan utføres for hver bygningsdel av skolen. Det vil også gis en oversikt over mulige tiltak som kan utføres for de klimatekniske installasjonene.

5.1 BAKGRUNN OG MÅL FOR RENOVASJON

Ny Krohnborg skole sto ferdig i 1924 og ble delvis rehabilitert ved slutten av 1970-tallet. I dag har skolen et omfattende behov for rehabilitering.

Grunnet utbygging i skolekretsen er det forventet et behov for økt antall elevplasser. I tillegg til renovasjonen av den eldre skolebygningen skal det bygges tilhørende idrettshall, kulturhus og kantine. Disse bygningene vil ikke bli medtatt videre i denne rapporten, da det skal fokuseres på den eksisterende verneverdige delen av skolen.

I følge føringer i Kunnskapsløftet og Skolebruksplanen skal det ved rehabilitering og ombygging legges til rette for fleksible løsninger og arealrammer (Bergen kommune, 2008a). Dette kommer frem på plantegningene av bygningen, med store baseareal og aktive gangsoner hvor elevene kan arbeide i grupper. Bygningen er en del av prosjektet "*Ny energi rundt Damsgårdssundet*" og det etterstrebes derfor at energibehovet til bygningen skal reduseres (Bergen kommune, 2008b).

5.2 FASADEN

Skolens fasade består av to ulike typer oppbygging; hultmur med teglstein og natursteinsmur.

5.2.1 HULMUR

Hultmuren av teglstein har i følge snittegninger en tykkelse på 420 mm (Multiconsult, 2007). Veggens U-verdi kan da antas å være, i følge Byggforsk (2007a), omkring 1,11 W/m²K. Dette er vesentlig dårligere enn minstekravet til ytterveggene i TEK 07 som er 0,22 W/m²K. Hultmurens U-verdi er for mur bygget opp med 1 ¾ stein. Spesielt med hultmurskonstruksjoner er at veggens tykkelse varierer i de ulike etasjene,

ettersom det er flere steiner i nederste etasjene, enn de øverste, og derfor vil ikke denne U-verdien være korrekt for hele ytterveggen. Likevel blir dette forenklet i denne masteroppgaven, og det regnes som om U-verdien er homogen for hele veggen.

Veggens U-verdi kan bedres ved å etterisolere, enten med utvendig eller innvendig isolering. Utvendig etterisolering er ofte et effektivt tiltak for å redusere energibehovet til oppvarming ved at kuldebroene kan elimineres (Byggforsk, 2007a), men dette vil ikke være aktuelt å utføre da fasadens antikvariske verdi skal beholdes.

Innvendig etterisolering vil kunne gi økt risiko for fuktskader i veggen på grunn av reduserte uttørkingsmuligheter. Ettersom temperaturforholdene i veggen forandrer seg vil dette gi en ny plassering av duggpunktet i konstruksjonen, som igjen vil kunne gi fuktproblemer. Reduserte temperaturer i kombinasjon med fuktighet vil kunne gi frostsikader i teglsteinen. Byggforsk (2003) fraråder derfor bruk av innvendig etterisolering av teglsteinsvegger dersom ikke steinens frostbestandighet først blir undersøkt. På grunn av svært mange byggetekniske utfordringer og økt risiko for at veggen kan bli skadet er det også viktig å utføre beregninger som viser veggens duggpunkt og temperaturprofil.

Innblåsning av isolasjon i hulrommene i muren gir liten forbedring av U-verdien og regnes ikke som et lønnsomt tiltak (Thue, 2007a).

5.2.2 NATURSTEIN

Natursteinsmuren er bygget opp med gråstein, med en tykkelse på 300-500 mm (Rambøll, 2010). Varmekonduktiviteten til natursteinsmuren er 2,9 W/mK. Dermed kan U-verdien til veggen beregnes manuelt, med forbehold om at det kan oppstå unøyaktighet ettersom veggens porøsitet og bindemiddel ikke er kjent. Natursteinsmuren U-verdi er beregnet til 3,33 W/m²K, se vedlegg B.

5.2.3 FUNDAMENT, DEKKE OG GULV

Fundamentet, dekke og gulv er bygd opp av materialer med relativt høy varmeledningsevne. Derfor bør det sjekkes hvorvidt dette vil gi en kuldebroeffekt på bygningskroppen. Dette vil bli vurdert i kapittel 5.6.

5.3 TAKKONSTRUKSJONEN OG LOFTET

U-verdien av tretaket kan beregnes uavhengig av skiferhellene det er tekket med (Byggforsk, 2003). Loftsarealet med oppvarmingsbehov, i sidefløyene, er etterisolert. Det uoppvarmede loftsarealet er uisolert.

Det uisolerte loftet kan etterisoleres enten ved å isolere yttertaket, eller isolere loftets gulv. Etterisolering av loftet vil kunne bidra til at bygningen får et lavere energibehov. Dette tiltaket vil bli vurdert opp mot hvor mye energibehovet kan reduseres, og risiko for skader på loftet som følge av eventuelle fuktproblemer. Tabell 5.1 presenterer fordeler og ulemper ved uisolerte og etterisolerte loft.

Tabell 5.1: Fordeler og ulemper med uisolerte og etterisolerte loft

Tiltak	Fordeler	Ulemper
Ingen inngrep på loftet	Uisolerte loft med takkonstruksjon av treverk, slik taket er på Ny Krohnborg skole, kan om sommeren gi høye temperaturer innvendig, som igjen vil kunne drepe dannelse av sopp og mikroorganismer.	Ved vinterforhold vil det uisolerte loftet medføre et økt oppvarmingsbehov til bygningen, da oppvarmede grensende rom vil ha et varmetap mot loftet. Kan ikke redusere energibehovet til oppvarming
Etterisolering av loftet	Lavere energibehov Gir en generelt høyere energiøkonomisk gevinst enn til sammenligning å etterisolere kjelleren på grunn av stor temperaturdifferanse mellom loftet og grensende oppvarmede rom	Dersom loftet isoleres kan dette skape grobunn for mikroorganismer, da bygningens overtrykk vil presse luft med relativ høy fuktighet gjennom ytterkonstruksjonen (REF), og dette vil kunne skape kondens og fukt. Isolasjon av gulvet vil i enkelte deler av loftet kunne skape komplikasjoner med tanke på ventilasjonsaggregat som et tenkt plassert der i loftsrommet, hvor det allerede er lav takhøyde (Rambøll, 2009)

5.4 KJELLER

Varmetapet gjennom gulv mot kjeller er avhengig av rommenes temperaturdifferanse. Blindkjelleren er i dag ikke isolert og har dermed lavere temperatur enn rommene kjelleren grenser til. I energiberegningen blir ikke kjellerrommet medtatt, men temperaturforholdene i rommet kan påvirke simuleringene da rommet grenser til oppvarmet sone, og påvirker

dermed oppvarmingsbehovet til bygningen, og termisk komfort i grensende rom, på grunn av blant annet kaldt gulv. Detaljene for utførelse av etterisolering av kjelleren blir ikke medtatt i denne rapporten.

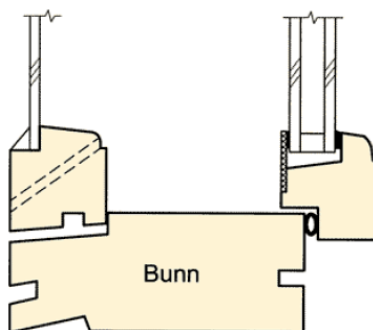
Lønnsomheten i å etterisolere kjelleren er som regel lavere enn ved å etterisolere loftet, ettersom temperaturforskjellene mellom kjeller og oppvarmede rom er lavere enn mellom loft og grensende rom (Thue, 2007a). Etterisolering blir gjennomført som regel for å unngå kalde gulv og komfortproblemer i grensende rom. Etterisolering av kjelleren kan redusere oppvarmingsbehovet noe, men det vil ikke utføres beregninger på dette i denne masteroppgaven.

5.5 VINDUER OG DØRER

Det er i dag flere typer vinduer på skolen. Her skal forbedringsmulighetene til de ulike vinduene presenteres. U-verdien til vinduene inkludert karmen er ikke en statisk verdi, men forandrer seg med temperaturforskjellen ute og inne, og dermed blir ikke verdiene som settes helt korrekte. Verdien er også forskjellig for ulike vindusstørrelser i forhold til arealandel karm/ramme i forhold til glassflaten.

5.5.1 VERNEVERDIGE VINDUER MED INNVENDIGE VAREVINDU

De opprinnelige vinduene på skolens fasade mot gårdsplassen skal bevares. Vinduene er 1-lags glass, med trekarm av god kvalitet. Ifølge eldre byggforskrift fra 1949 har slike vinduer en U-verdi på $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller $8,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ henholdsvis for faste og hengslete (Direktorat for samfunnssikkerhet og beredskap, 2010). Ved å montere nye vinduer innenfor de eksisterende kan varmetapet gjennom vinduene reduseres. Slike arrangement betegnes som varevindu. Varevinduene monteres med tettelisten for å hindre trekk og dugg mellom rutene. Kondensfaren kan reduseres ved å lufte i hulrommet mellom vinduene med luftehull i ytterste vindu (Byggforsk, 2006). Undertegnede vet ikke hvilke varevindu som skal settes inn ved Ny Krohnborg skole. Det blir derfor presentert to mulige valg av vindu. Enten monteres vindu med vareramme og til sammen to glass, eller 3 glass som vist i figur 5.1, hvor ytterste er det opprinnelige vinduet, med to-lags isolerglass, med argongass, i varerammen. U-verdiene er henholdsvis $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Multiconsult, 2009a) og $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Multiconsult, 2009b).



Figur 5.1: 3 glass vindu, med opprinnelig 1-glass ytterst, og 2-lagsglass i vareramme innerst

5.5.2 UTSKIFTETE VINDUER FRA 1989 – KLAR FOR NY UTSKIFTING

I 1989 ble enkelt av de opprinnelige vinduene skiftet ut. Disse er igjen klart for utskifting og nye vinduer skal settes inn. U-verdien på vinduene som skal innsettes skal være bedre enn $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, som er kravet i tiltaksmetoden.

5.5.3 DØRER

De eksisterende dørene skal bevares. Nye dører skal være godt isolert med U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5.6 ENERGIBEHOV, KLIMATEKNISKE INSTALLASJONER OG INNKLIMA

Det er sammenheng mellom energibruk, de klimatekniske installasjonene og innklima på skolen, og i dette kapittelet vil flere innvirkende faktorer omtales.

5.6.1 ENERGIBEHOVET

Skolens oppvarmingsbehov dekkes av fjernvarme og er på omkring $170 \text{ kWh/m}^2\text{år}$. Dette omfatter skolebygningen, samt tilhørende svømmehall og barnehage. Skolens oppvarmingsbehov er dermed mindre enn den angitte summen, men regnes likevel å være høy sammenlignet med tall fra ENØK normtall gitt ut av Enova (2004) hvor oppvarmingsbehovet for en skolebygning og en barnehage er henholdsvis 80 kWh/m^2 og 52 kWh/m^2 , for en skole bygget etter kravene i TEK 97. Bygninger utført etter kravene i TEK 07 vil ha omkring 40 % lavere energibehov til oppvarming (Sintef, 2007) enn angitt i ENØK normtall.

Energi behovet til oppvarming kan reduseres ved å bedre u-verdiene med etterisolering og utskifting av vinduene. Lønnsomheten i tiltakene må

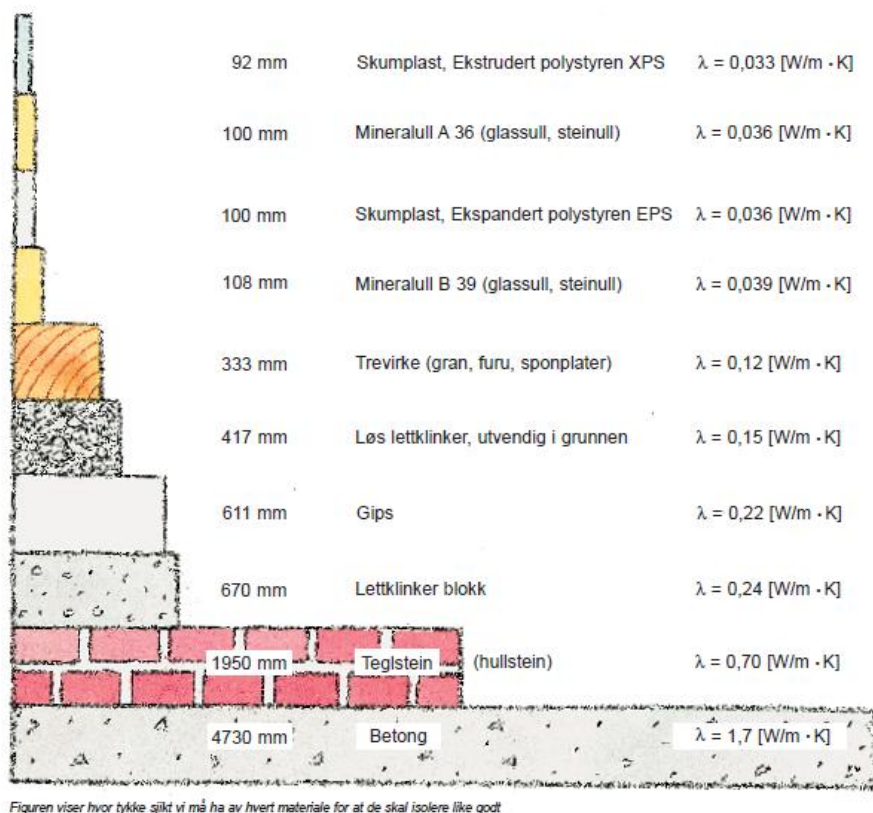
vurderes ut i fra de eksisterende u-verdiene, kuldebroene og bygningens tetthet, samt bruksmønstret, og dette vil kunne vurderes ut i fra resultater fra simuleringene i SIMIEN.

Skolen årlig elektrisitetsbehov er det ikke tilgjengelig. Ved bruk av lavenergi teknisk utstyr kan det med stor sannsynlighet være mulig å redusere energibehovet til blant annet teknisk utstyr og belysning.

5.6.2 KULDEBROENS BETYDNING

Kuldebroer oppstår i en del av en konstruksjon hvor varmeovergangsmotstanden er redusert i forhold til området rundt, slik at dette området vil ha et større varmetap enn den omsluttende konstruksjonen. Kuldebroer kan føre til et økt varmebehov, samtidig som det øker risikoen for kondens og fukt, sverting av materialer, samt redusere termisk komfort på grunn av kalde flater (Thue, 2007a). Kuldebroer inntreffer typisk i etasjeskillere, konstruksjon mot grunn, vinduer og hjørner (Thue, 2007a) . Kuldebroens relative betydning øker med den omsluttende veggens isolasjonsevne.

Ny Krohnborg skole er hovedsakelig bygd opp av teglstein og betong. Både tegl og betong er byggematerialer med relativt høy varmekonduktivitet, som har god varmeledningsevne. Dette er materialer som ofte vil utgjøre kuldebroen i en bygning, men i og med at ytterveggen på skolen hovedsakelig er bygget opp med teglstein, er det lite sannsynlig at betongandelen i etasjeskillerne vil medføre en stor kuldebro (personlig kommunikasjon med Arvid Dalehaug, 7. mai, 2010), da materialeegenskapene ikke er svært forskjellig mellom de to. Varmekonduktiviteten til massiv teglstein og armert betong er henholdsvis 0,9 og 1,7 W/mK (Mursenteret, 2001). Selv om dette er nesten en dobling er det liten forskjell i forhold til varmeledningsevnen til andre materialer, som vist i figur 5.2. Figuren viser varmekonduktiviteten og nødvendig tykkelse av ulike materialer, for at de skal isolere like godt. Natursteinsmuren, som er langs bakkenivå, har en varmekonduktivitet på 2,9 W/mK. I tillegg har aluminium en varmekonduktivitet på 225 W/mK (Gundersen, 2000).



Figur 5.2: Varmekonduktivitet og nødvendig tykkelse på ulike materialer, for at de skal isolere like godt (Glava, 2008)

I følge TEK 07 skal normalisert kuldebroverdi ikke overstige $0,06 \text{ W/m}^2(\text{BRA})/\text{K}$ (Teknisk forskrift, 2007). Normalisert kuldebroverdi er den samlede stasjonære varmemstrømmen fra kuldebroer dividert med oppvarmet del av bruksarealet (BRA) (NS 3031, 2007).

Den normaliserte kuldebroverdien må være kjent når bygningers energibehov skal simuleres. Identisk kuldebroverdi benyttes i case 1, 2 og 3. I case 4 er normalisert kuldebro etter dagens krav benyttet. Kuldebroverdien kan ikke bestemmes med sikkerhet uten omfattende beregninger. Detaljtegninger av bygningen og overgangen mellom konstruksjonsmaterialene må være kjent.

Detaljtegninger av bygningskonstruksjonen er ikke tilgjengelig, så det kan ikke utføres eksakte beregninger av kuldebroverdiene (personlig kommunikasjon med Arvid Dalehaug, 7. mai, 2010). Bygningen kan istedenfor termograferes. Termofotografering med infrarød stråling

(varmestråling) kan avdekke hvor på bygningskroppen kuldebroene er, og vise hvordan dette påvirker overflatetemperaturen til konstruksjonen, men dette vil kun angi lokalisering av kuldebroen og ikke verdien. Ved termografering bør det være en temperaturforskjell på minimum 10 K innendørs og ute (Thue, 2007b). Kuldebroene kan også finnes ved å spørre brukerne om det er partier i bygningen med spesielt lav overflatetemperatur. Ellers kan fukt- og støvkondens gi en indikasjon på kuldebroproblemer (Thue, 2007a).

Som inputverdi for den normaliserte kuldebroen settes en verdi funnet i biblioteker for energimerkeordningen. Dette gjøres i samsvar med anbefaling fra NS 3031 om at usikre verdier ved energiberegning av eksisterende bygninger kan finnes i nasjonale referanser (NS 3031, 2007), men det betyr ikke at verdien stemmer med den reelle. Normalisert kuldebro settes til $0,04 \text{ W/m}^2(\text{BRA})/\text{K}$, som er verdien for høyskoler og universitetsbygninger bygget før 1940 av mur og tegl, (Multiconsult, 2009a). Siden Ny Krohnborg skole er relativt stor, med flere etasjer, antas denne verdien å stemme tilstrekkelig. NS 3031 angir normalisert kuldebroverdi til $0,09\text{-}0,12 \text{ W/m}^2(\text{BRA})/\text{K}$ for bygninger med bæresystem i betong, mur eller stål, men ettersom Ny Krohnborg skole er fra 1920, og ikke en nyere bygning, benyttes verdien fra biblioteket for energimerkeordningen.

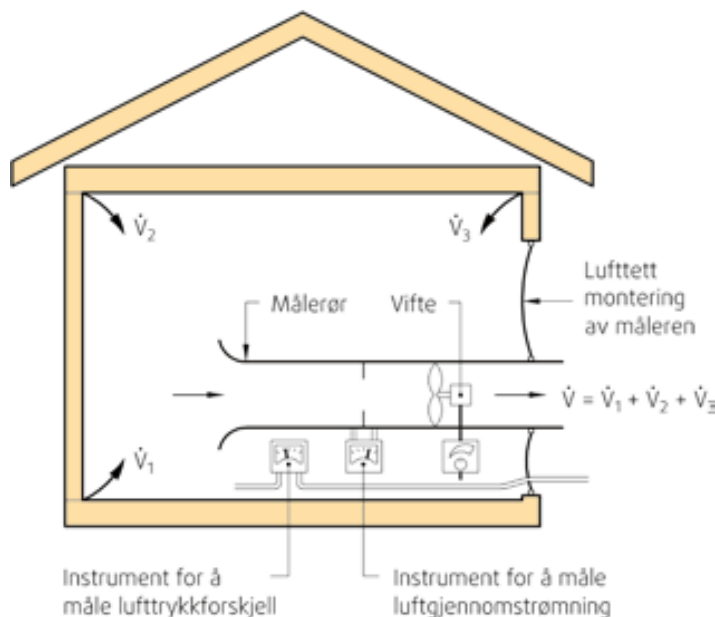
Normalisert kuldebroverdi for Ny Krohnborg skole er bedre enn kravet i TEK07, og det antas derfor at kuldebroene ikke har negativ innvirkning på energibehovet, konstruksjonen eller termisk komfort. Dersom det likevel viser seg at kuldebroen er høyere enn antatt kan ulike tiltak iverksettes. Kuldebroene blir ikke redusert med de tiltakene som er aktuelle å utføre ved skolen. Ettersom det ikke er aktuelt med tilleggsisolering av bygningskroppen, kan eventuelle problemer som følge av kuldebroene utbedres ved å plassere varmekilder i de aktuelle partiene av bygget, men dette vil øke bygningens totale varmetap (Gustavsens, et al., 2008). Det er aktuelt å tette bygningen, men dette vil ha liten effekt på varmetapet som kan tilskrives kuldebroene (Gustavsens, et al., 2008). Dersom det ikke var gitt noen begrensninger fra Byantikvaren i Bergen kunne kuldebroene blitt redusert med utvendig isolasjon, og ved at vinduer og dører monteres i tilnærmet samme plan som veggens hovedisolasjon (Thue, 2007a).

5.6.3 LEKKASJETALLET OG MULIGHETER FOR Å TETTE BYGNINGSKROPPEN

Bygninger oppført før 1940 har typisk lekkasjetall på 9 h^{-1} , 12 h^{-1} og 15 h^{-1} for henholdsvis lufttett, middels tett og utett konstruksjon (Multiconsult, 2009). Dagens krav til bygningens tetthet er for andre bygg enn boliger (Teknisk forskrift, 2007):

- Bygning med inntil 2 etasjer: 3 h^{-1}
- Bygning over 2 etasjer: $1,5 \text{ h}^{-1}$

Lekkasjetallet kan bestemmes ved å trykkteste bygningskroppen. I bygninger med ventilasjonsanlegg kan lufttetthetsmålingene gjøres relativt enkelt ved hjelp av byggets ventilasjonsanlegg (Byggforsk, 2007c). Dette har ikke Ny Krohnborg skole, så andre metoder må benyttes. For mindre bygninger eller enkeltrom kan en vifte plasseres i en åpning i ytterkonstruksjonen eller rommet, som illustrert i figur 5.3. Åpningen rundt viften må tettes helt for å oppnå ønsket effekt. Andre åpninger som normalt skal være lukket på også tettes igjen. Viften må ha stor nok kapasitet til å kunne påføre bygningen et overtrykk på 50Pa (Byggforsk, 2007c). Dette tilsvarer lufttrykket som oppstår når det er frisk bris utendørs på 9 m/s (Boligvurdering, 2010). Når dette overtrykket er oppnådd måles den nødvendige luftmengden som må tilføres for å holde trykket oppe. Den luftmengden som må tilføres ved dette tidspunktet, er det samme som forsvinner gjennom bygningens utettheter. Bygningens eller rommets luftvolum må være beregnet for å finne lekkasjetallet. Lekkasjetallet er et uttrykk for hvor mange ganger bygningens luftvolum skiftes ut per time, ved et overtrykk på 50 Pa (Dalehaug & Thue, 2007).



Figur 5.3: Trykktestmetoden (Byggforsk, 2007c)

Det er i dag ikke klart hvordan tetting av bygningen bør utføres, og det kan være problematisk å vite hvor, og hvor mye tetting som er nødvendig.

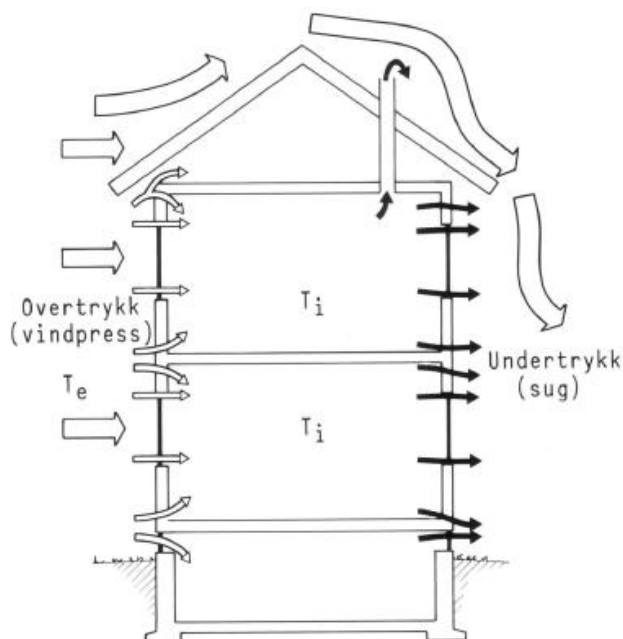
Det vil være problematisk å trykkteste skolen slik den er i dag av mange årsaker:

- Ytterveggventilene bak radiatorene vil medføre lekkasjer under trykktestmetoden, som skal bli tettet når balansert ventilasjon skal installeres.
- Det skal installeres innvendige varevindu, og luftespalter i de opprinnelige utvendige vinduene. Tidspunktet for trykktestingen bør derfor utføres etter av vinduene er montert for å kunne vurdere hva lekkasjetallet er etter de tiltak som uansett skal utføres er gjort
- Trykktestmetoden kunne blitt utført etter at balansert ventilasjon er igangsatt, men da skal allerede de bygningsmessige arbeidene være ferdig utført, så dette vil i så fall være på et for sent tidspunkt, og blir dermed ikke aktuelt
- Dersom trykktestmetoden skal utføres med kun én vifte, vil det trolig ikke bli mulig å øke trykket i bygningen til 50 Pa. Dersom det plasseres flere vifter i åpninger i bygningen, kan dette overtrykket skapes, og bygningens lekkasjetall kan bli kjent.

I kombinasjon med trykktestmetoden kan bygningen termofotograferes, som er en kvalitativ metode hvor lekkasjepunktene blir synlige. Lekkasjepunktene vil avdekke hvor på bygningskroppen tettingen bør gjennomføres. Ved bruk av røykampuller kan også partier med infiltrasjon synliggjøres.

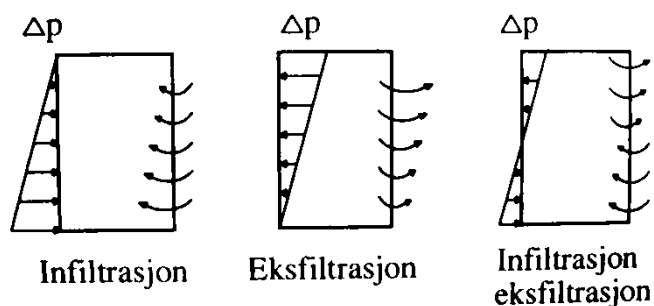
For å redusere skolens varmetap som følge av utettheter i fasaden skal mulighetene for tetting av bygningskroppen undersøkes. Den relative betydningen luftlekkasjen har for bygningens energiøkonomi blir større jo bedre varmeisoleret bygningen er.

Typiske lekkasjepunkter på bygningskroppen er vist på figur 5.4 (Dalehaug & Thue, 2007):



Figur 5.4: Vanlige lekkasjepunkt på bygningskroppen

Bygninger er ofte utette innvendig og kan derfor ofte betraktes som store rom (Rødahl & Novakovic, 2007). Dette kan også antas å gjelde for Ny Krohnborg skole. Som figur 5.5 illustrerer vil infiltrasjonen medføre økt varmebehov i de nederste etasjene, som følge av de termiske oppdriftkreftene. Mens for eksfiltrasjonen vil være størst i de øverste etasjene. Dette påvirker varmefordelingen i bygningen sterkt.



Figur 5.5: Infiltrasjon og eksfiltrasjon i store rom

Bygningens tetthet og infiltrasjonen vil kunne utgjøre en stor tapspost i energibudsjettet (Rødahl & Novakovic, 2007), og er derfor viktig å ta i betraktning ved modellering og simulering av bygningens energibehov.

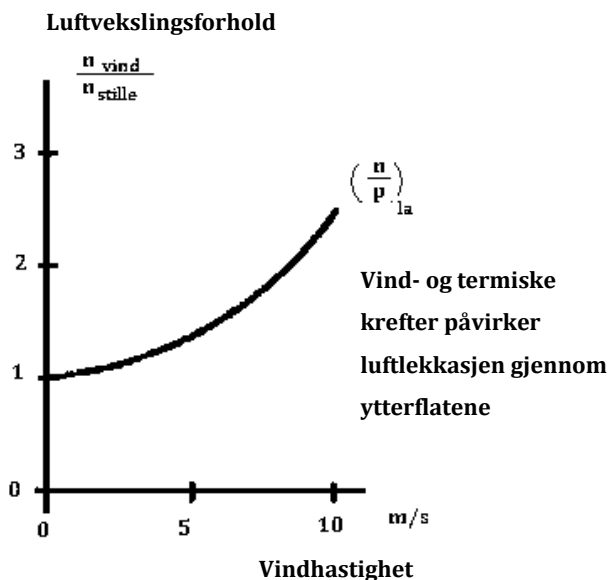
5.6.4 VENTILASJON OG INNVIRKNINGEN AV ULIKE LEKKASJETALL

I dag har skolen avtrekksventilasjon, uten varmegjenvinning. Hele ventilasjonsanlegget skal skiftes ut, og det skal installeres balansert mekanisk ventilasjon med roterende varmegjenvinner som gjenvinner minst 75 % av varmen i avkastluften. Ventilasjonsanlegget skal dimensjoneres etter krav fra Plan og byggeforskriftene, prosjektanviser fra Bergen kommunale bygg og Arbeidsmiljøloven (Rambøll, 2010). I den eksisterende skolebygningen skal det plasseres 4 aggregat, tre på loftet og ett i kjelleren. Til sammen har aggregatene en kapasitet på 66 000 m³/h (personlig kommunikasjon Ole Døsvik i Rambøll Norge AS, 26. mai, 2010).

Det skal benyttes behovsstyrt ventilasjon som styres av CO₂-nivået og temperatur, samt fukt. Ventilasjonsprinsippet er *omrøringsventilasjon*, da dette gir maksimal fleksibilitet i forhold til møblering.

Ved balansert ventilasjon er tillufts- og avtrekksluftmengden omtrent lik. Dersom det tilføres mer luft enn det trekkes av kan det resultere i at rommene vil ha et overtrykk som vil kunne gi økt risiko for fuktskader. Dette vil kunne skje som følge av at temperert, fuktig luft blir presset gjennom ytterkonstruksjonen for så å kondensere i inni veggen. Ved å tilføre mindre luft enn det trekkes av vil dette kunne medføre økt energibehov og trekkproblemer.

Balansert ventilasjon fungerer best dersom bygningskroppen er tett. Dersom lekkasjetallet er høyt vil den balansert ventilasjonen bli sterkt påvirket av vind- og termiske krefter. Spesielt gjelder dette i bygninger hvor luftmengdene i hver etasje er balanserte og det er ingen lekkasjer mellom etasjene, samt at trykket i hver etasje er i balanse med atmosfæretrykket. (Rødahl & Novakovic, 2007) Figur 5.6 illustrerer at vind- og termiske krefter utendørs påvirker luftlekkasjen gjennom bygningskroppen.



Figur 5.6: Forstyrrelser for balansert ventilasjon (Rødahl & Novakovic, 2007)

Ny Krohnborg skole har hatt avtrekksventilasjon hvor frisk luft ble trukket inn gjennom åpne spalter bak radiatorene, som følge av undertrykk i bygget. For at balansert ventilasjon skal fungere optimalt, og for å unngå et ekstra varmetap, må disse ytterveggventilene bak radiatorene tettes godt. Tetting av bygget vil også bedre virkemåten til det balanserte ventilasjonssystemet ved skolen.

Da lekkasjetallet til bygningen er ukjent vil det ikke kunne sies med sikkerhet hvilken effekt innføring av balansert ventilasjon vil gi på energibehovet, da infiltrasjonen vil øke kunne øke ventilasjonsbehovet og redusere effektiviteten til varmegjenvinneren.

5.6.5 OPPVARMING

Skolen har i dag høytemperatur vannbåren varme, med radiatorer plassert under vindu. Rørsystemet er uisolert og har ikke automatisk regulering av varmepådrag. Det er et stort energisparepotensial i å skifte ut hele varmeanlegget ved skolen. Det nye varmeanlegget skal dimensjoneres som et lavtemperatur varmeanlegg for å legge til rette for energifleksibilitet i forhold til valg av energikilder. I tillegg skal systemet være isolert for å unngå varmetap og ha automatisk regulering. Radiatorene vil ha varmetap mot ytterveggen da den har høy U-verdi, så muligheter for å ha radiatorer med materiale med dårlig varmeledning på innersiden mot veggen bør utredes for å redusere dette varmetapet.

5.6.6 SOLSKJERMING

Soltilskudd gjennom vinduene kan gi overtemperatur i rommene, som gir behov for kjøling. For å redusere uønsket varmetilskudd fra solen kan det monteres solskjerming ved vinduene. Ved Ny Krohnborg skole skal fasaden bevares og det blir dermed ikke aktuelt å montere utvendig solskjerming, som vil redusere varmegjennomgangen gjennom vinduene betraktelig bedre i forhold til innvendig solskjerming. Tabell 5.2 viser solfaktoren utvendig og innvendig solskjerming.

Tabell 5.2: Solfaktor for ulike typer solskjerming

Type solskjerming	Aktivisert stilling	Ikke aktivisert stilling
Innvendige persiennner med 28 mm lameller, 2-lags rute med 1 energiglass	0,38	0,51
Utvendige persiennner med 80 mm lameller, 2-lags rute med 1 energiglass	0,06	0,51

5.6.7 BEDRE UTNYTTELSE AV BYGNINGSKROPPEN

Ny Krohnborg skole er en tung konstruksjon, av teglmur, betong og naturstein. Tunge bygninger har relativt høy varmekonduktivitet og betegnes som en treg masse, ettersom varmeovergangen ikke skjer momentant. Tunge og trege bygningsmasser kan utnyttes i forhold til de klimatekniske funksjonene til bygningen, ved at massen kan lagre varme og kjøles ned. For at denne funksjonen skal utnyttes optimalt må det planlegges i samspill med de tekniske installasjonene. Et godt samspill kan medføre et redusert energibehov, i forhold til kun å tenke på de tekniske installasjonene alene.

Varmeenergi kan lagres i konstruksjonen og gradvis overføres til rommene. Det er også mulig å kjøle ned konstruksjonen som natten, for så å oppnå kjøling i løpet av varme sommerdager. Bygningskroppen kan på dermed utnyttes til klimatisering av bygget.

5.7 INNEKLIMA

Kravet til inneklima har endret seg fra 1924. Skolens ventilasjonsanlegg skal dimensjoneres i forhold til bygningens personbelastning, interne laster, fukt og temperaturforhold. Operativ temperatur i oppholdssonene skal så langt det er mulig holdes mellom 19-22 °C, særlig i fyringssesongen.

5.8 SAMLET VURDERING

Ettersom det ikke lar seg gjøre å etterisolere ytterveggene i bygningen, må andre tiltak for å redusere oppvarmingsbehovet vurderes ut i fra lønnsomhet. Enkelte tiltak ville kunne være klart lønnsomme dersom de ble gjort i kombinasjon med etterisolering, men siden det ikke er aktuelt kan det hende effekten av andre tiltak vil overskygges av det store varmetapet gjennom ytterveggen.

Effekten til flere av tiltakene er avhengig av synergien mellom flere ulike faktorer. Blant annet er:

- Kuldebroens relative betydning økende med økende isolasjonstykkelse i konstruksjonen
- Lekkasjetallets relative betydning øker med bedre U-verdier
- Ved å utnytte varmelagringsmulighetene i den tunge konstruksjonen kan dette bidra til å redusere oppvarmingsbehovet og bidra til bedre termisk komfort ved å utnytte konstruksjonen til kjøling.

Videre skal synergien mellom parametrene undersøkes nærmere i simuleringene i kapittel 7, 8, 9 og 10.

5.9 ØKONOMISK BETRAKTNING

I masteroppgaven skal det utføres en økonomisk betraktning ved nødvendig investerings- og driftskostnadene for den verneverdige skolen. Denne betraktningen blir svært overfladisk. Årsaken til at den ikke utføres detaljert er at investeringskostnadene til de ulike tiltakene ikke er kjent. Riktig valg av parameterverdier i den økonomiske analysen er kritisk for at resultatet skal kunne være troverdig. Utilstrekkelig og unøyaktig bakgrunnsmateriale er en hovedårsak til økonomiske feilvurderinger (Hanssen, 2007).

Nåverdimetoden kunne vært brukt til å vurdere lønnsomheten i investeringene. Metoden går enkelt forklart ut på at investeringskostnaden representerer hva tiltaket koster i dag. Investeringen vil kunne gi en årlig besparelse av energikostnadene, regnet i en fast kroneverdi. I tillegg skal den økonomiske levetiden og kalkulasjonsrenter være kjent. (Hanssen, 2007)

6 METODE OG VERKTØY FOR VURDERING AV ENERGIBEHOV OG INNEKLIMA FOR SKOLEN

I dette kapittel presenteres metode og verktøy benyttet for å utføre simuleringer av energibruk og inneklima i bygningen. Sentrale inputdata som er identiske for casene 1,2 og 3 blir presentert i slutten av kapittelet. Case 4 skiller seg spesielt ut med andre inputverdier. De ulike casene som skal simuleres er:

Case 1 - Som bygget i 1924

Case 2 - Tiltak som skal utføres av Rambøll

Case 3 - Mulighetsstudie som skal se på sammenhengen mellom bygningens tetthet, U-verdier og netto energibehov til oppvarming

Case 4 - Som bygget etter dagens krav, gitt i tiltaksmetoden i TEK07.

Det skal utføres til sammen 13 scenario hvor ulike tiltak simuleres, fordelt på de fire casene.

6.1 INNHENTING AV DATA

Data til energiberegningen er hovedsakelig innhentet fra Rambøll. Fasadetegninger, plantegninger og snittegninger gir areal og volumer, hvor NS 3940 - *Areal- og volumberegning av bygninger* er benyttet som veiledning. Bygningen er modellert i bygningsinformasjons (BIM) programmet SOLIBRI, som lager en 3D modell av bygget. Antikvarisk dokumentasjon for bygningen er innhentet fra byantikvaren i Bergen kommune. Den antikvariske rapporten inneholder detaljerte beskrivelser av bygningen, samt verneverdien til ulike deler av bygget. I tillegg er det blitt utført en tilstandsvurdering av bygningen, mottatt fra Rambøll. Der det er usikkerheter angående materialbruk og egenskaper er tilgjengelig informasjon fra Byggforsk benyttet, biblioteket til energimerkeordningen, eller fra arkivet til *Direktorat for samfunnsikkerhet og beredskap* som gjennom sitt oppslagsverk gir tilgang til tidligere byggeregler fra omkring 1924.

6.2 ENERGIBEREGNING ETTER METODE GITT AV NS 3031

Dette kapittelet gir en presentasjon av *NS 3031 – Beregning av bygninger energiytelse, metode og data* og vil vise stegene ved utførelse en energiberegning. Stegene vil ikke bli omtalt i detalj i denne rapporten, og det henvises til standarden i fulltekstversjon.

1. Innhent mest mulig informasjon om bygningen, plassering, bruk, areal og volum
2. Kapittel 4.3 i NS 3031 angir når og hvordan bygningen skal inndeles i soner. Soneinndelingen avhenger av flerfunksjonsbygninger, ulikt soltilskudd, ulike tekniske installasjoner og/eller ulike interne varmetilskudd i forskjellige deler av bygningen
3. Valg av beregningsverktøy. Energiberegninger av skolebygninger skal være månedsstasjonære eller dynamiske.

Standarden inneholder også en sjekklister over sentrale inputdata for beregning av energibehovet (NS 3031, 2007).

6.3 ENERGIBEREGNING AV EKSISTERENDE BYGNINGER

Energiberegninger av eldre, eksisterende bygninger skiller seg fra tilsvarende beregning av nye bygninger ved at flere inputverdier har større usikkerhet i nøyaktighet, på grunn av slitasje, eller fordi materialene kan ha blitt skiftet ut fra de opprinnelige uten at det er blitt registrert.

Dersom det er verdier som ikke er tilgjengelig anbefaler NS 3031 (2007) å hente verdiene fra nasjonale referanser eller standarder.

6.4 BEREGNINGSVERKTØY

Beregningsprogrammet SIMIEN (Simulering av inneklimate og energibruk i bygninger) blir benyttet for simulering av inneklimate og energibruk ved Ny Krohnborg skole. Programmet er utviklet av Programbyggerne, som utvikler teknisk programvare, primært innen energibruk og inneklimate. SIMIEN er bygget opp etter metoden gitt i standarden NS 3031. (Programbyggerne, 2010)

6.4.1 EGNETHET TIL SIMULERING AV EKSISTERENDE BYGNINGER

SIMIEN er benyttet for å utføre dynamiske simuleringer av tilstanden i den modellerte bygningen. Dette kapittelet er blitt til underveis som simuleringene er blitt utført, og er plassert tidlig i rapporten for å gjøre

leseren oppmerksom på styrker og svakheter med programmet før resultatene blir presentert.

- Oppvarmingssystemet i 1924 hadde ingen settpunkt for temperaturen, men kun manuell styring av effektpådraget. I SIMIEN kan ikke riktig driftsstrategi settes, da den tar hensyn til ønsket temperaturnivå slik at effektpådraget varierer. Konstant effektpådrag kan ikke simuleres.
- U-verdiene som settes i SIMIEN behandles som statiske verdier, men i virkeligheten varierer U-verdiene ved temperaturdifferansen mellom innsiden og utsiden av glasset.
- Ved sonedeling blir hver sone adiabatisk, og dette er ikke tilfellet i realiteten. Programmet tar ikke med i betraktning at det er energiflyt mellom sonene.
- SIMIEN tar ikke hensyn til at bygningens lekkasjetall også bedres når ulike tiltak iverksettes. Dette må den prosjekterende fylle inn på egenhånd, og dermed anta det nye lekkasjetallet. Dermed kan resultatet avvike fra virkeligheten.

SIMIEN er ett av programmene som er godkjent energimerking av yrkesbygninger, da det er bygget opp etter retningslinjene i NS 3031. Det er da meningen at programmet skal benyttes til å vurdere tiltak for hvordan bygninger kan spare energi. Dette kan bli tungvint og tidskrevende i SIMIEN da hver enkelt verdi må skiftes ut, og det anbefales derfor at programmet kunne hatt hurtigfunksjoner for å kunne justere flere parametre samtidig i SIMIEN.

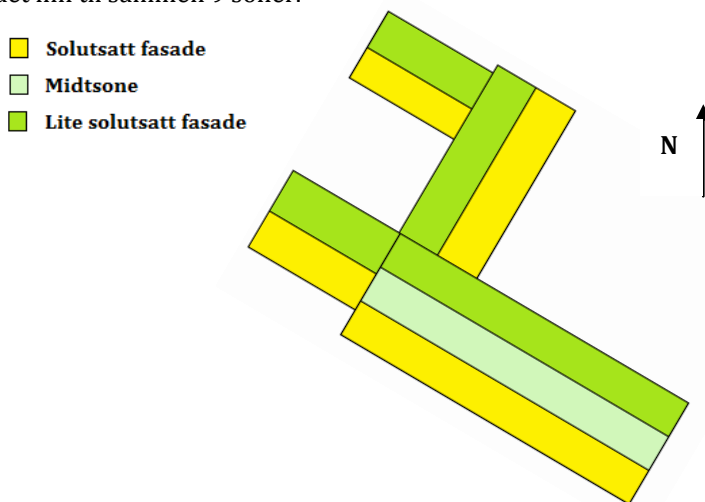
Ved lagring av resultatfilene i SIMIEN blir forrige resultatfil automatisk overlappet, og noen ganger er vilkårlig resultatfil fra SIMIEN i en annen mappe enn den det arbeides i. Dette øker risikoen for å miste tidligere simuleringer som er utført, og kan være svært tidskrevende hvis simuleringer må utføres på nytt. Det anbefales derfor at resultatfilenes mappeplassering må angis på nytt hver gang en simulering skal utføres, samt innføre en "knapp" for å kunne overlappet forrige fil, men det bør ikke kunne skje automatisk.

6.4.2 BYGNINGSKROPPEN - GRUNNMODELL

I SIMIEN vil alle inputverdiene danne en modell av bygningen. Det lages en grunnmodell av bygningskroppen som skal benyttes som grunnlag for de fire ulike casene. Bygningens fasader og vindusareal finnes i vedlegg C. Kjelleren medtas ikke i modellen, da denne er uten oppvarming og har et helt annet bruksmønster enn resten av bygningen. I modellen vil denne bli tatt med som en kald sone som omliggende rom kan bli påvirket av.

6.4.3 BYGNINGSKROPPEN - SONEINDELING

Bygningen deles inne i soner etter regler gitt i NS 3031. Skolen skal soneinndeles etter ulikt soltilskudd, da produktet av arealandelen vinduer, dører og glassfelt, og total solfaktor for vindu og solskjerming overstiger 5 %. Det er utført to beregninger av henholdsvis ingen solskjerming, og svært god solskjerming. Begge tilfellene viste at produktet overstiger 5 %, se vedlegg D.1 Bygningen har to solutsatte fasader, mot sørvest og sørøst. Ifølge NS 3031 skal bygninger med ulikt soltilskudd deles i tre soner, solutsatt fasade, lite solutsatt fasade og en midtsone. I tilfeller med smal bygningskropp, dybde mindre enn 10 meter, kan bygget deles inn i to soner, som vist i figur 6.1. I grunnmodellen legges det inn til sammen 9 soner.



Figur 6.1: Soneinndeling etter soltilskudd

6.4.4 BYGNINGSKROPPEN - SENTRALE INPUTDATA FOR CASE 1,2 OG 3

Sentrale inputverdier som gjelder for case 1,2 og 3 er presentert i tabell 6.1.

Tabell 6.1: Sentrale inputverdier som er lik for case 1,2 og 3

Sentrale inputdata	Verdi	Referanse
Normalisert kuldebroverdi	0,04 W/m ² K	Kapittel 5.6.2
U-verdi yttervegg, hulmur	1,11 W/m ² K	Kapittel 5.2.1
U-verdi yttervegg, naturstein	3,33 W/m ² K	Kapittel 5.2.2

7 SIMULERING AV CASE 1 – OPPRINNELIG BYGNING FRA 1924

Case 1 omhandler Ny Krohnborg skole som planlagt og bygget i 1924. Casen skal være et sammenligningsgrunnlag mot resultatene av de andre casene. For å bedre kunne sammenligne Case 1 med de andre casene utføres det både en simulering for bygningen slik den er antatt å ha vært i 1924, samt en simulering med dagens reelle ventilasjon og temperaturforhold, for at selve bygningskroppen skal kunne sammenlignes.

7.1 SENTRALE VERDIER TIL SIMULERINGEN

Her blir de sentrale inputdataene som skiller seg fra grunnmodellen og de andre casene presenteres.

7.1.1 LEKKASJETALLET

Det er ikke blitt utført lufttetthetsprøver av Ny Krohnborg skole før masteroppgaven ble utarbeidet. Dermed er det usikkerhet til hva som er skolebygningens reelle lekkasjetall. I simuleringen velges det å se på ulike lekkasjetall, for å se hvilke virkning bygningskroppens tetthet har på skolens netto energibehov til oppvarming og inneklime. De ulike lekkasjetallene er hentet fra biblioteket til energimerkesystemet til NVE (Multiconsult, 2009), og er for eldre bygninger oppført før år 1940, vist i tabell 7.1.

Tabell 7.1: Skolebygningens mulige lekkasjetall

Lufttett konstruksjon	Middels tett konstruksjon	Utett konstruksjon
9 h ⁻¹	12 h ⁻¹	15 h ⁻¹

7.1.2 U-VERDIER

Beregning av U-verdier for eldre konstruksjoner innebærer usikkerheter og eventuelle feilvurderinger kan gi store utslag (Thue, 2007a). U-verdiene som brukes i simuleringen er hentet fra nasjonale kilder, slik NS 3031 anbefaler (NS 3031, 2007) eller beregnet ut i fra den informasjonen som har vært tilgjengelig. Det er kun U-verdien for taket på det uisolerte

loftet og de opprinnelige vinduene som skiller seg fra de andre casene. U-verdiene er vist i tabell 7.2.

Tabell 7.2: U-verdier fra 1924

Faktor	U-verdi	Referanse
Tretak tekket med skiferheller	1,15 W/m ² K	(Multiconsult, 2006)
Opprinnelige vinduer, faste	5,8 W/m ² K	Kapittel 5.5.1
Opprinnelige vinduer, hengslete	8,1 W/m ² K	Kapittel 5.5.1

7.1.3 SOLSKJERMING

Det var ingen solskjerming på skolen i 1924, så verdien for solfaktoren er satt til 0,95 W/m²K (Multiconsult, 2009a).

7.1.4 VENTILASJON

Opprinnelig var det hybrid ventilasjon på skolen, drevet av skorsteinseffekten ved vinterforhold, og med bruk av vifter plassert i avkasthettene på taket ved sommerforhold.

Som inputverdi i SIMIEN blir det benyttet avtrekksventilasjon, som er i drift bare deler av året. Dette vil tilsvare naturlig ventilasjon ved vinterforhold, og avtrekksventilasjon ved sommerforhold. Drift av viftene er satt fra mai til september, da de termiske kreftene er mindre ved varmere utendørstemperaturer. Ventilasjonsanlegget ved skolen er ikke i drift i skoleferien, og dette er medtatt i programmet. Ventilasjonsluftmengden er halvparten så lave som dagens krav, men er ikke en sikker verdi. Verdien er bestemt ut i fra biblioteket til energimerkeordningen for skolebygninger, og satt til 6 m³/m²h. Denne verdien kan likevel være noe høy i forhold til hva som var tilfellet, men velges likevel fra energimerkeordningen.

SFP (*Specific Fan Power*)-faktoren for de to viftene som driver strømmingen er også en usikker faktor. Grunnet lave luftmengder i systemet, lave hastigheter og få komponenter blir trykktapet i anlegget lite, men samtidig er typisk virkningsgrad for viftene svært lav, blir den SFP-faktoren satt til 1 kW/m³s på bakgrunn av typiske verdier fra energimerkeordningen. Dette kan også stemme på bakgrunn av verdier fra NS-EN 13799 – *Ventilasjon i yrkesbygninger, ytelseskrav for ventilasjons- og romklimatisering* (Norsk standard, 2007). Systemer med lavt trykkfall har en lav SFP på under 1 kW/m³s, men på grunn av den mest sannsynlig dårlige virkningsgraden til viften fra 1924 økes den til 1 kW/m³s.

Oversikt over sentrale inputverdier for ventilasjonen er gitt i tabell 7.3:

Tabell 7.3: Case 1 - Sentrale inputdata for ventilasjonen

Ventilasjon Vinterforhold	Naturlig ventilasjon ved skorsteinseffekten
Ventilasjon Sommerforhold	Avtrekkventilasjon, 6 m ³ /m ² h
SFP (Specific fan power), sommerforhold	1 kW/m ³ s

7.1.5 TEMPERATURFORHOLD

Oppvarmingssystemet har et konstant effektpådrag, og styres ikke etter en settpunkttemperatur med varierende effekt. Dette tar ikke SIMIEN hensyn til. Temperaturforholdene i skolebygningen er lavere enn dagens krav. Til simuleringen benyttes operativ temperatur på 19 °C i oppvarmingsperioden. Operativ temperatur holdes nede ved sommerforhold med vinduslufting i friminuttene, og dette er medtatt i beregningen.

7.1.6 DEN ELDRE BYGNINGSKROPPEN MED DAGENS KRAV TIL VENTILASJON OG TEMPERATURFORHOLD

Det utføres også en simulering med ventilasjon og temperaturforhold etter dagens krav. Luftmengder etter dagens krav presenteres i kapittel 8. Temperaturforholdene i bygningen skal holdes til operativ temperatur 21 °C i driftstiden, og 19 °C utenfor driftstiden.

7.2 RESULTATER

Simuleringens hovedresultater presenteres her, mens utfyllende resultater er i vedlegg F. Følgende resultater blir presentert her:

- Lekkasjetallets innvirkning på energibehovet og varmetapstallet
- Energiforbruket og varmetapstallet dersom bygningen fra 1924 hadde dagens krav til ventilasjon og temperaturforhold
- Beregnet levert energi
- Maksimums- og minimumstemperaturer for vinter- og sommerforhold
- Resulterende CO₂-nivå

Scenarioene som presenteres i resultatet er:

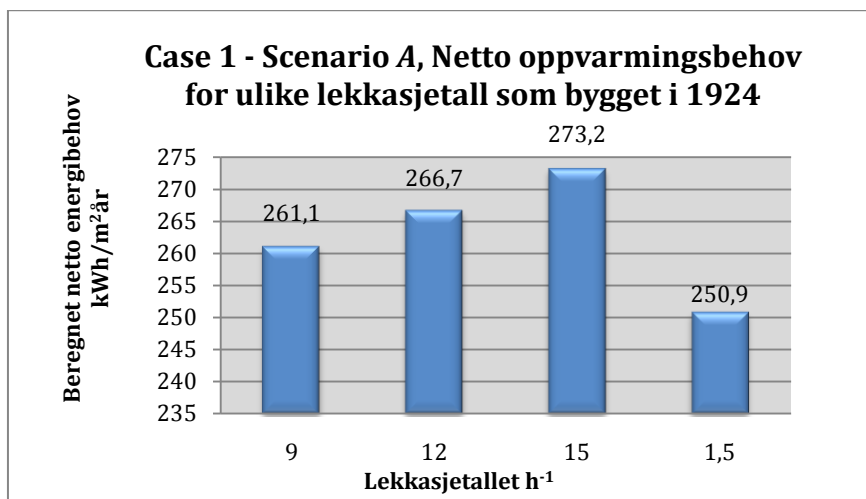
Scenario A: Case 1 – som bygget i 1924

Scenario B: Case 1 – som bygget i 1924 med dagens krav til ventilasjon og temperaturforhold

Resultatene blir diskutert i kapittel 11.

7.2.1 ENERGIBEHOVET - LEKKASJETALLETS INNVIRKNING

Resulterende netto oppvarmingsbehov til oppvarming for scenario A, med ulike lekkasjetall er vist i figur 7.1. Til sammenligning presenteres energibehovet til bygningen, dersom den hadde hatt dagens krav til tetthet, som er $1,5 \text{ h}^{-1}$ for bygninger over 2 etasjer, i diagrammet.

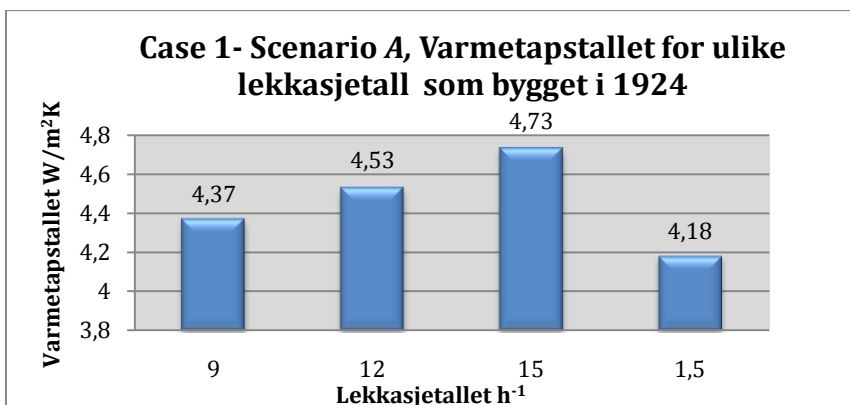


Figur 7.1: Case 1- Netto oppvarmingsbehov for ulike lekkasjetall

Resultatet viser at 10 ganger bedre lekkasjetall gir i dette tilfellet ca. 8 % lavere energibehov. Lekkasjetallet har altså innvirkning på energibehovet, men ikke i svært stor grad.

Skolens netto oppvarmingsbehov ligger mellom ca. 260-273 $\text{kWh/m}^2\text{år}$. Dette gjelder kun til romoppvarming, da det ikke er varmebatterier i ventilasjonssystemet.

Figur 7.2 viser bygningens resulterende varmetapstall for ulike lekkasjetall.

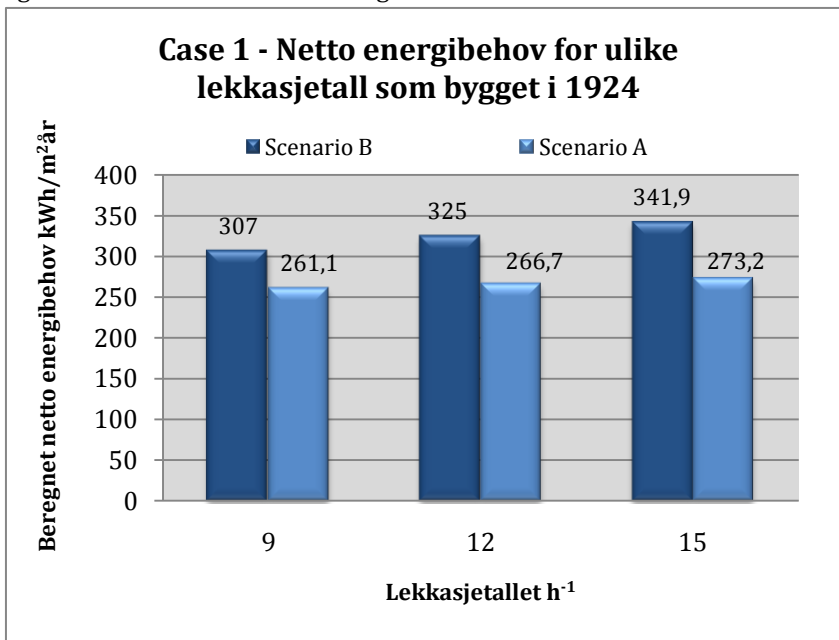


Figur 7.2: Case 1 - Varmetapstallet for ulike lekkasjetall

Resultatet viser at 10 ganger bedre lekkasjetall gir i dette tilfellet ca. 12 % lavere varmetapstall.

7.2.2 ENERGI BEHOVET - DAGENS KRAV TIL VENTILASJON OG TEMPERATURFORHOLD

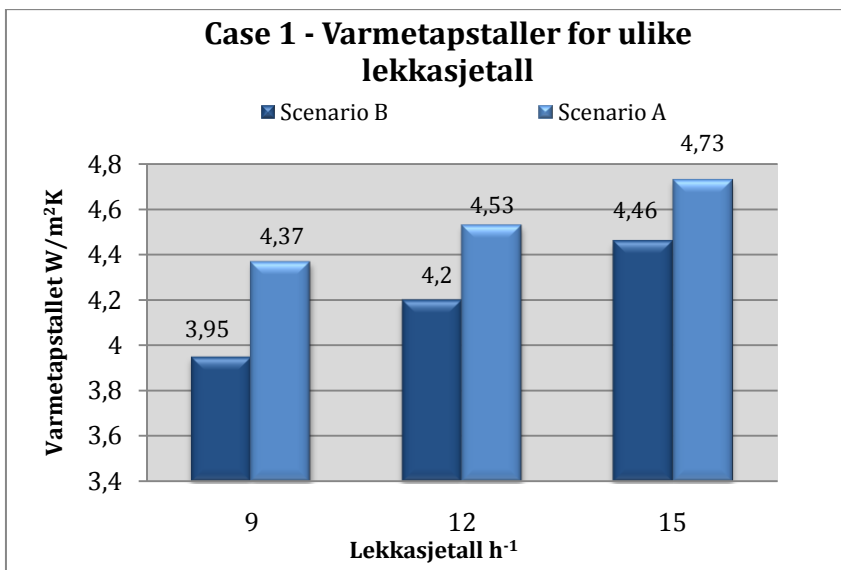
For scenario B øker netto oppvarmingsbehov til følgende verdier vist i figur 7.3. Verdiene sammenlignes med resultatet for scenario A.



Figur 7.3: Case 1 - Netto energibehov for ulike lekkasjetall med dagens krav til ventilasjon og temperaturforhold

Oppvarmingsbehovet har økt betraktelig i forhold til resultatet fra scenario A. Økningen skyldes det økte temperaturkravet og varmebatterier som er installert i ventilasjonsaggregatene for å varme luften fra utetemperatur til settpunktstemperaturen til tilluften.

Figur 7.4 viser at varmetapstallet reduseres ved å innføre dagens krav til ventilasjon og temperaturforhold i simuleringen, i forhold til slik det antas å ha vært i 1924.



Figur 7.4: Case 1 - Sammenligning mellom varmetapstallet

Figur 8.3 og 8.4 viser altså at energibehovet øker, mens varmetapstallet reduseres fra scenario A til B.

Varmetapsbudsjettet, vist i vedlegg F.1.3, viser stor forandring i prosentvis fordeling av varmetapet til infiltrasjon og ventilasjon. I resultatet til scenario A kunne ventilasjonen tilskrives 37 % av varmetapet til bygningen, mens for scenario B kan kun 15 % tilskrives ventilasjonen. For infiltrasjonen var det nærmest motsatt med henholdsvis 4 % og 19 %. Denne prosentvise økningen kan forklares i at den prosentvise fordelingen av varmetapet endres ettersom ventilasjonstapet er mindre, og dermed vil infiltrasjonen utgjøre en enda større andel av bygningens totalt varmetap, siden de andre tapspostene er konstante.

Det totale varmetapstallet reduseres, og denne reduksjonen kan tilskrives overgangen fra hybrid til mekanisk balansert ventilasjon. Størrelsen til

ventilasjonstapet reduseres med 63 %. Størrelsen på infiltrasjonstapet øker med omkring 300 %.

7.2.3 ENERGI BEHOVET - BEREGNET LEVERT ENERGI

Det er uvisst hvilke energikilder som ble benyttet, fordelingen mellom grunnlast og topplast, samt systemvirkningsgradene, så resultatet for beregnet levert energi er en svært usikkert. For scenario A med lekkasjetallet 9 h^{-1} blir beregnet levert energibehov $583 \text{ kWh/m}^2\text{år}$, basert på kun elektrisk energi. Resultatet er vist i vedlegg F.1.3 Dette dekker netto energibehovet til alle energipostene.

7.2.4 INNEKLIMA - MINIMUMS- OG MAKSIMUMSTEMPERATUR I DRIFTSTIDEN

Resultatene presentert her gjelder kun for simuleringene av scenario A, med lekkasjetall 9 h^{-1} .

Ved vinterforhold med en dimensjonerende utetemperatur (DUT) i Bergen på $-11,5 \text{ °C}$ viser tabell 8.4 minimum operative temperatur i driftstiden for de ulike lekkasjetallene. Operative temperatur er lavest ved starten av skoledagen og det er kaldest i sonene uten soltilskudd, vist i vedlegg F.1.4.

Maksimumstemperaturen er også vist i tabell 7.4. Den høye temperaturen skyldes hovedsakelig varmetilskudd fra solen ved sommerforhold, vist i vedlegg F.1.4.

Tabell 7.4: Case 1 - Minimum og maksimum operative temperaturer i driftstiden

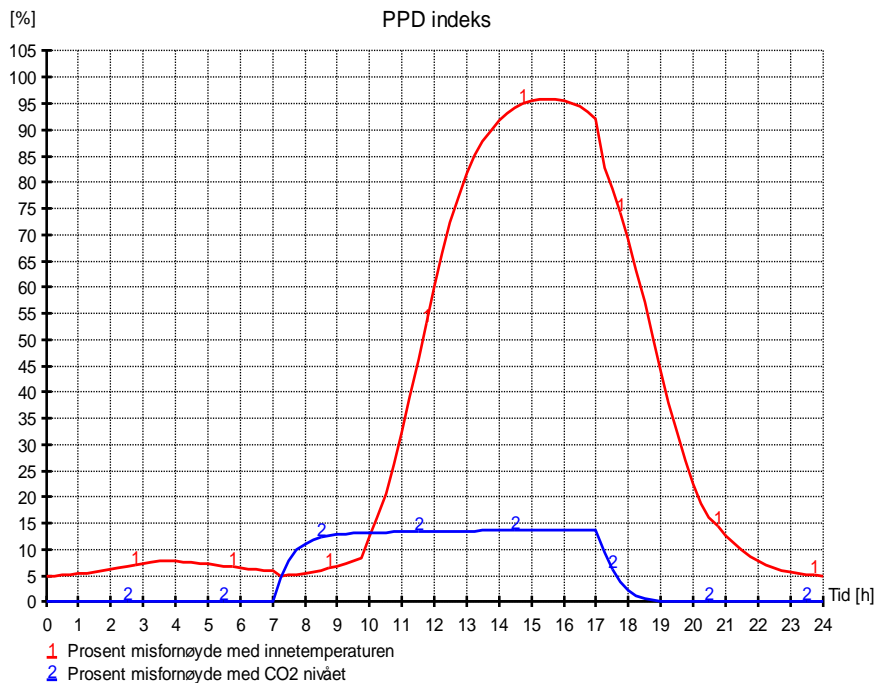
Lekkasjetallet	9 h^{-1}	12 h^{-1}	15 h^{-1}
Minimum	$-3,2 \text{ °C}$	$-3,4 \text{ °C}$	$-3,6 \text{ °C}$
Maksimum	33 °C	$32,8 \text{ °C}$	$32,6 \text{ °C}$

7.2.5 INNEKLIMA - CO₂-NIVÅ OG FORVENTET PROSENTANDEL MISFORNØYDE I FORHOLD TIL DAGENS KRAV TIL KOMFORT

Resultatene presentert her gjelder kun for simuleringene av scenario A, med lekkasjetall 9 h^{-1} .

CO₂- nivået ved vinterforhold er 1385 ppm . Dette ligger over den anbefalte grensen på 1000 ppm . Som følge av simuleringen i SIMIEN kan det dermed vurderes slik at skorsteinseffekten ikke gir tilstrekkelig ventilasjon ved vinterforhold, ut i fra dagens krav til luftkvalitet. Ved sommerforhold er nivået akseptabelt og under 800 ppm .

Forventet prosentandel misfornøyde med det termiske miljøet og CO₂-nivået (PPD) ved sommerforhold er vist i grafen i figur 7.5. Diagrammet er tilnærmet lik for alle lekkasjetallene. Svært mange er misfornøyd med temperaturen ved varme sommerforhold, grunnet høye temperaturer.



Figur 7.5: Forventet prosentandel misfornøyde, ved 9 h⁻¹

For vinterforhold og naturlig ventilasjon kan det forventes at 100 % av brukerne vil være misfornøyd med temperaturforholdene. Dette er illustrert i vedlegg F.1.5.

8 SIMULERING AV CASE 2 – TILTAK SOM SKAL UTFØRES AV RAMBØLL

Case 2 baserer seg på tiltak Rambøll skal utføre. Simuleringene skal vise forventet virkning av tiltakene. Tiltakene er valgt etter byggherrens ønsker, økonomiske begrensninger og rådgivning fra Rambøll Norge AS.

8.1 SENTRALE VERDIER TIL SIMULERINGEN

Her blir sentrale inputdata som skiller seg fra grunnmodellen og de andre casene presenteres.

8.1.1 TETTING AV BYGNINGEN

Bygningskroppen til Ny Krohnborg skole skal tettes innenfra for å hindre varmetap som følge av eksfiltrasjon og infiltrasjon. Tetting av bygningen vil redusere bygningens lekkasjetall. Effekten av tettingen kan vises ved tetthetsprøver og termografering, som er beskrevet i kapittel 5.6.2 og 5.6.3. Ettersom det resulterende lekkasjetallet etter tettingen av Ny Krohnborg skole ikke vil være kjent innen denne masteroppgaven er ferdig, blir det utført simuleringer av ulike lekkasjetall som representerer typiske lekkasjetall fra biblioteket til energimerkeordningen (Multiconsult, 2009a). Bestemmelsen av verdiene er gjort ut i fra antagelsen om at tettingen av bygningskroppen vil utbedre bygningens lekkasjetall til å tilsvare typiske verdier for andre byggeår, som er vist i tabell 8.1.

Tabell 8.1: Case 2-Lekkasjetall (Multiconsult, 2009)

Middelstett konstruksjon, 1941-1960	Middelstett konstruksjon, 1961-1975	Middelstett konstruksjon, 1975-1988	Dagens krav
8 h ⁻¹	5,5 h ⁻¹	3,5 h ⁻¹	1,5 h ⁻¹

8.1.2 U-VERDI – VINDUER

Alle de originale vinduene på fasaden mot nordøst skal bevares, og varevinduer skal monteres for å redusere varmetapet. Nye varmeisolerende vinduer skal plasseres innvendig i vinduskarmen til de eksisterende, som varevindu. Det blir sett på to ulike typer varevindu, for å finne ut om varevinduets U-verdi vil ha stor innvirkning på bygningens varmetap når den omsluttende ytterveggen U-verdi ikke skal forandres.

Samtidig er bygningskroppens U-verdier svært lave i forhold til dagens krav, vist i vedlegg E.

På resten av skolens fasader skal de eksisterende vinduene skiftes ut. Det skal benyttes 2-lags glass med argongass og lavemisjonsbelegg, med isolert trekarm med varmkant, hentet fra databasen til SIMIEN. Ettersom U-verdien til vinduet, inkludert karm/ramme, varierer som følge av arealforholdet vil også U-verdien til de nye vinduene variere. U-verdiene for vinduene inkludert karm/ramme er vist i tabell 8.2:

Tabell 8.2: Case 2 - U-verdier for vinduer

Type vindu	U-verdi	Referanse
Eksisterende 1-lags glass og trekarm med innvendig varevindu av 2-lags glass med luft i hulrommet, med stålkarm	2,2 W/m ² K	Kapittel 5.5.2
Eksisterende 1-lags glass og trekarm med innvendig varevindu med 2-lags isolerglass med argongass i hulrommet	1,5 W/m ² K	Kapittel 5.5.2
Nye vinduer, 2-lags glass, med argongass i hulrommet og lavemisjonsbelegg, med isolert trekarm og varmkant	1,09 - 1,18 W/m ² K	Database i SIMIEN

8.1.3 SOLSKJERMING

Da det ikke er tillatt med utvendige solskjerming, fordi fasaden ikke skal forandre utseende, velges det å montere innvendige lyse persiener med 28 mm lameller på alle vinduene. Solfaktor for vindu og skjerming er:

- Aktivisert stilling - 0,38
- Ikke aktivisert stilling - 0,51

8.1.4 U-VERDI - ETTERISOLERING AV LOFTET

Det skal her bli sett på virkningen av å etterisolere loftet. Dette tiltaket skal iverksettes dersom resultatet av simuleringer viser at det vil gi en relativt stor reduksjon i energibehovet.

I simuleringen vil inputverdien som følge av etterisolering av det kalde loftet, være gitt i form av at temperaturforholdene på loftet endres. Dette påvirker varmeoverføringen til grensende rom med oppvarmingsbehov. Hvilken metode som skal benyttes for etterisolering av dette området blir ikke fastsatt i masteroppgaven.

I den delen av loftet som har oppvarmingsbehov blir taket etterisolert. Taket skal utbedres til en U-verdi på $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$, som tilsvarer minstekravet gitt i TEK 07.

8.1.5 VENTILASJON

Skolen skal ha mekanisk balansert ventilasjon. Systemet skal ha variable luftmengder, og styres etter CO_2 -nivået og temperaturen i rommet. Luftmengdene er funnet ut i fra opplysninger fra Rambøll, og er beregnet etter personbelastning 7 l/s/person og materialbelastning 2 l/s/m^2 .

Maksimal luftmengdene blir da:

- I driftstiden - $11,9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$
- Utenom driftstiden - $7,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

Det gjøres oppmerksom på at disse luftmengdene er mindre enn anbefalingen i NS 3031, som angir maksimums- og minimumsluftmengder på 16 og $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ i driftstiden, og $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ utenfor driftstid. Luftmengdene i simuleringen ble benyttet ut i fra informasjon som var tilgjengelig om de totale luftmengdene til bygningen, da simuleringene ble utført. De totale luftmengdene ble så dividert på byggets BRA. I ettertid har undertegnede blitt gjort oppmerksom på at bygningen skal forsynes med mer luft enn først angitt. På grunn av tidsbegrensning ble ikke simuleringene gjentatt med de nye reelle luftmengdene. Dette vil gi utslag i forhold til energibehovet og inneklimate i bygningen. Ettersom svært mange verdier er usikre i denne oppgaven, og at en av hovedhensiktene med oppgaven er å se virkningen av ulike tiltak og finne sammenhenger mellom faktorer, vil ikke dette gi et stort utslag i forhold til masteroppgavens hensikt.

8.2 RESULTATER

Simuleringens hovedresultater presenteres her, mens utfyllende resultater finnes i vedlegg F. Følgende resultater presenteres her:

- Virkningen av bedre U-verdier for varevindue
- Virkningen av å etterisolere loftet
- Lekkasjetallets innvirkning på netto energibehov og varmetapstallet
- Beregnet levert energi
- Minimums- og maksimumstemperaturer for vinter- og sommerforhold
- Resulterende CO_2 -nivå

Det blir antatt at tettingen av bygningskroppen har resultert i et bedret lekkasjetall på $5,5 \text{ h}^{-1}$, men de andre lekkasjetallene simuleres også da dette er en usikker verdi.

Scenarioene som presenteres i resultatet er:

Scenario C: Varevinduer med U-verdi $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Scenario D: Varevinduer med U-verdi $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ og etterisolert loft og tak med U-verdi $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

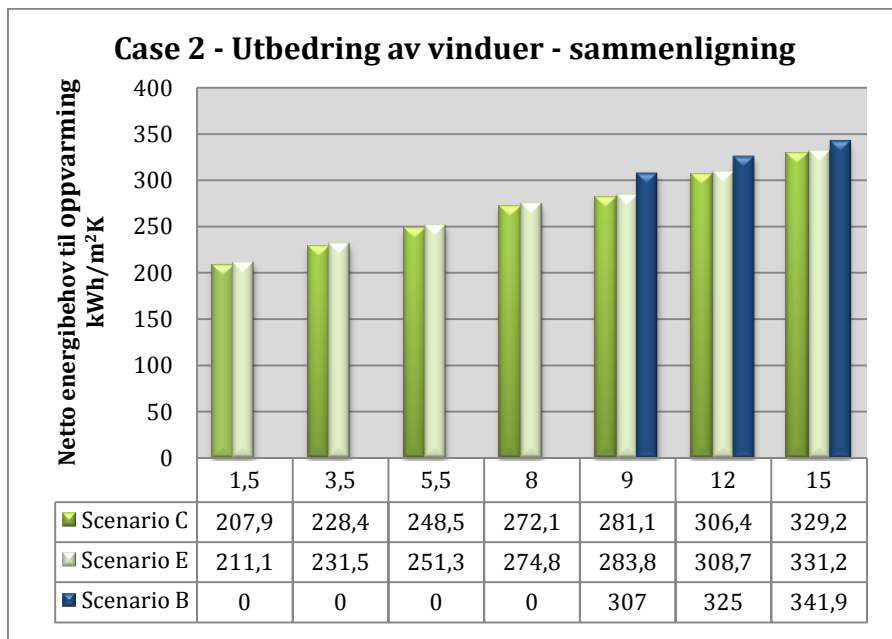
Scenario E: Varevinduer med U-verdi $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Scenario F: Varevinduer med U-verdi $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ og etterisolert loft og tak med U-verdi $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

Resultatene blir diskutert i kapittel 11.

8.2.1 ENERGIBEHOVET – ULIKE VAREVINDU

Figur 8.1 viser virkningen av å montere varevindu innenfor de opprinnelige verneverdige vinduene, og sammenligner resultatet med scenario B. Figuren viser også virkningen av å bedre varevinduene fra $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ til $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, for scenario C og E.



Figur 8.1: Case 2 – Virkningen av varevinduer og sammenligning mellom to typer varevindu

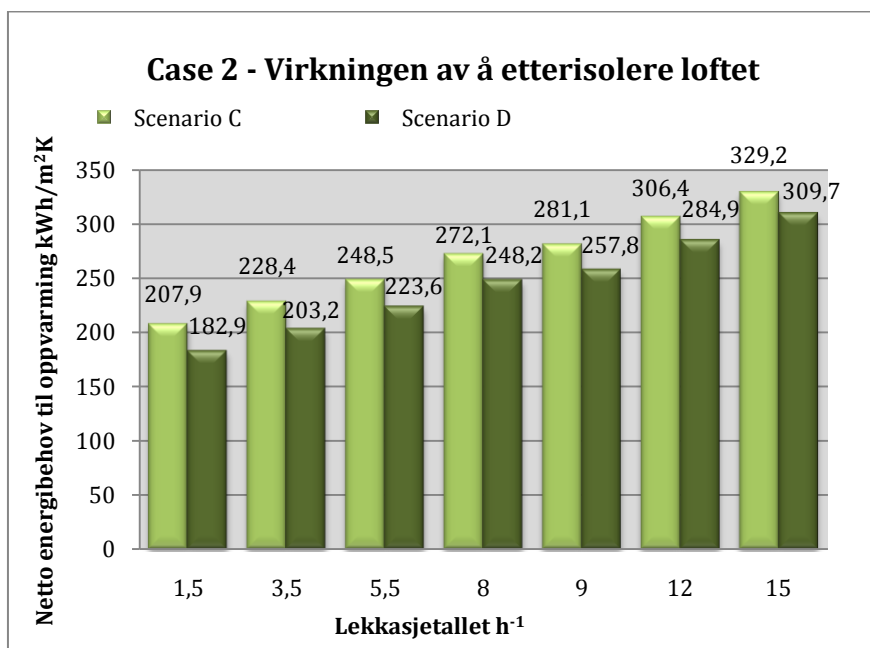
Figur 8.1 viser liten virkning på netto oppvarmingsbehov ved at det monteres varevindu, dersom lekkasjetallet ikke samtidig endres. Ved å

montere varevindu, med god tetting rundt karmene, vil bygningens lekkasjetall kunne reduseres. Men det antas at de ikke reduseres betraktelig da de opprinnelige trekarmene er av god kvalitet. Dermed vil virkningen av varevindue kunne antas å bli 11,3 % dersom det for eksempel monteres varevindu med U-verdi 1,5 W/m²K som bedrer lekkasjetallet fra 9 h⁻¹ til 8 h⁻¹. Virkningen avhenger noe av bygningens lekkasjetall før og etter tiltaket. Figuren viser at det ikke gir en stor virkning på netto energibehov med bedre vinduer, fra U-verdi 2,2 W/m²K til 1,5 W/m²K, for henholdsvis scenario *E* og *C*.

Virkningen av å bedre U-verdiene til varevindue skal også vurderes i scenario *D* og *F*, hvor loftet skal etterisolereres, og bygningskroppens transmisjonstap dermed reduseres.

8.2.2 ENERGI BEHOVET - ETTERISOLERER LOFTET

Figur 8.2 viser forandringen i netto oppvarmingsbehov ved å etterisolere loftet, scenario *D*.



Figur 8.2: Case 2 - Effekten av å etterisolere loftet på netto energibehov

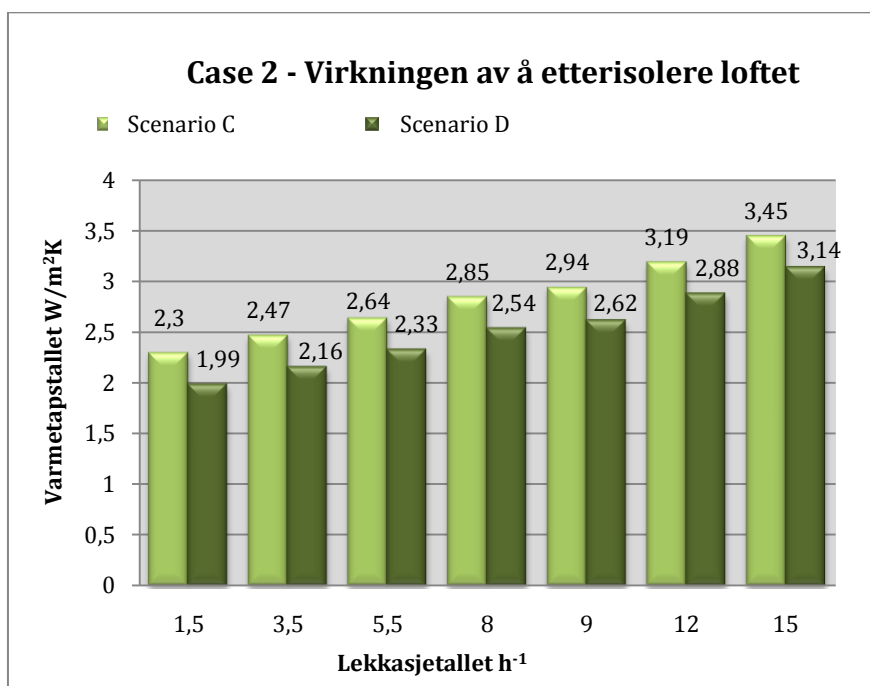
Resultater fra simuleringen viser av virkningen av å etterisolere loftet øker med bygningens tetthet. Virkningen av å etterisolere loftet vil gi en reduksjon i lekkasjetallet, da luftlekkasjene gjennom loftet og taket vil reduseres. Ved å etterisolere loftet, samt montere varevindu med U-verdi på 1,5 W/m²K kan lekkasjetallet antas å bli redusert fra 9 h⁻¹ til 5,5 h⁻¹.

Dette vil gi en reduksjon i netto energibehov på 20 %. Dersom lekkasjetallet reduseres fra 8 h^{-1} til $3,5 \text{ h}^{-1}$ vil energibehovet reduseres med 25 %, dersom etterisolering av loftet reduserer lekkasjetallet ytterligere.

I forhold til scenario B, i Case 1, blir netto energibehov til oppvarming redusert med 27 %, ved en reduksjon fra 9 h^{-1} til $5,5 \text{ h}^{-1}$.

Ved å etterisolere loftet vil virkningen av å bedre vevinduene fortsatt utgjøre en svært liten reduksjon i netto energibehov, vist diagram i vedlegg F.2.2.

Figur 8.3 viser forandringen i varmetapstallet ved å etterisolere loftet, scenario D.

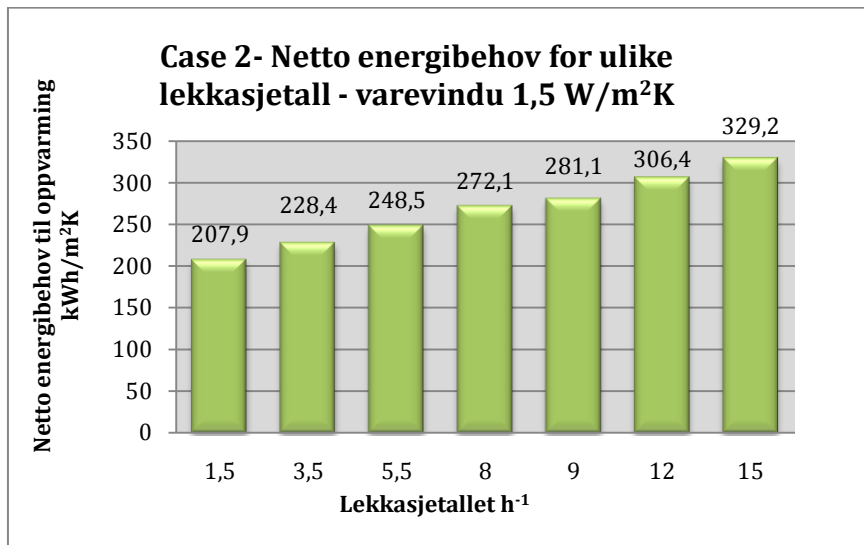


Figur 8.3: Case 2 - Effekten på av å etterisolere loftet for bygningens varmetapstall

For et lekkasjetall på $1,5 \text{ h}^{-1}$ reduseres varmetapstallet med 13,4 %, og til sammenligning reduseres varmetapstallet med 9 % for et lekkasjetall på 15 h^{-1} . Det antas også her at lekkasjetallet reduseres fra 9 h^{-1} til $5,5 \text{ h}^{-1}$, og dette gir en reduksjon på 20,7 %. Dersom lekkasjetallet reduseres fra 8 h^{-1} til $3,5 \text{ h}^{-1}$ vil energibehovet reduseres med 24 %. Dette vil tilnærmet tilsvare samme reduksjon som for netto energibehov.

8.2.3 ENERGIBEHOVET – LEKKASJETALLETS INNVIRKNING

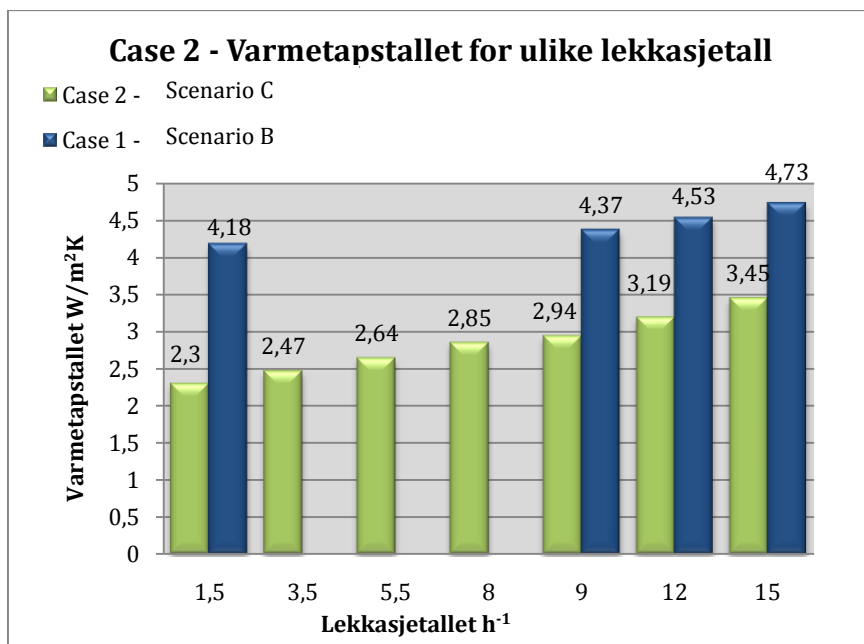
Bygningens netto energibehov til oppvarming er simulert for flere lekkasjetall, da bygningens faktiske verdi er ukjent. Figur 8.4 viser netto energibehov ved scenario C, for ulike lekkasjetall.



Figur 8.4: Case 2 - Lekkasjetallets innvirkning på energibehovet

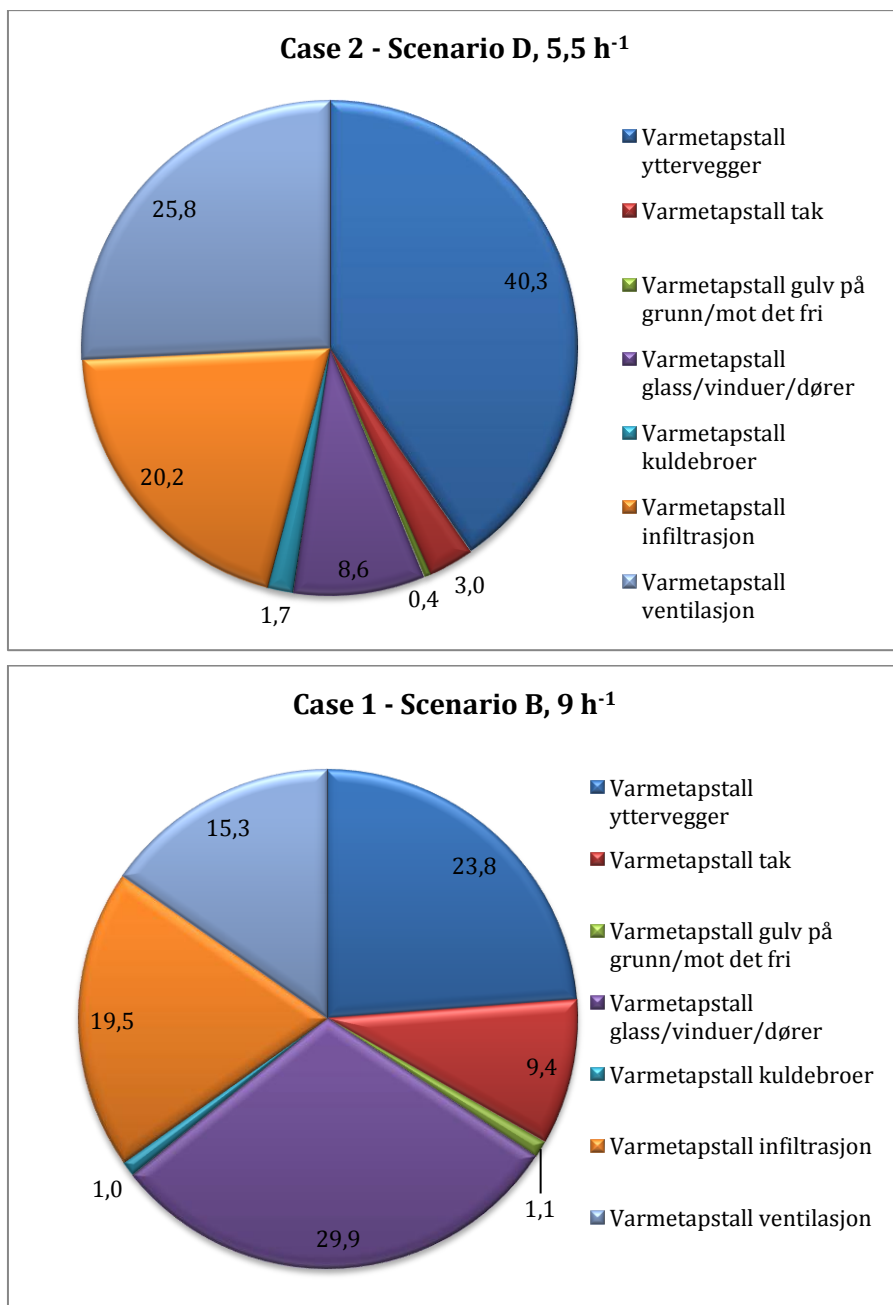
Energibehovet varierer fra omkring 208 - 330 kWh/m² for henholdsvis en tett til en meget uttett konstruksjon. Dette tilsvarer en dobling (58 %) av oppvarmingsbehovet for en meget uttett konstruksjon i forhold til en tett. Det antas at tetting vil redusere lekkasjetallet fra 9 h⁻¹ (verdi for en tett konstruksjon bygget etter 1940-tallet) til 5,5 h⁻¹ og dette vil resultere i en reduksjon på omkring 11 %.

Figur 8.5 viser at bygningens varmetapstall blir mindre med tetthetsgraden til bygningen. Varmetapstallet til Case 1 er ikke beregnet for lekkasjetallet 3,5 h⁻¹, 5,5 h⁻¹ og 8 h⁻¹, og er derfor ikke med i sammenligningen. Reduksjonen i varmetapstallet skyldes at det i Case 2 er betydelig bedre vinduer, samt mekaniske balansert ventilasjon, istedenfor hybrid ventilasjon, som i Case 1. Virkningen av tiltaket minket med økende lekkasjetall.



Figur 8.5: Case 2 - Varmetapstallet - tiltakenes betydning ved ulike lekkasjetall

Fordelingen av bygningens varmetap er vist i figur 8.6. Her sammenlignes case 1 og case 2 for lekkasjetallet henholdsvis $9 h^{-1}$ og $5,5 h^{-1}$. Varmetapstallene diagrammet er basert på er vist i vedlegg F.2.4.



Figur 8.6: Sammenligning av varmetap for case 1 og case 2 med lekkasjetall på henholdsvis 9 h⁻¹ og 5,5 h⁻¹.

Den største forskjellen i varmetapsfordelingen tilskrives de utbedrede U-verdiene til vinduene og dørene som reduserer bygningens totale

varmetap fra 29,9 % til 8,6 %. Varmetapet som følge av infiltrasjonen er tilnærmet likt i de to tilfellene. Prosentandel ventilasjonstap reduseres fra omkring 30 % til 26 % når hybrid er skiftet ut med balansert ventilasjon.

Varmetapene forteller ikke spesifikk størrelse på energien som tapes i de ulike postene, men størrelsene i forhold til hverandre.

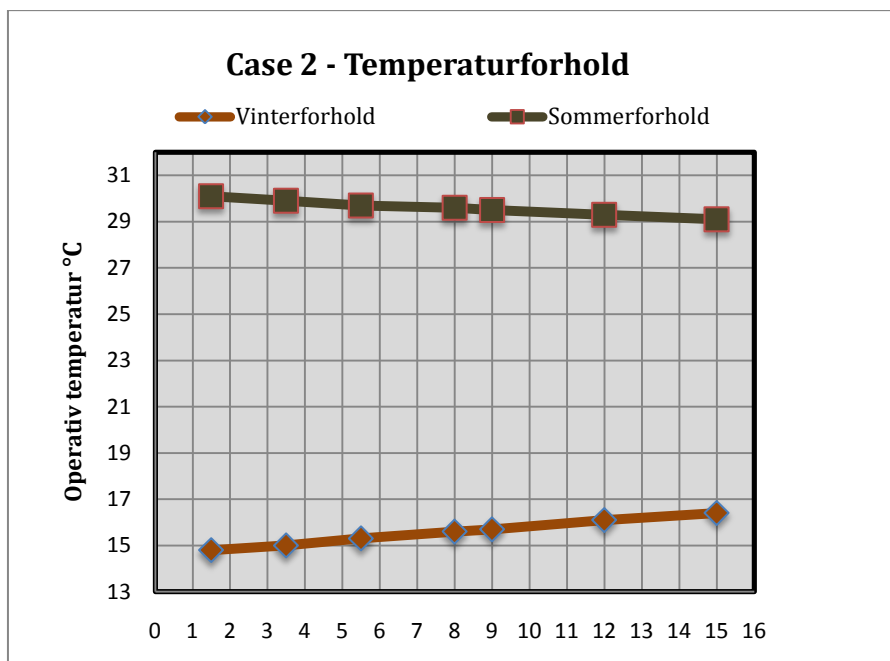
8.2.4 ENERGIBEHOVET – BEREGNET LEVERT ENERGI

Beregnet levert energi er en usikker verdi da fordelingen av topplast og spisslast, samt systemenes virkningsgrader ikke er kjent. Ut i fra de antagelser som er tatt blir resultatet for scenario D og lekkasjetall på $5,5 \text{ h}^{-1}$, et beregnet levert energibehov til oppvarming på $329 \text{ kWh/m}^2\text{år}$, basert på kun fjernvarme. I tillegg kommer elektrisitetsbehovet til elektrisitetsavhengige formål i bygningen som belysning, pumper, vifter og annet. Tilsvarende for scenario C gir levert energibehov på $357 \text{ kWh/m}^2\text{år}$.

8.2.5 INNEKLIMA - MINIMUMS- OG MAKSIMUMSTEMPERATUR I DRIFTSTIDEN

Resultatet som presenteres er for scenario D, med lekkasjetall $5,5 \text{ h}^{-1}$.

Figur 8.7 viser temperaturforholdene ved vinter- og sommerforhold. Grafen viser at temperaturen synker ved sommerforhold for høyere lekkasjetall, mens den øker ved vinterforhold. Denne økningen ved vinterforhold skyldes at varmeanlegget er simulert uten effektbegrensning for å kunne angi nødvendig maksimal effekt på anlegget. Dersom varmeanlegget hadde effektbegrensning ville vintertemperaturen også blitt redusert for høyere lekkasjetall.



Figur 8.7: Case 2 – Minimum operative temperatur for ulike lekkasjetall

Solinnstråling står for det største varmetilskuddet, med hele 75 kW, vist i vedlegg H.2.3. Varmetilskuddet fra internlast er på 10 kW.

For å kunne oppnå minimum operative temperatur fra 15-17 °C i skolen gir SIMIEN resulterende dimensjonerende maksimal effekt for radiatorsystemet, vist i tabell 8.3.

Tabell 8.3: Nødvendig maksimal effekt for varmeanlegget

Dimensjonerende effekt for radiatorsystemet W/m ²						
1,5 h ⁻¹	3,5 h ⁻¹	5,5 h ⁻¹	8 h ⁻¹	9 h ⁻¹	12 h ⁻¹	15 h ⁻¹
54,4	60,5	67,3	76	79,4	89,7	100

Dersom radiatorsystemet i bygningen har en maksimal effekt på 50 W/m²K, som er en vanlig dimensjoneringsverdi for nyere bygninger, kan det risikere at operative temperatur i skolen blir for lav ved DUT -11,5 °C, i forhold til anbefalingen til TEK07.

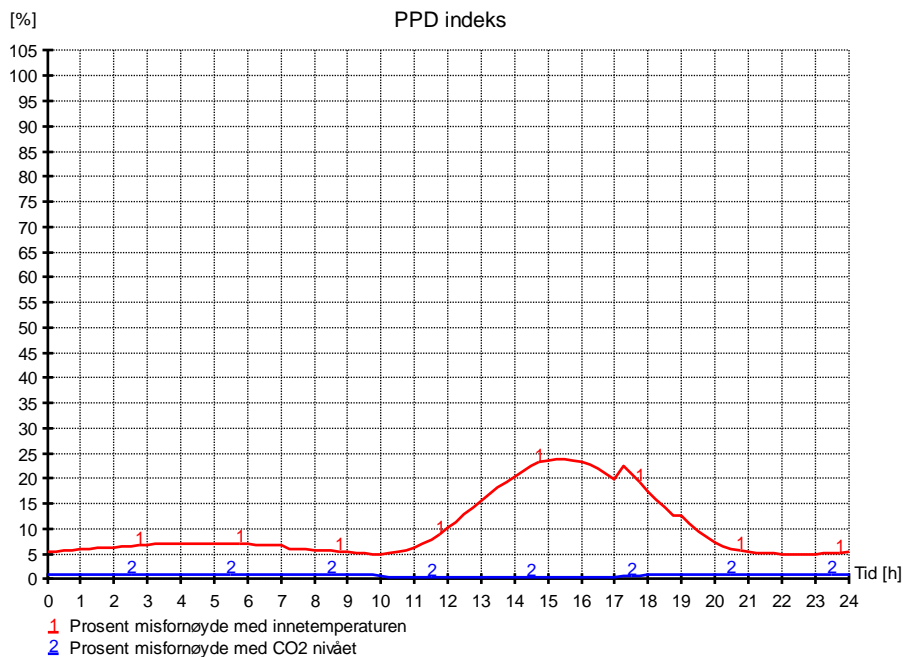
8.2.6 INNEKLIMA - CO₂-NIVÅ OG FORVENTET PROSENTANDEL MISFORNØYDE I FORHOLD TIL DAGENS KRAV VENTILASJON OG TEMPERATURFORHOLD

Resultatet som presenteres er for D, med lekkasjetall 5,5 h⁻¹.

Resultatet viser akseptable CO₂- nivå på under 420 ppm.

Ved sommerforhold blir de høyeste temperaturene i midtsonen av bygningen., dette er ikke korrekte temperaturer. Det må påpekes at simuleringene ikke blir riktige da hver sone blir regnet som adiabatisk, og det er ikke tilfellet i realiteten. Midtsonen i bygget er åpen ut mot både solutsatt og lite solutsatt sone, og temperaturforholdene vil derfor være noe lavere enn det simuleringen angir.

Figur 8.8 angir prosentandelen som kan antas å være misfornøyd med innnetemperaturen og CO₂-nivået i luften for en solutsatt sone. Vedlegg F.2.7 viser tilsvarende for vinterforhold.



Figur 8.8: PPD i forhold til innnetemperaturen og CO₂-nivået i luften

Omkring 25 % av brukerne kan forventes å være misfornøyd med innnetemperaturen. Tilsammenligning kan omkring 50 % av brukerne forventes å være misfornøyd med lekkasjetallet 9 h^{-1} , illustrert i vedlegg F.2.7. Figuren viser svært god forbedring i forhold til temperaturforholdene til case 1, i kapittel 7.2.4, hvor andel misfornøyde kom opp i nesten 100 %.

9 SIMULERING AV CASE 3 – MULIGHETSSTUDIE

Case 3 er et mulighetsstudium som ikke tar hensyn til de økonomiske rammene for prosjektet. Målet med denne casen er å analysere sammenhengen mellom lekkasjetallet, bygningens varmetapstall og netto energibehov til oppvarming. Enkelte av tiltakene unnviker kravene som byantikvaren stiller, men tiltakene simuleres likevel i SIMIEN for å finne den mulige virkningen av disse tiltakene.. Rambøll Norge AS er per dags dato i dialog med byantikvaren i Bergen angående mulighetene for å fravike enkelte av dagens begrensninger.

9.1 SENTRALE VERDIER TIL SIMULERINGEN

Her vil sentrale inputdata som skiller seg fra grunnmodellen og de andre casene presenteres.

9.1.1 U-VERDIER – UTBEDRET U-VERDI PÅ YTTERVEGGER MOT NORD- OG SØRVEST

Fasaden mot sørvest og nordvest ligger på baksiden av skolen og effekten av utvendig etterisolering på disse fasadene skal undersøkes. Begge fasadene grenser mot innvendige klasserom, mens hovedfasaden mot nordøst, som skal beholdes som opprinnelig, grenser mot korridoren.

Fasaden moderniseres og etterisoleres med 150 mm mineralull som vil gi en utbedret U-verdi på 0,23 W/m²K. Detaljert beskrivelse av etterisoleringen blir ikke bestemt i masteroppgaven.

9.1.2 U-VERDI VINDUER

U-verdiene for vinduene skal bedres ytterligere. Det er ønskelig å se nytteverdien av å investere i bedre vinduer, uten at ytterveggene u-verdi bedres. I forprosjektet til skolen, utarbeidet av Rambøll Norge AS, blir løsningen med varevindu vurdert som svært kostbar, og rådgiverne er i kontakt med Byantikvaren i Bergen for å diskutere muligheten for å skifte ut de eksisterende vinduene med nye vinduer med samme utførelse. Dette alternativet skal vurderes i denne simuleringen.

U-verdiene for vinduene bedres og simuleres for både 1,2 W/m²K og 0,9 W/m²K. Også de opprinnelige vinduene skiftes ut i denne casen.

9.1.3 SAMMENHENGEN MELLOM BYGNINGENS VARMETAPSTALL, NETTO ENERGIBEHOV OG LEKKASJETALLET

I case 1 og 2 er lekkasjetallet en antatt verdi hentet fra nasjonale kilder, da den korrekte verdien er ukjent. Derfor skal det i denne casen blitt sett på sammenhengen mellom lekkasjetallet, bygningens varmetapstall, og tilhørende netto energibehov. Målsetningen er at det skal kunne bidra til å finnes den energiøkonomiske nytteverdien av tiltakene.

9.1.4 VENTILASJONSANLEGGET

I Case 2 kom det frem at luftmengdene som ble benyttet ikke var korrekt, på grunn av mangel på informasjon da simuleringene ble utført. I denne casen blir minimums luftmengder anbefalt i NS 3031 simulert. Dette er kun veiledende verdier, og skal ikke benyttes som prosjekteringsgrunnlag. Verdiene benyttes likevel i denne oppgaven, for å se virkningen av å forandre ventilasjonsluftmengdene. Resultatet blir en del av analysen for å finne sammenhengen mellom lekkasjetallet, varmetapstallet og netto energi.

9.2 RESULTATER

Simuleringens hovedresultater presenteres her, mens utfyllende resultater er i vedlegg F. Følgende resultater blir presentert:

- Virkningen av å etterisolere fasadene mot sørvest og nordvest
- Virkningen av superisolerte vinduer
- Sammenhengen mellom lekkasjetallet, varmetapstallet og netto energibehov til oppvarming
- Beregnet levert energi
- Minimums- og maksimumstemperaturer for vinter- og sommerforhold
- CO₂-nivået

Scenarioene som presenteres i resultatet er:

Scenario G: Case 3 – Samtlige vinduer skiftes til superisolert vindu med U-verdi 0,9 W/m²K.

Scenario H: Case 3 – Etterisolering av ytterveggen mot sør- og nordvest til 0,23 W/m²K, og samtlige vinduer med U-verdi 0,9 W/m²K

Scenario I: Case 3 – Etterisolering av ytterveggen mot sør- og nordvest, til U-verdi 0,23 W/m²K og samtlige vinduer med U-verdi 1,5 W/m²K

Scenario J: Case 3 - Luftmengden angitt i NS 3031, og etterisolering av ytterveggen mot sør- og nordvest, til U-verdi 0,23 W/m²K og samtlige vinduer med U-verdi 1,5 W/m²K

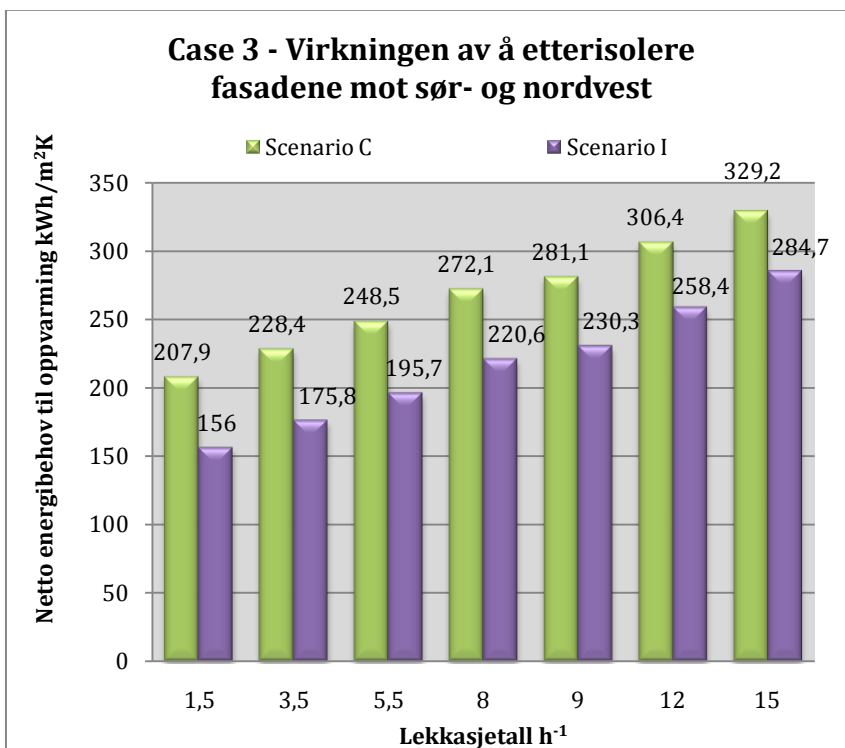
Scenario K: Case 3 - Luftmengden angitt i NS 3031, og etterisolering av ytterveggen mot sør- og nordvest, til U-verdi 0,23 W/m²K og samtlige vinduer med U-verdi 0,9 W/m²K

Scenario L: Case 3 - Luftmengden angitt i NS 3031, og samtlige vinduer skiftes til superisolert vindu med U-verdi 0,9 W/m²K.

Resultatene blir diskutert i kapittel 11.

9.2.1 ENERGIBEHOVET – VIRKNINGEN AV Å ETTERISOLERE FASADENE MOT SØRVEST OG NORDVEST

Figur 9.1 angir virkningen av å etterisolere fasadene mot sør- og nordvest, scenario *I*. Resultatet sammenlignes med Case 2 med varevinduer med U-verdi 1,5 W/m²K, scenario *C*.



Figur 9.1: Case 3 - Effekten av å etterisolere fasadene mot sørvest og nordvest for netto energibehov

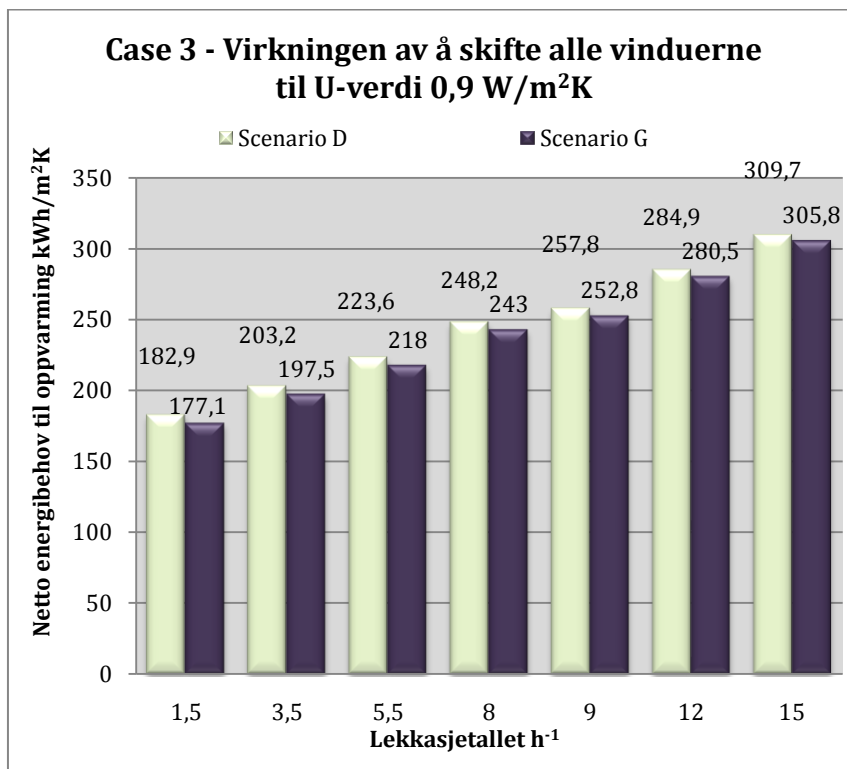
Virkningen av å etterisolere fasadene mot sørvest og nordvest vil redusere netto energibehov med mellom 19 % til 33 % for henholdsvis

lekkasjetallene 15 h^{-1} til $1,5 \text{ h}^{-1}$. Virkningen av å etterisolere øker med tettheten til bygget. Ved å etterisolere fasadene, samt bedre vinduene og loftet i Case 2, er det rimelig å anta at lekkasjetallet også vil være redusert fra utgangspunktet. Dersom etterisolering av ytterveggen bidrar til å bedre lekkasjetallet fra $5,5 \text{ h}^{-1}$ til $3,5 \text{ h}^{-1}$ vil netto energibehov reduseres med 30 %. Dette tilsvarer omkring $72,7 \text{ kWh/m}^2\text{K}$.

Vedlegg F.3.3 viser tilsvarende virkningen for varmetapstallet.

9.2.2 ENERGIBEHOVET - VIRKNINGEN AV SUPERISOLERTE VINDUER

Figur 9.2 angir virkningen av superisolerte vinduer. Tiltaket er medfører store investeringskostnader i forhold til standard vindusløsninger og lar seg vanskelig gjennomført med U-verdi $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ som resultat på grunn av bygningstekniske utfordringer. Likevel utføres simuleringen for å se effekten på netto energibehov til oppvarming og varmetapstallet. Scenario G sammenlignes med scenario D fra Case 2.



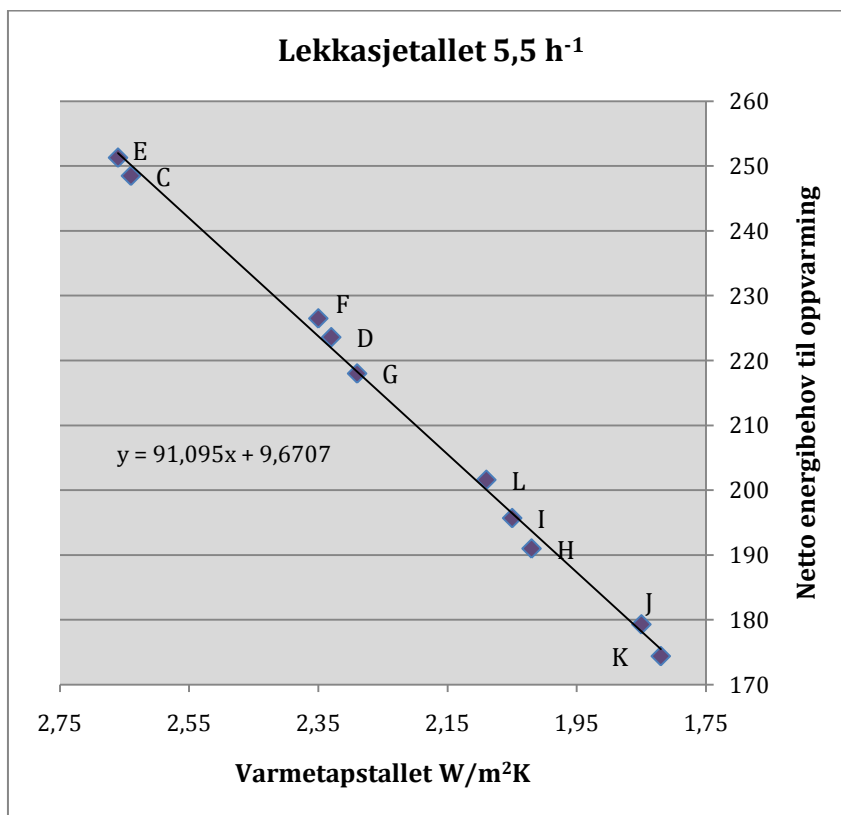
Figur 9.2: Virkningen av superisolerte vinduer for netto energibehov til oppvarming

Det antas at de superisolerte vinduene ikke vil redusere lekkasjetallet ytterligere, ettersom det i Case 2, hvor lekkasjetallet antas å bli redusert til

5,5 h⁻¹, allerede et er tettet godt rundt vinduene. Dermed viser diagrammet at virkningen av å skifte alle vinduene til superisolerte vindu ikke er stor. Netto energibehov reduseres med kun 2 %, for lekkasjetallet 5,5 h⁻¹. Tilsvarende gjelder for varmetapstallet, vist i diagrammet i vedlegg F.3.4.

9.2.3 ENERGI BEHOVET - SAMMENHENGEN MELLOM LEKKASJETALLET, BYGNINGENS VARMETAPSTALL OG NETTO ENERGI BEHOV

Figur 9.3 illustrerer sammenhengen mellom lekkasjetallet, bygningens varmetapstall og netto energibehov til oppvarming. Diagrammet er for lekkasjetallet 5,5 h⁻¹. Hvert punkt i grafen viser resulterende varmetapstall og energibehov for de ulike scenarioene hvor verdier for bygningskroppen eller/og de klimatekniske installasjonene er forandret.

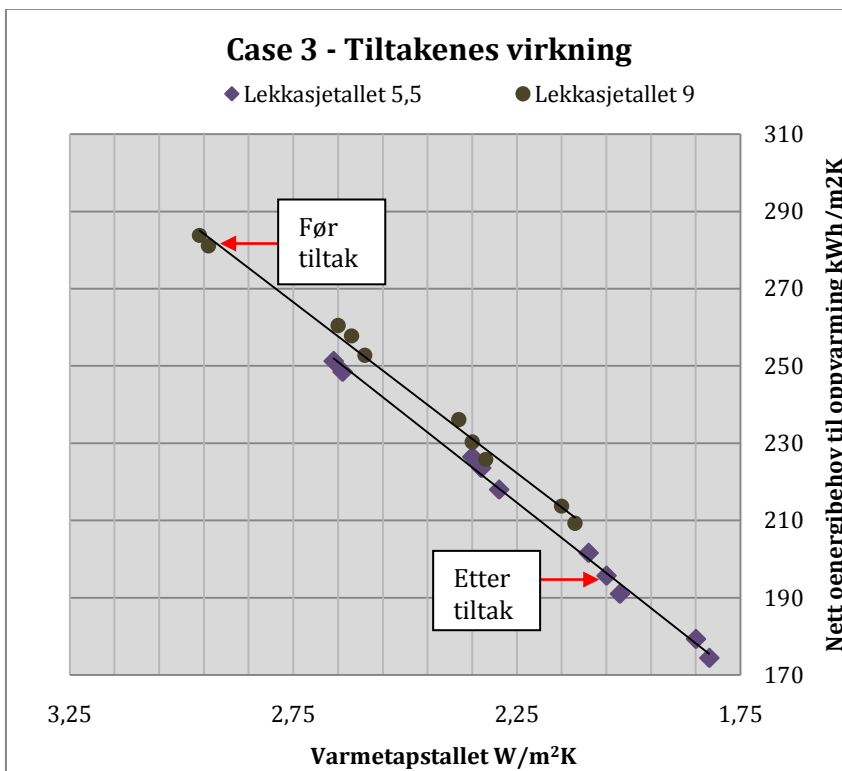


Figur 9.3: Sammenhengen mellom lekkasjetallet, bygningens varmetapstall og netto energibehov til oppvarming for lekkasjetallet 5,5 h⁻¹

Sammenhengen mellom netto energibehov til oppvarming og bygningens varmetapstall er tilnærmet lineær, slik det fremkommer av grafen.

Vedlegg F.3.5 viser sammenhengen for alle lekkasjetallene i samme diagram. Grafene viser at netto energibehov til oppvarming øker tilnærmet lineært med varmetapstallet for de ulike lekkasjetallene, samt at stigningstallet er større for lavere lekkasjetall, og reduseres dess mer utett bygningskroppen er. Virkningen av samme tiltak har dermed større effekt på netto energibehov for en tett bygning i forhold til en utett bygning.

Virkingen av de ulike scenarioene kan vises i et diagram med resultatene for flere lekkasjetall presentert. Ettersom lekkasjetallet også reduseres ved utførelse av enkelte av tiltakene, kan ikke den lineære linjen følges for å finne resulterende verdier. Figur 9.4 illustrerer virkingen av scenario C og I.



Figur 9.4: Tiltakenes virkning

9.2.4 ENERGI BEHOVET – BEREGNET LEVERT ENERGI

Beregnet levert energi er en usikker verdi da fordelingen av topplast og spisslast, samt systemenes virkningsgrader ikke er kjent. Resulterende levert energi for scenario I er 275 kWh/m²år.

For scenario G, med lekkasjetallet 5,5 h⁻¹, blir levert energibehov på 323 kWh/m²år. Resulterende levert energi for scenario H, med lekkasjetallet 5,5 h⁻¹ gir levert energibehov på 292 kWh/m²år.

9.2.5 INNEKLIMA – MINIMUMS- OG MAKSIMUMSTEMPERATURER I DRIFTSTIDEN

Resultatet som presenteres er for scenario I, med lekkasjetall 3,5 h⁻¹.

Ved vinterforhold blir minimum operative temperatur 15,6 °C. Dimensjonerende maksimal effekten til radiatorsystemet blir angitt i SIMIEN til 52,2 kW/m².

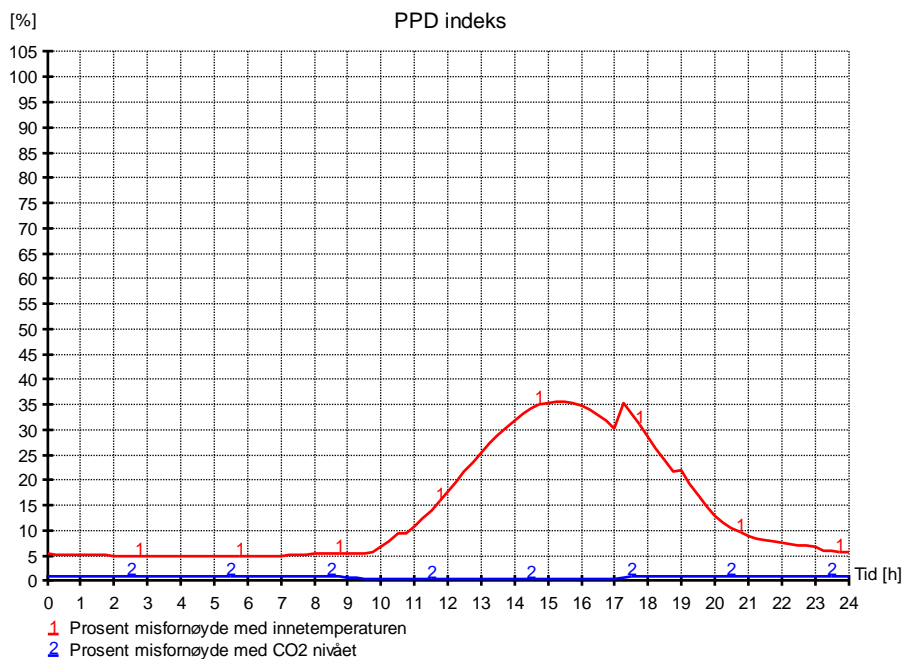
Ved sommerforhold blir maksimum operative temperatur 27,7 °C for solutsatte soner.

9.2.6 INNEKLIMA – CO₂-NIVÅET OG FORVENTET PROSENTANDEL MISFORNØYDE

Resultatet som presenteres er for scenario I, med lekkasjetall 3,5 h⁻¹.

Maksimalt CO₂-nivå ved skolen er 684 ppm, som ligger innenfor akseptable granter.

Figur 9.5 angir forventet prosentandel av brukene som er misfornøyd med CO₂-nivået og temperaturforholdene. Vedlegg F.3.7 angir tilsvarende for vinterforhold.



Figur 9.5: Forventet prosentandel misfornøye med CO₂- nivået og temperaturforholdene

10 SIMULERING AV CASE 4 – BYGGET ETTER TILTAKSMETODEN I TEK07

Case 4 skal vise hva resultatene for Ny Krohnborg skole ville blitt dersom den ble bygget etter dagens krav i Teknisk forskrift 07.

10.1 SENTRALE VERDIER TIL SIMULERINGEN

Her vil sentrale inputdata som skiller seg fra grunnmodellen og de andre casene blir presentert. Verdiene fra energitiltaksmetoden gitt i TEK 07 er brukt i simuleringen.

10.1.1 ENERGILTAKSMETODEN

Energiltaksmetoden er gitt i Teknisk forskrift 2007 og er en metode for å godkjenne bygningens energibehov opp mot myndighetskravene. Når kravene i metoden benyttes kan bygget defineres som energieffektivt. Ved energiltaksmetoden skal verdiene fra tabell 10.1 benyttes. Det er tillatt å fravike fra ett eller flere av energiltakene dersom kompensierende tiltak gjør bygningens varmetapstall ikke øker. Minimumskravene er gitt i TEK07 skal aldri fravikes, angitt i vedlegg E. I simuleringen er ingen av de angitte energiltakene forandret.

Tabell 10.1: Energiltaksmetoden i TEK07 (Teknisk forskrift, 2007)

Samlet glass-, vindus- og dørareal	Maksimalt 20 % av bygningens BRA
U-verdi yttervegg	0,18 W/m ² K
U-verdi tak	0,13 W/m ² K
U-verdi gulv på grunn og mot det fri	0,15 W/m ² K
U-verdi glass/vinduer/dører	1,2 W/m ² K, gjennomsnittsverdi inkl. karm/ramme
Normalisert kuldebroverdi	0,06 W/m ² (BRA)K
Lufttetthet	1,5 luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg	2/1 kW/m ³ s (dag/natt)
Solskjerming	Automatisk solskjerming eller andre tiltak for å hindre behovet for lokal kjøling
Natt- og helgesenkning av innetemperatur	19 °C

Inputdata for de klimatekniske installasjonene er hentet fra Rambøll, og er de samme som for Case 2.

10.2 RESULTATER

Simuleringens hovedresultater presenteres her, mens utfyllende resultater er i vedlegg F.

- Netto energibehov til oppvarming
- Beregnet levert energi
- Minimums- og maksimumstemperaturer for vinter- og sommerforhold
- CO₂-nivået

Scenarioene som presenteres i resultatet er:

Scenario M: Case 4 – Bygget etter tiltaksmetoden

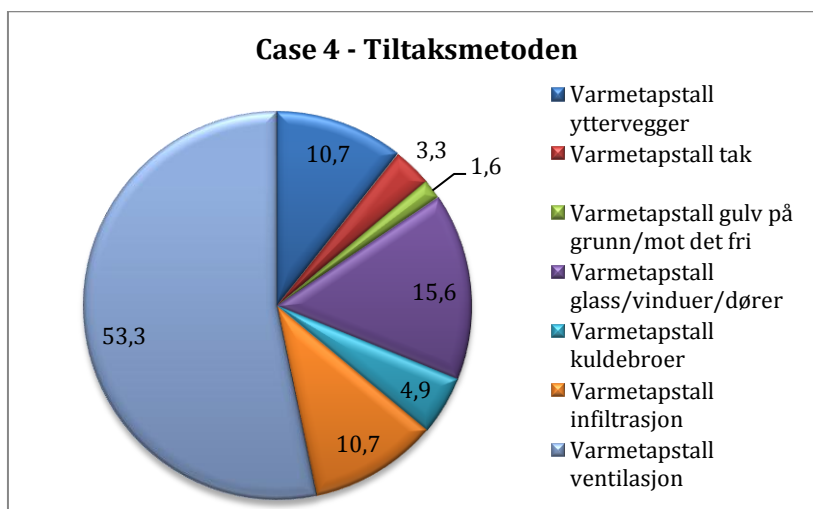
Resultatene blir diskutert i kapittel 11.

Bygningen tilfredsstiller myndighetens krav gitt i TEK 07, vist i vedlegg F.4.1.

10.2.1 ENERGI BEHOVET – NETTO ENERGI BEHOV

Skolen netto energibehov til oppvarming er 35,7 kWh/m²år for scenario M. Varmetapstallet til bygningen er 1,22 W/m²K.

Prosentvis fordelingen av varmetapene er vist i figur 10.1. Vedlegg 4.3 angir varmetapstallene figuren fremkommer av.



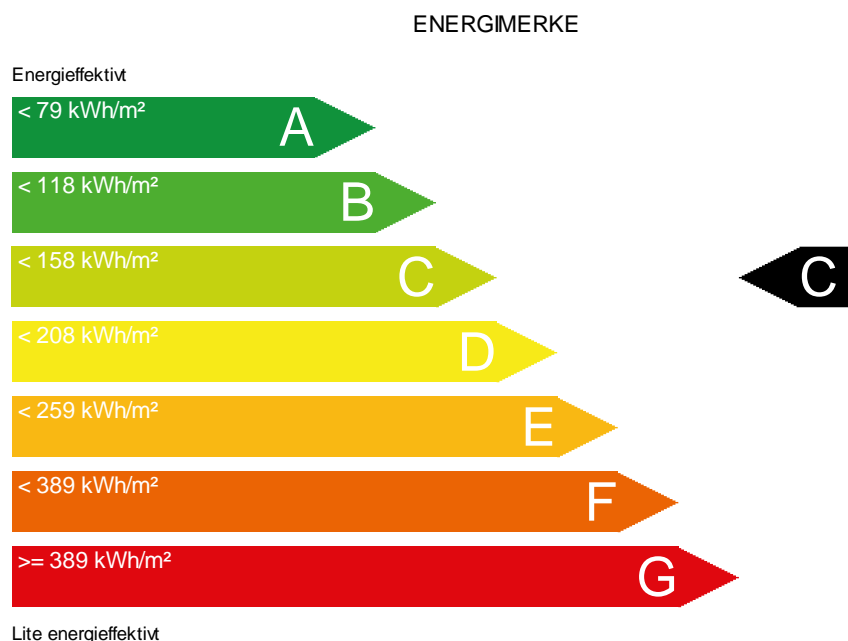
Figur 10.1: Case 4 - Prosentvis fordelingen av varmetapene

Figuren viser at ventilasjonstapet står for over 50 % av bygningens totale varmetap. Infiltrasjonsvarmetapet står for 10,7 % av varmetapet.

10.2.2 ENERGIBEHOVET – BEREGNET LEVERT ENERGIBEHOV

Skolens beregnede leverte energibehov til oppvarming 42,5 kWh/m²år. Totalt levert energi for både elektrisitet og fjernvarme er 132,6 kWh/m²år.

For normalisert klima, Oslo klima, får bygningen energimerket C, vist i figur 10.2.



Beregnet levert energi normalisert klima: 123 kWh/år

Figur 10.2: Resulterende energimerke for Case 4

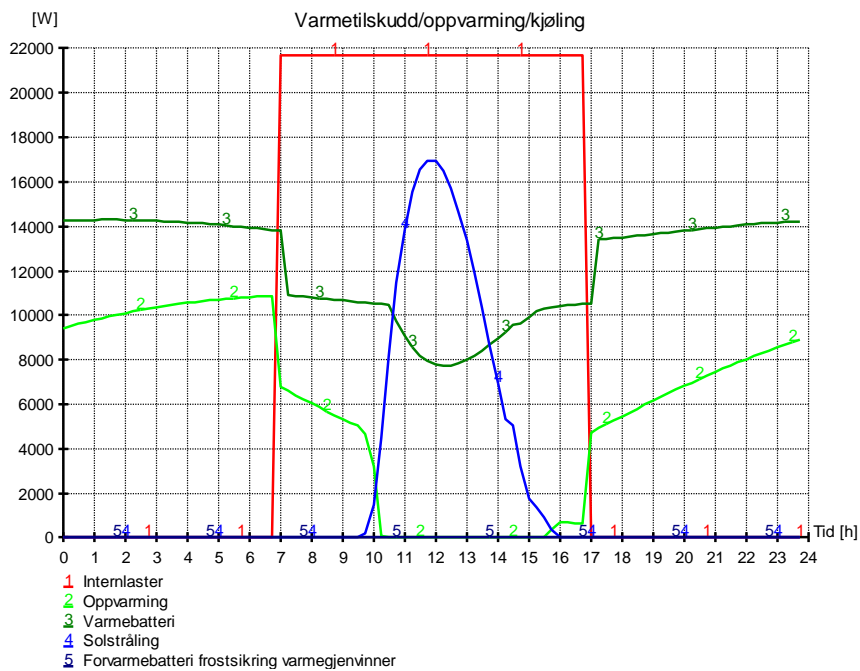
10.2.3 INNEKLIMA – MINIMUMS- OG MAKSIMUMSTEMPERATURER I DRIFTSTIDEN

Resultatet som presenteres er for scenario M, med lekkasjetall 1,5 h⁻¹.

For vinterforhold er minimumstemperaturen 19,3 °C, før skoledagen starter. Denne temperaturen kunne vært redusert ved nattsenkning, da skolen er en tung bygning. Dette er ikke simulert i denne masteroppgaven.

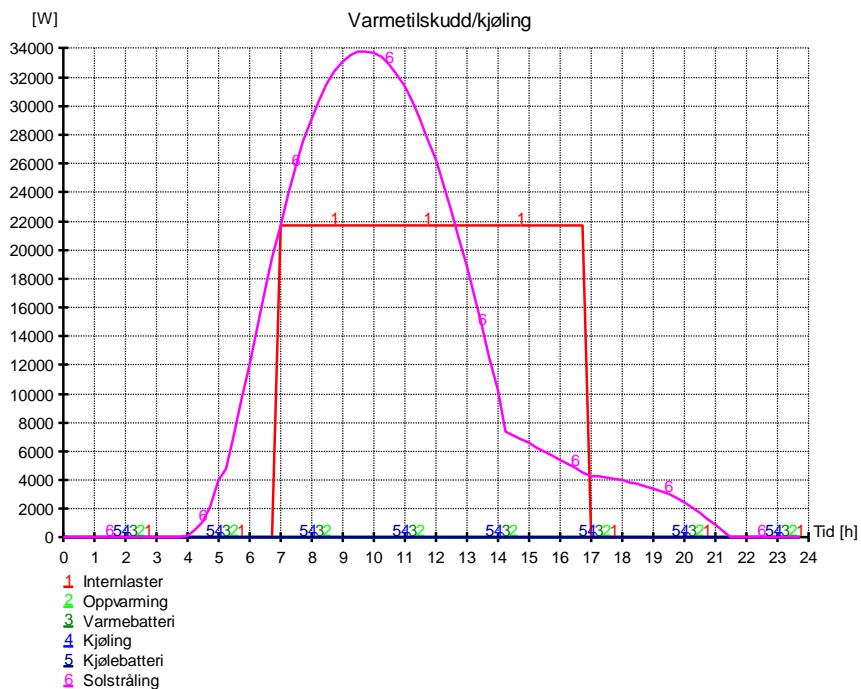
For sommerforhold er maksimumstemperaturen 30,6 °C ved solutsatt fasade. Denne høye temperaturen er på formiddagen, og dermed midt i skoledagen.

Figur 10.3 angir varmetilskuddet til skolen. De interne lastene resulterer i at varmetilskuddet fra romoppvarming og ventilasjonsbatteriet reduseres i driftstiden, i forhold til utenfor driftstid.



Figur 10.3: Case 4 - Varmetilskudd for vinterforhold

Figur 10.4 viser varmetilskuddet for sommerforhold. Solstråling står da for det største varmetilskuddet. Tilskuddet fra solen varierer med hvilken himmelretning rommenes fasader ligger mot.



Figur 10.4: Case 4 - Varmetilskudd for sommerforhold

11 DISKUSJON

Fordelt på fire caser

1. Som bygget i 1924
2. Tiltaket som skal utføres av Rambøll
3. Mulighetsstudie som skal se på sammenhengen mellom bygningens tetthet, U-verdier og netto energibehov til oppvarming
4. Som bygget etter dagens krav, gitt i tiltaksmetoden i TEK07. Casen skal fungere som en referanseverdi for energibruk i bygningen

er 13 ulike scenario simulert i SIMIEN, gitt i tabell 11.1. Hvert scenario er simulert for 7 ulike lekkasjetall, for å inneholde tilstrekkelig data for å her kunne diskutere:

- sammenhengen mellom lekkasjetallet, bygningens varmetapstall og netto energibehov
- virkningen av enkelttiltak og samvirkningen av tiltak
- skolens resulterende inneklime
- en overfladisk økonomisk betraktning ved nødvendig investering og driftskostnader

Tabell 11.1: Oversikt over de 13 simulerte scenarioene

Scenario	Case	Forklaring
<i>Scenario A</i>	1	Som bygget i 1924
<i>Scenario B</i>	1	Som bygget i 1924 med dagens krav til ventilasjon og temperaturforhold
<i>Scenario C</i>	2	Varevinduer med U-verdi 1,5 W/m ² K
<i>Scenario D</i>	2	Varevinduer med U-verdi 1,5 W/m ² K og etterisolert loft og tak med U-verdi 0,22 W/m ² K
<i>Scenario E</i>	2	Varevinduer med U-verdi 2,2 W/m ² K
<i>Scenario F</i>	2	Varevinduer med U-verdi 2,2 W/m ² K og etterisolert loft og tak med U-verdi 0,22 W/m ² K
<i>Scenario G</i>	3	Samtlige vinduer skiftes til superisolert vindu med U-verdi 0,9 W/m ² K.
<i>Scenario H</i>	3	Etterisolering av ytterveggen mot sør- og nordvest til 0,23 W/m ² K, og samtlige vinduer med U-verdi 0,9 W/m ² K
<i>Scenario I</i>	3	Etterisolering av ytterveggen mot sør- og nordvest, til U-verdi 0,23 W/m ² K og samtlige vinduer med U-verdi 1,5 W/m ² K
<i>Scenario J</i>	3	Luftmengden angitt i NS 3031, og etterisolering av ytterveggen mot sør- og nordvest, til U-verdi 0,23 W/m ² K og samtlige vinduer med U-verdi 1,5 W/m ² K
<i>Scenario K</i>	3	Luftmengden angitt i NS 3031, og etterisolering av ytterveggen mot sør- og nordvest, til U-verdi 0,23 W/m ² K og samtlige vinduer med U-verdi 0,9 W/m ² K
<i>Scenario L</i>	3	Luftmengden angitt i NS 3031, og samtlige vinduer skiftes til superisolert vindu med U-verdi 0,9 W/m ² K.
<i>Scenario M</i>	4	Bygget etter tiltaksmetoden

11.1 DISKUSJON VEDRØRENDE CASE 1

Sentrale diskusjonstema i dette kapittelet:

- Hva blir netto oppvarmingsbehov for skolen i 1924?
- Er det mulig å oppnå ønsket temperaturforhold med bygningskroppen fra 1924?
- Hvor pålitelige er resultatene?
- Hvilken innvirkning har overgangen fra hybrid ventilasjon til mekanisk balansert ventilasjon for energibehovet og varmetapstallet?

I Case 1 blir bygningen varmet opp av radiatorer som varmeavgivere, plassert under vinduene.. Radiatorene vil avgi $261 \text{ kWh/m}^2\text{år}$, for scenario *A*, med lekkasjetallet 9 h^{-1} . For scenario *B* er netto energibehov til oppvarming $307 \text{ kWh/m}^2\text{år}$, fordelt på radiatorene og varmebatteri i ventilasjonsaggregatene. Energibehovet til romoppvarming er da mindre enn for scenario *A*, og varmebatteriet står for 20 % av oppvarmingsbehovet. Samtidig er de interne varmelastene større, som også vil bidra til oppvarming av rommene, og dermed reduseres oppvarmingsbehovet. Det økte energibehovet var forventet da høyere krav til temperatur og ventilasjon vil være kilder til høyere energibehov, samt at ikke utføres energibesparende forbedringer på bygningskroppen.

Inneklimaet i bygningen er ikke tilfredsstillende i verken scenario *A* eller *B*. Temperaturforholdene er utilfredsstillende, og har ved vinterforhold en differanse på $7,3 \text{ °C}$ mellom scenarioene. Maksimal operativ temperatur gis i scenario *B*, med $4,1 \text{ °C}$. Dette kan bety at maksimal effekt for varmeanlegget ikke er stor nok, og at det derfor ikke oppnås tilfredsstillende temperaturforhold. For sommerforhold gir begge scenarioene temperaturforhold over 30 °C . Dette kan skyldes mangel på solskjerming, da varmetilskuddet fra solen er svært høyt

Resultatene fra simuleringen baseres på flere antagelser, da detaljert informasjon om bygningskroppen og de klimatekniske installasjonene ikke er kjent. Dette påvirker påliteligheten til resultatet. Spesielt gjelder dette netto oppvarmingsbehov og temperaturforholdene i bygningen. Trolig har operativ temperatur ved vinterforhold vært høyere enn resultatet fra simuleringen tilsier. Dermed vil også trolig oppvarmingsbehovet ved vinterforhold ha vært høyere enn hva resultatet tilsier. Likevel kan det antas at bekledningen og bedre toleranse for lavere temperaturer bidro til å akseptere lavere temperaturer innendørs.

Scenario *B* gav innsikt i hva som skjer med infiltrasjonstapet og ventilasjonstapet ved overgang fra hybrid ventilasjon til mekanisk

balansert ventilasjon. Størrelsen på infiltrasjonstapet øker med omkring 300 %. Varmetapstallet for infiltrasjonen øker fra 0,19 til 0,77 W/m²K. Varmetapstallet til infiltrasjonen er infiltrasjonstapet dividert på BRA. Årsaken det økte infiltrasjonstapet kommer frem av formelen i kapittel 3.3.3. Luftvekslingen som følge av infiltrasjonen er avhengig av to konstante terrengkoeffisienter, bygningens lekkasjetall og oppvarmet luftvolum, samt balansen mellom tillufts- og avtrekksmengder. Eneste forskjell på de to scenarioene ved utregningen av infiltrasjonstapet er tillufts- og avtrekksmengdene, altså det resulterende over- eller undertrykket i bygningen. Hybrid ventilasjon med avtrekksvifter resulterer i undertrykk i bygningen. Dette medfører et større ledd under brøkstreken, enn ved balansert ventilasjon, hvor ventilasjonsluftledet blir utlignet. Dermed viser formelen at balansert ventilasjon gir det høyeste infiltrasjonstapet. Ved utregning av infiltrasjonstapet multipliseres luftvekslingen som følge av infiltrasjonen med oppvarmet luftvolum og luftens varmekapasitet. Infiltrasjonstapet kan altså forandres til tross for at bygningskroppen ikke endres, da under- og overtrykk som følge av ventilasjonsanlegget tillegges ventilasjonens varmetap. Ventilasjonstapet reduseres i scenario *B* som følge av gjenvinning av varmen i avtrekksluften.

Det samlede varmetapet til bygningen reduseres kun som følge av overgangen fra hybrid ventilasjon til balansert mekanisk ventilasjon.

Resulterende forskjell mellom scenario *A* og *B* er signifikant. Størrelsene på de resulterende verdiene er noe usikker, men virkningen av utbedringen er klar. Balansert ventilasjon med varmegjenvinner reduserer bygningens varmetapstall i forhold til hybrid ventilasjon.

11.2 DISKUSJON VEDRØRENDE CASE 2

Sentrale diskusjonstema i dette kapittelet:

- Hvordan vurdere hvilket lekkasjetall bygningen får etter ulike tiltak er utført?
- Hvorfor er ikke effekten av å utbedre varevindueene stor, mens etterisolering av loftet gir en betydelig bedring av netto oppvarmingsbehov og varmetapstallet?
- Hvilken virkning gir innvendig solskjerming?
- Er resultatene pålitelige?

Tiltakenes virkning er noe avhengig av bygningens lekkasjetall. I Case 2 vil tiltakene redusere transmisjonstapet gjennom bygningskroppen, og samtidig redusere bygningens lekkasjetall. Derfor må resulterende

lekkasjetall antas for at resulterende energibehov og varmetapstall kan bli funnet. Dette påvirker nøyaktigheten i resultatet da lekkasjetallet er ukjent, og blir ikke fastsatt før etter tiltaket er utført og bygningens kan trykktestes. For scenario *C* viser figur 8.4 at netto energibehov til oppvarming dobles for en bygningskropp med lekkasjetallet 15 h^{-1} , i forhold til en med $1,5 \text{ h}^{-1}$. Tettingen av bygningen vil også kunne bedre bygningskroppens *U*-verdi, så å se på virkningen på energibehovet av å kun tette bygget blir ikke riktig uten å ta med det resulterende transmisjonstapet også.

Av tiltakene som utføres i Case 2 har etterisolering av loftet størst innvirkning på netto oppvarmingsbehov til oppvarming og varmetapstallet. Etterisoleringen kan medføre et redusert energibehov på omkring 20-25 %, og har samme prosentvise virkning på varmetapstallet, i forhold til scenario *C*, hvor det kun monteres varevindu med *U*-verdi $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Denne reduksjonen forutsetter at store deler av bygningens luftlekkasje skjer gjennom loftet før tiltaket iverksettes. I forhold til scenario *B*, i Case 1, blir netto energibehov til oppvarming redusert med 27 %, for scenario *D*.

Resultatet fra SIMIEN viser svært liten forskjell i netto energibehov for scenario *C* og *E*, vist i figur 8.1. Det kan dermed fastslås at å bedre varevinduenes *U*-verdi vil ha liten innvirkning på netto energibehov, når bygningskroppens transmisjonstap gjennom blant annet ytterveggene og taket ikke reduseres. Dette betyr at å investere i mer kostbare vinduer med bedre *U*-verdier ikke vil gi stor innvirkning på reduksjonen av energibehovet. Ved å kun montere varevindu, scenario *C*, med *U*-verdi $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil netto oppvarmingsbehov reduseres med 11,3 %, dersom lekkasjetallet reduseres fra 9 h^{-1} til 8 h^{-1} .

Temperaturforholdene i Case 2 er betydelig bedret i forhold til Case 1. Varmeanlegget har ikke effektbegrensning ved vinterforhold, og derfor overholdes temperaturkravet, mens dimensjonerende effektbehov endres for de ulike lekkasjetallene, vist i tabell 8.3. Dette er årsaken til at figur 8.7 viser at temperaturen for sommerforhold øker, men reduseres for vinterforhold. I realiteten, med en konstant maksimal effekt på varmeanlegget, vil temperaturen også reduseres ved vinterforhold, for høyere lekkasjetall. For sommerforhold er maksimal operative temperatur omkring $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette er en liten forbedring i forhold til temperaturforholdene i Case 1 hvor ingen solskjerming er montert. Resultatet fra Case 2 viser at innvendig solskjerming gir ikke tilstrekkelig skjerming for varmtilskuddet fra solen.

Resultatene fra simuleringen baseres på flere antagelser, da detaljert informasjon om bygningskroppen og de klimatekniske installasjonene ikke er kjent. Dette kan medføre uoverensstemmelser med virkeligheten.

11.3 DISKUSJON VEDRØRENDE CASE 3

Sentrale diskusjonstema i dette kapittelet:

- Hva skjer med stigningstallet i de lineariserte grafene, og hvorfor er de ulike?
- Hvilken virkning gir enkelttiltakene?
- Hvordan er temperaturforholdene i forhold til de andre casene?
- Er resultatene pålitelige?

Figuren i vedlegg F.3.5 viser samtlige resulterende grafer for de ulike lekkasjetallene. Stigningstallet for de lineariserte grafene stiger dess tettere bygningen er. Dette betyr at tiltakenes virkning øker med bygningens tetthet. Virkningen av enkelttiltakene vil variere etter hvilken tilstand bygningen er i før tiltaket utføres. Som figur 9.4 viser kan ikke virkningen leses av langs en av den lineariserte grafen, da tiltakene også påvirker lekkasjetallet. Derfor vil det resulterende energibehovet ligge på en annen graf enn i utgangspunktet. Hvilket lekkasjetall det resulterende energibehovet og varmetapstallet vil tilhøre må antas, da lekkasjetallet ikke kan bli kjent før det er utført tetthetsprøver på bygget. Resulterende verdier kan leses av figuren i vedlegg F.3.5.

Scenarioene *H, IJ og K* har størst innvirkning på netto oppvarmingsbehov og varmetapstallet. Etterisolering av ytterveggene mot sørvest og nordvest, scenario *D*, reduserer både infiltrasjonstapet og transmisjonstapet. Dette tiltaket går imot byantikvarens krav om at ytterfasadene skal beholde sitt opprinnelige utseende. Fasadene mot sørvest og nordvest er ytterveggen til klasserommene, og fasadene er vendt mot baksiden av skolen. Ved at dette er yttervegger mot klasserom kan det gi lavere oppvarmingsbehov i rommet. Det bør diskuteres med byantikvaren hvorvidt dette tiltaket er gjennomførbart. Ny Krohnborg skole er synlig fra store deler av Bergen, da det ligger åpent og i høyden, men dette tiltaket vil ikke medføre endringer i det arkitektoniske utseende som et kulturhistorisk monument i bybildet, da baksiden ikke er synlig fra byen. Det er forståelse for at byantikvaren kan mene at et slikt tiltak vil ødelegge bygningens helhetsinntrykk, men ettersom dette er en problemstilling som kan gjelde svært mange bygninger i Norge som trenger rehabilitering og kan redusere bygningsmassens totale energibehov, og bør det tas opp til diskusjon.

Virkningen av å skifte alle vinduene til superisolerte vinduer med U -verdi $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, scenario G , er svært liten. Dette forutsetter at utskifting av vinduene ikke vil redusere lekkasjetallet ytterligere fra hva scenario D har resultert $5,5 \text{ h}^{-1}$, vist i figur 9.2.

Temperaturforholdene i Case 3 er tilfredsstillende. For scenario I , hvor fasadene mot sørvest og nordvest er etterisolert, samt med et lekkasjetall på $3,5 \text{ h}^{-1}$, gir en nødvendig maksimal effekt for radiatorsystemet på $52,5 \text{ W/m}^2$, for å kunne holde temperaturen innenfor akseptable grenser.

Resultatene fra simuleringen baseres på flere antagelser, da detaljert informasjon om bygningskroppen og de klimatekniske installasjonene ikke er kjent. Dette kan medføre uoverensstemmelser med virkeligheten.

11.4 DISKUSJON VEDRØRENDE CASE 4

Sentrale diskusjonstema i dette kapittelet:

- Hvorfor er energibehov til oppvarming markant lavere enn for de andre casene?
- Er temperaturforholdene tilfredsstillende? Og hvordan kunne de eventuelt blitt bedre?
- Er resultatene pålitelige?

Case 4, scenario M , representerer skolen slik resulterende netto oppvarmingsbehov og varmetapstall ville blitt dersom den ble bygget etter energiltaksmetoden. Resulterende netto energibehov er svært lavt til sammenligning med de andre casene, med et behov på kun $35,7 \text{ kWh/m}^2\text{år}$. Et av de laveste oppnådde energibehov, fra Case 3, scenario I , er $156 \text{ kWh/m}^2\text{år}$. Dette viser at virkningen av å etterisolere hele bygningskroppen er stor.

Temperaturforholdene i skolen ved vinterforhold er tilfredsstillende. Dimensjonerende maksimal effekt til radiatorsystemet er omkring 14 W/m^2 .

Ved sommerforhold blir operativ temperatur omkring $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Denne høye temperaturen kunne vært redusert med utvendig persienner, samt mindre varmeavgivelse fra interne laster. Dette ville gitt et større energibehov ved vinterforhold da lastene avgir varme til rommet, men for sommerforhold reduserer det behovet for kjøling da temperaturnivået blir noe lavere. Riktig solskjerming vil kunne gi størst bidrag for å holde temperaturen nede, og dette fremkommer av figur 10.4, som viser at soltilskuddet avgir mye varme til bygningen.

I denne casen er de fleste inputverdiene hentet fra tiltaksmetoden i TEK07. Interne laster, oppvarmingssystemet og ventilasjonssystemet er

basert på informasjon fra Rambøll, samt antatte verdier grunnet mangel på informasjon. Dette vil kunne gi avvik i resultatet i forhold til reelle forhold, dersom bygningen ble prosjektert og bygget etter tiltaksmetoden.

11.5 SAMLET DISKUSJON - ENERGIBEHOVET

Kapittelet skal gi en samlet diskusjon omkring de ulike casene.

11.5.1 ENERGIBEHOVET - LEKKASJETALLET

I simuleringene er lekkasjetallet en ukjent verdi, og resulterende lekkasjetall etter utførte tiltak blir antatt. Det som er sikkert er at lekkasjetallet blir påvirket av tiltak utført på bygningskroppen. Dermed kan ikke resultatenes pålitelighet garanteres, da verdiene for lekkasjetallet er usikre.

I Case 1, scenario A, blir netto oppvarmingsbehov redusert med kun 4 % ved at bygningskroppen blir tettet fra 15 h^{-1} til $1,5 \text{ h}^{-1}$. Dette er ikke et realistisk scenario, da tettingen av bygningen vil også redusere bygningens totale varmetap, og ikke bare infiltrasjonstapet. Til sammenligning viste Case 2 at netto oppvarmingsbehov ble halvert (58 % reduksjon) ved at bygningen blir tettet fra 15 h^{-1} til $1,5 \text{ h}^{-1}$. Dette illustrer at tettheten til bygningen ikke har like stor innvirkning på energibehovet, dersom bygningskroppens transmisjonstap og ventilasjonstap er stort. Dette vil også bety at virkningen av enkelttiltakene er størst for en bygning som allerede har en god bygningskropp og ventilasjonssystem. For hvert lekkasjetall er det en lineær sammenheng mellom netto oppvarmingsbehov og varmetapstallet. Lineariseringen av grafene viste at stigningstallet øker dess tettere bygningen er, som også betyr at virkningen av enkelttiltak er større for tette bygninger.

11.5.2 ENERGIBEHOVET – PROSENTVIS FORDELING AV VARMETAPET

Den prosentvise fordelingen av varmetapet til bygningen endres i de ulike scenarioene. Et tiltak utført på bygningskroppen vil dermed kunne påvirke ventilasjonstapets prosentandel av det totale varmetapet. I Case 4, scenario M, står ventilasjonstapet for hele 53,3 % av bygningens totale varmetap. I scenarioet er bygningskroppen bygget med lave U-verdier, samt et lavt lekkasjetall på $1,5 \text{ h}^{-1}$. Den prosentvise fordelingen av varmetapet forteller ingenting om størrelsen på tapet, og derfor vil det ikke nødvendigvis bety at ventilasjonssystemet kjører ineffektivt, eller er svært energikrevende selv om det er skyld i det største varmetapet. Dette kan bety at resten av transmisjonstapet og infiltrasjonstapet er svært lavt som følge av strenge krav til U-verdier og utførelse. Dersom ventilasjonssystemet utbedres ytterligere vil dette øke de andres tapenes

prosentvise størrelse. Det er derfor hensiktsmessig å fokusere på selv størrelsen av varmetapet, og ikke den prosentvise fordelingen. Ett av varmetapene vil uansett stå for en større andel av det totale tapet enn de andre.

11.6 SAMLET DISKUSJON – INNEKLIMA

Det er ikke kjent hvordan inneklima oppfattes av brukerne i dag, men målinger har vist store konsentrasjon av CO₂ og høye temperaturer. Resulterende CO₂-nivå i simuleringene er tilfredsstillende, og dette kan skyldes mekanisk balansert ventilasjon. Ventilasjonsløsningen vil kunne bidra til å gi et bedre inneklima i bygningen. Tilførte luftmengder vil være temperert, men med undertemperatur i forhold til romluften, og tilført rommet ved omrøring, hvor luftens forurensninger blir uttynnet.

Minimum operative temperatur ved vinterforhold er tilfredsstillende. I Case 2 skyldes dette at radiatorsystemet ikke har effektbegrensning, og dermed kan systemet oppnå tilfredsstillende temperatur i rommene. Med lavere dimensjonerende maksimal effekt for anlegget vil trolig varmeanlegget ikke være tilstrekkelig for å oppnå tilfredsstillende temperaturforhold på vinterens kaldeste dager.

Om sommeren viser simuleringene at operativ temperatur overstiger 30 °C ved dimensjonerende sommertemperatur. Dette skyldes hovedsakelig varme fra soltilskudd, samt interne laster som avgir varme. De interne lastene benyttet i simuleringen er hentet fra NS 3031, men dette er ikke korrekte verdier. De dimensjonerende verdiene til de interne lastene var ikke kjent da masteroppgaven ble utarbeidet. Dersom de interne lastene reduseres vil dette påvirke temperaturforholdene og redusere den høye temperaturen. Bedre solskjerming vil gi størst virkning i forhold til å redusere temperaturen, men dette er ikke simulert i oppgaven. Utvendig solskjerming vil kunne redusere varmetilførselen fra solen, da det hindrer varmen å transmittere inn i bygningen.

Temperaturforholdene til midtsonene i simuleringen er ikke representative da det regnes som en adiabatisk sone. I realiteten sonene er åpen mot grensende soner, slik at varmen fra de interne lastene vil spre seg til andre soner, og ikke være innestengt i midtsonen.

11.7 TILTAKENES GJENNOMFØRBARHET – PRAKTISK OG ØKONOMISK

I dette kapitlet blir scenarioene og tiltak diskutert med fokus på praktisk og økonomisk gjennomførbarhet. Case 1 utelates fra diskusjonen da ingen reelle tiltak utføres. Diskusjonen vil bli presentert i tabell 11.2.

Tabell 11.2: Praktisk og økonomisk gjennomførbarhet

Scenario	Praktisk gjennomførbarhet	Økonomiske gjennomførbarhet
<i>C og E - Varevindu med U-verdi på henholdsvis 1,5 W/m²K og 2,2 W/m²K</i>	<p>Tiltaket må gjennomføres da de opprinnelige 1-glass vinduene trolig er kilde til et stort transmisjonstap, samt er en svært kald overflate ved vinterforhold.</p> <p>Varevinduene må utføres riktig med god tetting rundt karmene, for å redusere lekkasjetallet, samt etablere lufting mellom vinduene.</p> <p>For å kunne montere varevindu må vindusspalten i bygningskroppen være dyp nok for at det skal bli tilstrekkelig plass mellom det opprinnelige og det nye vinduet. Dette er nødvendig for å skape riktig lufting mellom glassene.</p> <p>Å montere varevindu er ikke nødvendigvis et større inngrep enn å skifte de opprinnelige. De opprinnelige vinduene har godt trekarm, samt god innpassning i bygningskroppen. Nye vinduer kan være problematisk å montere, og sikre og tetting, da det er mulig at karmens ramme ikke passer inn i vindusspalten dersom bygningen har satt seg.</p>	<p>Varevinduer er et kostbart arrangement, da dette også inkluderer inngrep på bygningskroppen i form av blant annet å opprette luftespalter i ytterste vindu.</p> <p>Endring av varevinduets U-verdi gav ikke stort utslag i simulering. Derfor vil det ikke gi stort utslag på netto oppvarmingsbehov at vinduer med U-verdi 2,2 W/m²K monteres, som vil være en rimeligere løsning. Dersom bygningskroppen ved en senere anledning vurderes å etterisolerers vil vinduenes U-verdi utgjøre en større relativ betydning på bygningens energibehov.</p>

Scenario	Praktisk gjennomførbarhet	Økonomiske gjennomførbarhet
<p><i>D og F – Varevindu med henholdsvis 1,5 og 2,2 W/m²K, samt etterisolering av loftet</i></p>	<p>Etterisolering av loftet, enten gulvet eller taket, kan utføres på ulike måter. Utførelsen blir ikke fastbestemt i oppgaven.</p> <p>Etterisolering av kaldloftet kan redusere skolens varmetap. Utførelsen av tiltaket må sikre at dannelse av fukt og mugg ikke oppstår, så tilstrekkelig lufting er nødvendig. Dermed kan etterisolering av gulvet være den sikreste løsningen. Derimot grunnet lave takhøyder kan etterisolering av gulvet skape problemer for ventilasjonsaggregatene som skal plasseres på loftet. Muligheten for å etterisolere undersiden av loftsgulvet bør utforskes.</p>	<p>Energibesparelsen ved å etterisolere loftet regnes som stor, dersom antagelsene om at store deler av luftlekkasjen skjer via loftet er korrekt.</p> <p>I utførelsen av tiltaket må planlegging gjøres omhyggelig for å hindre fuktproblemer, og dette kan medføre dyrere løsninger, men i et lengre tidsperspektiv kan det spare kostnader for eventuelle utbedringer av skader.</p>
Scenario	Praktisk gjennomførbarhet	Økonomiske gjennomførbarhet
<p><i>G og L – Superisolerte vinduer med U-verdi 0,9 W/m²K</i></p>	<p>Virkningen av de superisolerte vinduene krever korrekt innsettelse av karmene. Da innsetnings-punktet for vinduene til Ny Krohnborg skolen kan ha ujevn form ettersom bygningen kan ha satt seg kan det hende de superisolerte vinduenes karm ikke passer korrekt, og dermed vil U-verdien til karm/ramme og vinduet øke.</p> <p>Samtidig viste simuleringene at superisolerte vinduer ikke vil gi en betydelig reduksjon av netto oppvarmingsbehov, så lenge resten av bygningskroppen har høye U-verdier.</p>	<p>Superisolerte vinduer vil ikke gi betydelig reduksjon i netto oppvarmingsbehov. Tiltaket regnes derfor ikke som lønnsomt, da investeringskostnadene ikke vil nedbetales.</p>

Tiltak	Praktisk gjennomførbarhet	Økonomiske gjennomførbarhet
<i>Scenario H, I, J, K og L – etterisolering av fasadene mot sør- og nordvest til U-verdi 0,23 W/m²K</i>	<p>Dette tiltaket går imot byantikvarens krav om at fasadene skal beholde sitt arkitektoniske uttrykk. Likevel ble tiltaket simulert for å se virkningen å etterisolere enkelte av fasadene.</p> <p>Ettersom verneverdige bygninger har generelt store energibehov bør mulighetene for å kunne utføre energibesparende tiltak på fasader som ikke er synlig for allmennheten, som bakgårder og baksiden av bygningen undersøkes. Hvis det viser seg at dette vil gi en betydelig reduksjon i energibehovet bør tiltaket vurderes.</p>	<p>Investeringskostnadene antas å være store, men reduksjonen i netto oppvarmingsbehov er samtidig betydelig og dermed bør tiltaket vurderes.</p>
Tiltak	Praktisk gjennomførbarhet	Økonomiske gjennomførbarhet
<i>Scenario J, K og L – endring av luftmengdene</i>	<p>Luftmengdene må beregnes i forhold til personbelastning og materialbelastning.</p> <p>Luftmengdene påvirker netto oppvarmingsbehov, samt både CO₂-nivået og temperaturforholdene.</p> <p>Endring i luftmengdene kan påvirke dimensjoneringen av kanalnettet og aggregatet.</p> <p>Dette er gjennomførbart ettersom hele kanalnettet skal være nytt etter rehabilitering.</p>	<p>Nødvendige luftmengder bør ikke bli bestemt av økonomiske vurderinger, men med hensyn til inneklima og helse.</p>

Tiltak	Praktisk gjennomførbarhet	Økonomiske gjennomførbarhet
<p><i>Mekanisk balansert ventilasjon med varmegjenvinner med virkningsgrad på 75 %</i></p>	<p>Mekanisk balansert ventilasjon med vil kunne gi bidra til å gi et bedre inneklima i bygningen. Tilførte luftmengder vil være temperert og tilført rommet ved omrøring, hvor luftens forurensninger blir uttynnet. Dette gir et tilfredsstillende CO₂- nivå i skolebygningen. Varmegjenvinnerens virkningsgrad i SIMIEN er konstant, mens den i realiteten vil for utette bygninger blir påvirket av infiltrasjon og eksfiltrasjon. Dermed kan det ikke garanteres for at varmegjenvinneren blir like effektiv som designet. På grunn av et relativt høyt lekkasjetall og dermed infiltrasjon som medfører at uteluft siver inne gjennom bygningskroppen vil ikke varmegjenvinneren ha samme virkningsgrad som designet. Dette vil gi spesielt utslag ved høye vindhastigheter mot bygningens fasader.</p>	<p>Mekanisk balansert ventilasjon med varmegjenvinner med virkningsgrad på minst 75 % vil bidra til lavere oppvarmingsbehov, men faktisk besparelse vil være noe usikker.</p> <p>Balansert ventilasjon vil bidra til bedre inneklima, og dermed bør ikke bestemmelsen av tiltaket kun betraktes i et økonomisk perspektiv.</p> <p>Ventilasjonsystemet har trolig en høy investeringskostnad, men er et nødvendig tiltak ved skolen.</p> <p>Drift av ventilasjonsanlegget, som oppvarming av luften, samt elektrisk energi til viftene, kan reduseres ved gode reguleringssystemer som tilfører luft etter behov.</p>
Tiltak	Praktisk gjennomførbarhet	Økonomiske gjennomførbarhet
<p><i>Skifte ut varmeanlegget</i></p>	<p>Hele det gamle varmeanlegget skal skiftes ut. Dersom de nye dimensjonene ikke blir svært ulik de gamle kan de eksisterende føringsveiene benyttes, både for rørføringen og radiatorene.</p>	<p>Investering i nytt varmeanlegg kan gi stor reduksjon i levert energi, da systemet blir mer effektivt.</p> <p>Det gamle varmeanlegget i skolen var ikke isolert, som medfører varmetap i systemet, og økt behov for levert energi. Varmetapet er størst i kalde rom som kjeller og loft, og tapet kan bli relativt stort dersom uisolert rør føres gjennom slike rom. Størrelsen på varmetapet blir ikke omtalt i oppgaven.</p>

12 KONKLUSJON

Ved rehabilitering av verneverdige bygninger stilles det spesielle krav til hvilke tiltak som kan gjennomføres. Samtidig er det et mål at bygningens energibehov skal reduseres og inneklima skal være tilfredsstillende. Å rehabilitere bygningen uten at det reduserer bygningens kulturhistoriske verdi kan i mange sammenhenger kollidere med ønsket om et lavt energibehov. Likevel påpekes viktigheten i å bevare Norges kulturarv.

De viktigste funnene i masteroppgaven er:

- Det er sammenheng mellom ventilasjonsluftmengdene og infiltrasjonstapet. Tap på grunn av under- og overtrykk som skyldes ventilasjonsanlegget tillegges ventilasjonstapet, selv og dette også vil medføre luftstrømning gjennom bygningskroppen, som er karakteristisk for infiltrasjon.
- Å montere varevindu uten å bedre bygningskroppen ytterligere vil gi en liten reduksjon i lekkasjetallet og forventet reduksjon i netto oppvarmingsbehov er ca. 11 %.
- Å bedre varevinduenes U-verdi fra 2,2 til 1,5 W/m²K har minimal effekt på netto oppvarmingsbehov og er ikke nødvendig å utføre, så lenge omgivende yttervegger har dårlig U-verdi.
- Å montere varevindu og samtidig etterisolere loftet kan redusere netto oppvarmingsbehov med ca. 20-25 %. Dette betinger at lekkasjetallet reduseres betraktelig ved at loftet isoleres og samtidig tettes.
- Virkningen av enkelttiltakene vil variere i forhold til hvilken tilstand bygning er i før tiltaket utføres, samt andre tiltak som samtidig utføres på bygningen.
- Lekkasjetallets betydning øker desto bedre U-verdier bygningskroppen har. For en tett til en meget utett bygning doubles energibehovet for middels god bygningskropp, mens det øker kun med kun 4 % for en bygningskropp med dårlige U-verdier.
- Betydningen av å bedre bygningens U-verdier øker med byggets tetthetsgrad.
- Ved å redusere transmisjonstapet vil også lekkasjetallet bli påvirket. For konstante lekkasjetall øker netto oppvarmingsbehov lineært med bygningens varmetapstall.
- Det anbefales å utføre tetthetsprøver av bygningen før og etter bygningen er rehabilitert. Dette kan utføres ved å benytte flere trykksettingsvifter for å oppnå et høyt nok trykk. Det anbefales

også å termofotografere bygningen for å lokalisere lekkasjepunktene.

- Beregnet levert energi er en usikker verdi så lenge systemvirkningsgradene og fordeling mellom grunnlast og topplast ikke er kjent.
- For å oppnå tilfredsstillende temperaturforhold ved sommerforhold må det monteres effektiv solskjerming, som for eksempel utvendig solskjerming. Innvendig solskjerming er ikke tilstrekkelig, fordi varme transmitteres inn.
- CO₂-nivået blir tilfredsstillende ved bruk av mekanisk balansert ventilasjon.
- Utvendig etterisolering av fasadene mot sørvest og nordvest gir størst reduksjon av netto oppvarmingsbehov. Tiltaket går imot byantikvarens krav. Det oppfordres til å diskutere mulighetene for total rehabilitering av enkelte fasader som ikke er synlige for allmennheten, dersom dette gir en betydelig reduksjon i energibehovet.
- Dersom bygningen ble bygget etter tiltaksmetoden i TEK07 vil det være en signifikant reduksjon for netto oppvarmingsbehov. Deler av årsaken til den store reduksjonen kan tilskrives store interne varmelaster som reduserer oppvarmingsbehovet ved vinterforhold.
- Med utilstrekkelig og unøyaktige bakgrunnsmateriale vil ikke en økonomisk lønnsomhetsanalyse være pålitelig. Dette kan forårsake økonomiske feilvurderinger og mulighet for å velge feil løsninger og tiltak på bygningen.

Energiberegning av eksisterende bygninger inneholder usikkerhetsmomenter, som kan ha innvirkning på resulterende netto energibehov og inneklima. Derfor må antagelser og resultatene vurderes kritisk for å sikre at de samstemmer mest mulig med virkeligheten. Dette er svært aktuelt da energimerkeordningen trer i kraft i 2010. Det kan være vanskelig på forhånd å forutsi hvor omfattende arbeidet med å innhente tilstrekkelig informasjon vil være, men for at resulterende verdier fra simuleringene skal bli pålitelige, er nødvendig å skaffe mest mulig detaljert informasjon.

13 FORSLAG TIL VIDEREFØRING AV MASTEROPPGAVEN

Utarbeide en nasjonal veileder som kan benyttes av rådgivere innen rehabilitering av verneverdige bygninger.

Gjøre en detaljert økonomisk betraktning av prosjekterings-, byggings- og materialkostnadene i forhold til hvilken effekt tiltakene utgjør med tanke på redusert energibehov og bedre inneklima.

14 BIBLIOGRAFI

- Arbeidstilsynet. (2006, Januar). *Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. (Arbeidstilsynet) Hentet 10 2009 fra <http://www.arbeidstilsynet.no/artikkel.html?tid=78883#5>
- Bakke, J. V. (2007, 12 10). Hentet 08 31, 2009 fra Oppvarming, varmekilder og inneklime: <http://www.vvs-forum.no/oppvarming-varmekilder-og-inneklime.4442389-84371.html>
- Bergen byantikvar. (2007). Antikvarisk dokumentasjon - Ny Krohnborg skole. Bergen kommune, Byrådsavdeling for byutvikling.
- Bergen byantikvar. (2010a, 01 07). *Byarkivet*. Hentet 20 01, 2010 fra http://www.oppslagsverket.no/byarkiv/byarkivet.jsp?URL=/servlet/byarkiv.VisTemaord%3Ftemaord_id%3D849
- Bergen byantikvar. (2010b, 01 07). *Byarkivet*. Hentet 01 20, 2010 fra www.oppslagsverket.no/byarkiv/byarkivet.jsp?URL=/servlet/byarkiv.VisTemaord%3Ftemaord_id%3D849
- Bergen kommune. (2008b, Mars 17). *Rehabilitering av Ny Krohnborg skole*. Hentet Mars 20, 2010 fra http://www3.bergen.kommune.no/bbe_/ekstern/ny_krohnborg_skole_rehabiliter.html
- Bergen kommune. (2009, 10 29). *Skole og utdanning*. Hentet 02 01, 2010 fra <https://www.bergen.kommune.no/skole?artSectionId=803&articleId=8841§ionId=803>
- Bergen kommune. (2008a). *Skolebruksplan for Bergen*. Hentet fra https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00000/Skolebruksplan_for_Ber_922a.pdf
- Boligvurdering. (2010). *Trykktesting av bygg, hvordan foregår det?* Hentet 04 2010 fra http://www.boligvurdering.no/index.php?option=com_content&view=article&id=17&Itemid=17
- Byggforsk. (1989). Bygningsvern - Definisjoner, verneverdier og bygningspleie. *Byggforskserien - Byggforvaltning NBI 612.012* .
- Byggforsk. (2007a, Januar). Eldre yttervegger av mur og betong - Metoder og materiale. *Byggforskserien - Byggforvaltning* .
- Byggforsk. (2003). Etterisolering av betong- og murvegger. *Byggforskserien - Byggforvaltning - 723.312* .

- Byggforsk. (2006, 02). *Forbedring av lydisolasjonen til eksisterende vinduer*. Hentet 04 2010 fra Byggforskserien Byggforvaltning 733.109.
- Byggforsk. (2007b, 01). Gulv på grunnen og etasjeskillere av stål og betong i bygårder fra perioden 1850-1955. 722.311 *Byggforskserien* .
- Byggforsk. (2007c, 01). *Måling av bygningers lufttetthet Trykkmetoden*. Hentet 2010 fra Byggforskserien 720.035.
- Byggforsk. (2003, 01). *U-verdier Tak*. Hentet 05 2010 fra Byggforskserien Byggdetaljer 471.013.
- Byggforsk. (2004). *Varmeisolasjonsmaterialer - Typer og egenskapet. Byggdetaljer 573.344* .
- Dalehaug, A., & Thue, J. V. (2007). Lufttetthet og infiltrasjonstap. I *Enøk i bygninger, effektiv energibruk* (ss. 191-201). Trondheim: Gyldendal.
- Dansk bygningsarv. (2009, Juli). *Energianvendelse i historiske bygninger*. Hentet 03 19, 2010 fra http://www.bygningsarv.dk/uploads/37704/Rapport_Energianvendelse_i_historiskebygninger_Dansk_Bygningsarv.pdf
- Direktorat for samfunnssikkerhet og beredskap. (2010, 01). *Beregning av bygningskonstruksjoners varmeisolasjon*. Hentet 03 2010 fra Oppslagsverket: <http://oppslagsverket.dsb.no/content/arkiv/planbygg/Byggforskrift-1949-bind-I/2/4/4/.pdf?expand-content=on>
- Enova. (2004, 02). *Manual for Enøk normtall. Enova håndbook* . Trondheim.
- European Commission. (2003). *Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy*. Institute for health and consumer protection. Luksenburg: European Commission.
- Flack, O. (1997). *Det er så tørr luft her! - Inneklima og ventilasjon i praksis*. Oslo: Kommuneforlaget.
- Folkehelseinstituttet. (-). *Aspest og syntetiske mineralfibrer*. Hentet fra Folkehelseinstituttet: <http://www.fhi.no/dav/CB0DE039F8.pdf>
- Folkehelseinstituttet. (2008, 03). *Astma og allergi*. Hentet 10 2009 fra http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,3273:1:0:0:::0:0
- Folkehelseinstituttet. (2009, 03). *Flyktige organiske forbindelser*. Hentet 11 2009 fra http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainLeft_6039&MainArea_5661=6039:0:15,4517:1:0:0:::0:0&MainLeft_6039=6041:70201::1:6043:6:::0:0#eHandbook702013

Folkehelseinstituttet. (2007, 01). *Nitrogendioksid*. Hentet 11 2009 fra http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,3176:1:0:0:::0:0

Folkehelseinstituttet. (2005, 05). *Svevestøv*. Hentet 11 2009 fra http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=233&trg=MainArea_5661&MainArea_5661=5631:0:15,3174:1:0:0:::0:0

Glava. (2008, 03). *Isolasjon*. Hentet 2010 fra <http://www.glava.no/>

Grytli, E. (2002, August). Vernehensyn i ombyggingsprosjekter.

Trondheim:

http://www.metamorfose.ntnu.no/dok/Vernehensyn_i_ombyggingsprosjekter.pdf.

Gundersen, P. (2000). *Energifleksible varmeanlegg, energieffektive vannbårne lavtemperaturvarme*. Oslo: Byggforsk.

Gustavsen, A., Thue, J. V., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S., et al. (2008). *Kuldebroer-Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*. Oslo: SINTEF byggforsk.

Hanssen, S. (2007). I S. N. Hanssen, *Enøk i bygninger – Effektiv energibruk* (3. utg., ss. 99-136). Gyldendal Norsk Forlag AS.

Hanssen, S. (2007). Økonomi. I S. O. Hanssen, *Enøk i bygninger, effektiv energibruk* (ss. 71-86). Oslo: Gyldendal undervisning.

Haugen, E. N. (2009, 9 15). Fuktproblematikk i bygg og anlegg. Mikrober-venn eller fiende? Hva er mikrobiell foruresning, og hva er normalt? Trondheim: NTNU.

Haukland, K. D. (2009). *Inneklima og effektiv energibruk*. Trondheim : NTNU.

Husbanken. (2007, 09). *Miljøriktig riving av boliger*. Hentet 03 2010 fra http://www.husbanken.no/Venstremeny/Miljo%20og%20energi/Byggea_vfall/Riving.aspx

Høseggen, R. Z. (2009, 10). Nye energikrav til yrkesbygg, hvordan bruke NS 3031 i forhold til TEK? Trondheim: NTNU.

Lovdata. (2009, 12). Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg (energimerkeforskriften).

Lovdata. (2010). *Lov om kulturminner*. Hentet 02 08, 2010 fra <http://www.lovdata.no/all/hl-19780609-050.html>

Lovdata. (2010, 01). *Plan- og bygningsloven*. Hentet 02 2010 fra Lovdata: <http://www.lovdata.no/all/nl-19850614-077.html>

Multiconsult. (2009, 10 14). Biblioteker til energimerkeordningen. *Notat 03-09*. Oslo: Multiconsult.

Multiconsult. (2009a, 10 14). Biblioteker til energimerkeordningen. *Notat 09-03*.

Multiconsult. (2006, 08). *Bygningsenergidirektivet*. Hentet 04 2010 fra Veiledning for næringsbyggrådgivere:

http://www.energimerking.no/Global/energimerking/Dokumenter/Veiledning_n%C3%A6ringsbyggr%C3%A5dgivere.pdf

Multiconsult. (2009b). Bygningsfysikk i rehabiliterings- og ombyggingsprosjekter. *Bygningsfysikk i praksis*. Multiconsult.

Multiconsult. (2007, 06). Tilstandsvurdering bygg. *Ny Krohnborg skole*.

Mursenteret. (2001). *Tegl og teglmurverk*. Hentet 04 2010 fra

Murbransjens forsknings- og informasjonsskontor:

http://www.handverksmur.no/images/Marketing/Murkatalogen/M1__PDF.pdf

NAAF. (2009d). *Bakterieinnhold i støv*. Hentet 10 1, 2009 fra Norges Astma og allergiforbund:

<http://www.inneklima.com/index.asp?browse=99,18&context=99,18&document=199>

NAAF. (2009). *Norges astma- og allergiforbund*. Hentet 04 2010 fra

Inneklima i skoler og barnehager - en kartlegging av de ansattes vurdering av inneklima på arbeidsplassen:

<http://www.naaf.no/Documents/Inneklima/Rapport%20skole-barnehager%2017082009.pdf>

Nicol, & Humphreys. (2006). *Maximum temperatures in European office buildings to avoid heat discomfort*. <http://www.sciencedirect.com>.

Norsk standard. (2007). *NS-EN 13779 - Ventilasjon i yrkesbygninger, ytelseskrav for ventilasjons- og romklimatiseringssystemer*. Brussel: Norsk standard.

NS 3031. (2007). *NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse, Metode og data*. Norsk standard.

NS-EN 13779. (2007). Ventilasjon i yrkesbygninger-Ytelseskrav til ventilasjons- og romklimatiseringssystem. *Norsk Standard*. Pronorm AS.

NS-EN 15251. (2007). Inneklimaparametre for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneklimakvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. *Norsk Standard*. Pronorm AS.

- NS-EN ISO 7730. (2006). *NS-EN ISO 7730 Ergonomi i termisk miljø-analytiske bestemmelser og tolkninger av velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal komfort (ISO 7730:2005)*. Pronorm AS.
- NVE. (2009). *Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg*. Hentet fra <http://www.nve.no/Global/Publikasjoner/Publikasjoner%202009/Dokument%202009/dokument19-09.pdf>
- NVE. (2009). Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg. *Energimerkeforskriften*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Oppland fylkeskommune. (2008, 04 08). Hentet 02 12, 2010 fra <http://www.oppland.no/Fag-og-tjenester/Kulturvern/Fredet-eller-verneverdig--verdt-a-ta-vare-pa/>
- Oppslagsverket. (2010, 01 09). *Ny Krohnborg skole*. Hentet 02 01, 2010 fra http://www.oppslagsverket.no/byarkiv/byarkivet.jsp?URL=/servlet/byarkiv.VisTemaord%3Ftemaord_id%3D849
- Programbyggerne. (2010). *ProgramByggerne*. Hentet 01 25, 2010 fra <http://programbyggerne.no/>
- Rambøll. (2009). Notat - Inneklima . Bergen: Rambøll .
- Rambøll. (2010, 02 23). Ny Krohnborg skole forprosjektsrapport. *Forprosjekt* . Bergen.
- Rambøll. (2009). Ventilasjonsaggregatene ved Ny Krohnborgskole. *Notat* . Bergen.
- Riksantikvaren. (2008, 12 03). *Miljøstatus*. Hentet 02 12, 2010 fra Bygningsarven: <http://www.miljostatus.no/Tema/Kulturminner/Bygningsarven/#A>
- Riksantikvaren. (2010, 02). *Miljøstatus i Norge*. Hentet 04 2010 fra Fredete byggverk: <http://www.miljostatus.no/tema/kulturminner/bygningsarven/fredete-byggverk/>
- Rødahl, E., & Novakovic, V. (2007). Samspill mellom bygning og klimasystem. I S. N. Hanssen, *Enøk i bygninger - Effektiv energibruk* (ss. 349-360). Oslo: Gyldendal undervisning.
- Sintef. (2007, 03). Nye energikrav - hva innebærer dette av endringer? *Endring i teknisk forskrift* .
- Skåret, E. (2000). *Ventilasjonsteknisk håndbok*. Trondheim: Byggforsk.

Statistisk sentralbyrå. (2006a). *Statistikkbanken*. Hentet fra <http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/>

Store norske leksikon. (2010). *Store norske leksikon*. Hentet 02 05, 2010 fra <http://www.snl.no/>

Teknisk forskrift. (2007). Forskrift om krav til byggverk og produkter i byggverk (TEK).

The Commtech Group. (2003b). Physical Climate Factors. I P.-E. A. Nilsson, *Achiving the Desired Indoor Climate* (ss. 91-212). Lund: Studentlitteratur.

Thue, J. V. (2007a). I S. N. Hanssen, *Enøk i bygninger – Effektiv energibruk* (3. utg., ss. 169-189). Gyldendal Norsk Forlag AS.

Thue, J. V. (2007b). Kontrolltiltak. I S. N. Hanssen, *Enøk i bygninger, Effektiv energibruk* (ss. 218-224). Oslo: Gyldendal.

Thue, J. V., & Novakovic, V. (2007). I S. N. Hanssen, *Enøk i bygninger, effektiv energibruk* (ss. 328-340). Oslo: Gyldendal undervisning.

Trondheim kommune. (2004). *Skal kommunen rehabilitere skolen eller skal den rivese og bygges opp på nytt?*. Hentet 03 2010 fra http://www.skoleanlegg.utdanningsdirektoratet.no/asset/1439/1/1439_1.PDF

15 VEDLEGG

Vedlegg A - Arkitekttegning fra Bergen byantikvar

A.1 - Arkitekt tegning av skjema over østre taktårn med kanalordning, fra Bergen byantikvar

Vedlegg B - Beregning av U-verdier

B.1 - Presentasjon av grenerelle formler

B.2 - Beregning av U-verdi for Natursteinsmur

Vedlegg C - Areal av fasader, vindu og tak

Vedlegg D - Soneinndeling og skolens areal

D.1 Beregning etter metode i NS 3031

D.2 Soneinndeling og areal

Vedlegg E - Minstekrav

E.1 Minstekrav i Teknisk forskrift 2007

Vedlegg F - Resultater fra simuleringene

F.1 Case 1

F.2 Case 2

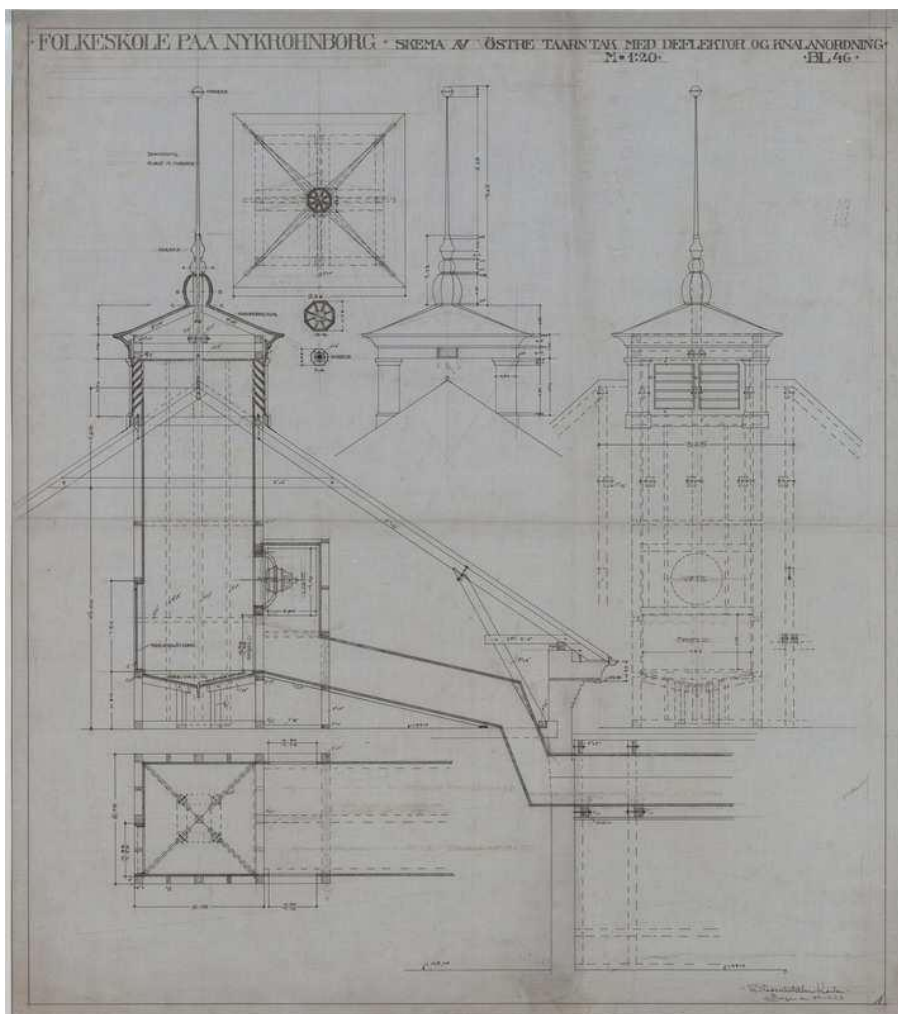
F.3 Case 3

F. 4 Case 4

F.5 Resultater samlet for alle casene

VEDLEGG A

A.1 Skjema over østre taktårn med kanalordning



VEDLEGG B

B.1 Beregning av U-verdier

Generelle formler for enkelt beregning gjennom homoget sjikt:

$$U = \frac{1}{R}$$

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

U U-verdi [W/m²K]

R Varmemotstand [m²K/W]

d Tykkelse [m]

λ Varmeledningsevne/varmekonduktivitet [W/mK]

I tillegg må overgangsmotstanden for utvendig og innvendig flate legges til:

R_{utvendig} 0,04 [m²K/W]

R_{innvendig} 0,13 [m²K/W]

Beregning av U-verdi for NATURSTEINSMUR

d 300-500 mm ifølge tilstandsrapport

λ 2,9 W/mK

R = 0,4/2,9 = 0,14 [m²K/W]

R_{total} = 0,14 + 0,04 + 0,13 = 0,3 [m²K/W]

U = 1/0,3 = 3,33 [W/m²K]

VEDLEGG C

Areal av fasade, vindu og tak

Plan 0	Total fasade			Vinduer			
	Lengde	Høyde	Areal	Høyde	Bredde	Antall	Totalt areal
Nørdøst							
Fasade	30,8	5	154				
Vindu				2,3	1,5	6	21
Vindu				2,3	1,5	6	21
Sørøst							
Fasade	33,6	1,8	60,48				
Fasade u/bakken	33,6	3,2	107,52				
Vindu					1,2	7	0
Sørvest							
Fasade	16,3	3,2	52,16				
Fasade u/bakken	16,3	1,8	29,34				
Vindu				2,3	1,5	4	14
Sørøst							
Fasade	28,2	2,5	70,5				
Fasade u/bakken	28,2	2,5	70,5				
Vindu				1,5	1,5	4	9
Vindu				0,8	0,8	2	1

Plan 1	Total fasade			Vinduer			
	Lengde	Høyde	Areal	Høyde	Bredde	Antall	Totalt areal
Nordøst							
Fasade	101,9	4	407,6				
Vindu				2,1	1,5	10	32
Vindu				0,9	0,9	2	2
Vindu				2,8	1,5	1	4
Vindu				2,8	1,5	4	17
Vindu				2,3	1,5	4	14
Sørøst							
Fasade	49,1	4	196,4				
Vindu				2,1	1,5	10	32
Vindu				2	3,6	1	7
Vindu				1,15	0,5	7	4
Sørvest							
Fasade	110,4	4	441,6				
Vindu				2,3	1,5	3	10
Vindu				2,2	1,5	20	66
Vindu				2,8	1,5	4	17
Nordvest							
Fasade	59,7	4	238,8				
Vindu				2,1	1,5	3	9
Vindu				2,2	1,5	3	10
Vindu				2,1	1,5	1	3
Vindu				1,15	0,5	7	4

Plan 2	Total fasade			Vinduer			
	Lengde	Høyde	Areal	Høyde	Bredde	Antall	Totalt areal
Nordøst							
Fasade	95,7	4	382,8				
Vindu				2,2	1,5	14	46
Vindu				2,2	1,5	2	7
Vindu				2,2	1,5	3	10
Vindu				1	1,5	1	2
Sørøst							
Fasade	49,7	4	198,8				
Vindu				2,2	1,5	12	40
Vindu				2,2	0,6	2	3
Vindu				0,4	0,4	7	1
Sørvest							
Fasade	98,5	4	394				
Vindu				2,2	1,5	31	102
Vindu				2,2	1,5	1	3
Nordvest							
Fasade	63,5	4	254				
Vindu				0,4	0,4	7	1
Vindu				3	3,4	1	10
Vindu				2,2	1,5	4	13
Vindu				2,2	1,5	2	7
Vindu				2,2	3,4	1	7

Plan 3	Total fasade			Vinduer			
	Lengde	Høyde	Areal	Høyde	Bredde	Antall	Totalt areal
Nordøst							
<i>Fasade</i>	78,9	4	315,6				
<i>Tak</i>	16,4	6,5	106,6				
<i>Vindu</i>				2,2	1,5	14	46
<i>Vindu</i>				0,9	0,9	2	2
Sørøst							
<i>Fasade</i>	12,8	2	25,6				
<i>Tak</i>	44,7	6,5	290,55				
<i>Vindu</i>				1,3	1,4	8	15
Sørvest							
<i>Fasade</i>	77,8	4	311,2				
<i>Tak</i>	16,4	6,5	106,6				
<i>Vindu</i>				2,2	1,5	24	79
Nordvest							
<i>Fasade</i>	10	2	20				
<i>Tak</i>	45,9	6,5	298,35				
<i>Vindu</i>				0,7	0,7	3	1

Plan 4	Total fasade			Vinduer			
	Lengde	Høyde	Areal	Høyde	Bredde	Antall	Totalt areal
Nordøst							
Tak	50	6,5	325				
Fasade	24	4	96				
Vindu				1,5	1,5	7	16
Sørøst							
Fasade	12,8	4	51,2				
Tak	12,8	3,3	42,24				
Sørvest							
Tak	50	6,5	325				
Fasade	24	4	96				
Vindu				1,5	1,5	8	18
Nordvest							
Fasade	12,8	4	51,2				
Tak	12,8	3,3	42,24				
Vindu				1,5	1,5	3	7

VEDLEGG D

Soneinndeling som følge av ulikt soltilskudd er beregnet etter metode angitt i NS 3031, kapittel 6.1.1.2.1 Varmetilsudd fra sol.

D.1 Beregning etter metode angitt i NS 3031

Finn produktet av arealandelen (%) vinduer, dører og glassfelt, y_{sol} , og total solfaktor for vindu og solskjerming, g_t . Dersom $y_{sol} * g_t$ overskrider 5 % skal bygningen deles inn i tre soner; solutsatt fasade, lite solutsatt fasade og en midtsone i bygningen.

Inndeling etter ulikt soltilskudd		
Arealandel til sammen %	Solfaktor u/kunstig solskjerming	Produktet %
14	0,567	8

Inndeling etter ulikt soltilskudd		
Arealandel til sammen %	Solfaktor med kunstig solskjerming	Produktet %
14	0,44	6

D.2 Soneinndeling**Tabellene viser soneinndelingen i SIMIEN:**

Bygning	0	1	2	3	4	Antall soner
A1	0	692,6	723,8	776,7	766,2	3
A2	0	151,6	81,4	118,7	0	2
A3	104,8	141,9	0	0	0	2
B	316,4	389,4	485,8	356,2	0	2

Areal		
SOLUTSATT	LITE SOLUTSATT	MIDTSONE
1165,1	1165,1	629,1
175,9	175,9	x
123,4	123,4	x
773,9	773,9	x

VEDLEGG E

E.1 – Minstekraven i Teknisk forskrift 2007

Det er tillatt å fravike et eller flere av energiltakene, dersom kompensierende tiltak gjør at bygningens energibehov ikke økes.

	U-verdi yttervegg, W/m ² K	U-verdi tak, W/m ² K	U-verdi gulv på grunn og mot det fri, W/m ² K	U-verdi vindu, W/m ² K	Lufttetthet, luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell
Bygning	0,22	0,18	0,18	1,6	3,0

VEDLEGG F

Vedlegg H angir resultatene fra simuleringene av de fire casene.

F.1 CASE 1

F.1.1 – Netto oppvarmingsbehov

Simulering: Scenario *A*, med lekkasjetallet 9 h^{-1} .

Energipost	Energibudsjet	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		1332675 kWh	261,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		75298 kWh	14,7 kWh/m ²
3a Vifter		60350 kWh	11,8 kWh/m ²
3b Pumper		2465 kWh	0,5 kWh/m ²
4 Belysning		82556 kWh	16,2 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		16510 kWh	3,2 kWh/m ²
6a Romkjøling		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		1569855 kWh	307,5 kWh/m ²

Simulering: Scenario *B*, med lekkasjetallet 9 h^{-1} .

Energipost	Energibudsjet	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		1244446 kWh	243,8 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		322532 kWh	63,2 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		75298 kWh	14,7 kWh/m ²
3a Vifter		108046 kWh	21,2 kWh/m ²
3b Pumper		5440 kWh	1,1 kWh/m ²
4 Belysning		165112 kWh	32,3 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		99065 kWh	19,4 kWh/m ²
6a Romkjøling		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		2019939 kWh	395,7 kWh/m ²

F.1.2 – Beregnet levert energi

Simulering: Scenario A, med lekkasjetallet 9 h^{-1} .

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte elektrisitet	2977828 kWh	583.3 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystemer	0 kWh	0.0 kWh/m ²
1c El. til solenergisystemer	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	0 kWh	0.0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0.0 kWh/m ²
6. Annen energivare ()	0 kWh	0.0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	2977828 kWh	583.3 kWh/m²

F.1.3 - Varmetapsbudsjett

Simulering: Scenario A og B, med lekkasjetallet 9 h^{-1} .

Tabellen viser budsjett for fordelingen av varmetapstallet, med prosentvis fordeling av varmetapspostene.

Varmetapsbudsjett (varmetapstall)	Scenario A		Scenario B	
	W/m ² K	%	W/m ² K	%
Varmetapstall yttervegger	0,94	21,5	0,94	23,8
Varmetapstall tak	0,37	8,5	0,37	9,4
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,04	0,9	0,04	1
Varmetapstall glass/vinduer/dører	1,18	27	1,18	29,9
Varmetapstall kuldebroer	0,04	0,9	0,04	1
Varmetapstall infiltrasjon	0,19	4,3	0,77	19,5
Varmetapstall ventilasjon	1,6	36,6	0,6	15,2
Totalt varmetapstall	4,37		3,95	

F.1.4 – Temperaturforhold som sommer- og vinterforhold

Simulering: Scenario A , samt lekkasjetallet 9 h⁻¹.

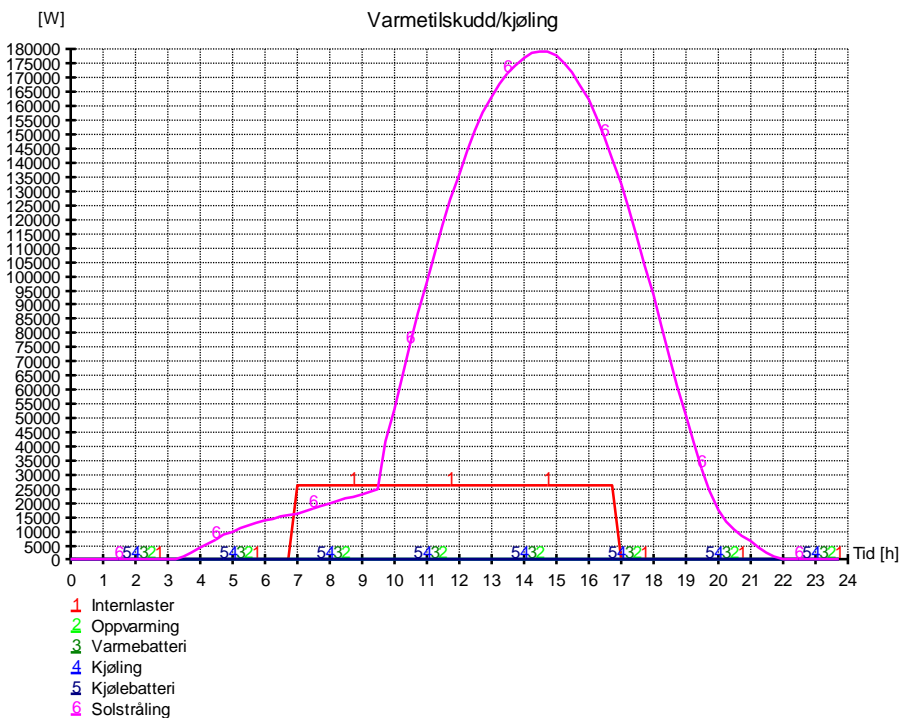
Resultat fra vintersimulering med DUT -11,5 °C.

Dimensjonerende verdier		
Beskrivelse	Verdi	Tidspunkt
Maks. samtidig effekt forvarmebatteri gjenvinner (alle soner)	0 W / 0,0 W/m ²	00:00
Maks. samtidig effekt romoppvarming:	255,3 kW / 50,0 W/m ²	00:00
Totalt installert effekt romoppvarming	255,3 kW / 50,0 W/m ²	00:00
Min. romlufttemperatur:	-3,4 °C	00:00
Min. operativ temperatur:	-3,2 °C	24:00
Maksimal CO2 konsentrasjon (Solutionsatt - Fløy A)	1385 PPM	15:15

Resultat fra sommersimulering.

Dimensjonerende verdier		
Beskrivelse	Verdi	Tidspunkt
Maksimal romlufttemperatur (Solutionsatt - Fløy A):	35,4 °C	15:15
Maksimal operativ temperatur (Solutionsatt - Fløy A)	33,0 °C	15:45
Maksimal CO2 konsentrasjon (Solutionsatt - Fløy A)	792 PPM	15:45

Figur som illustrerer kildene til varmetilskuddet:



Simulering: Scenario B, samt lekkasjetallet 9 h^{-1}

Resultat fra vintersimulering med DUT $-11,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

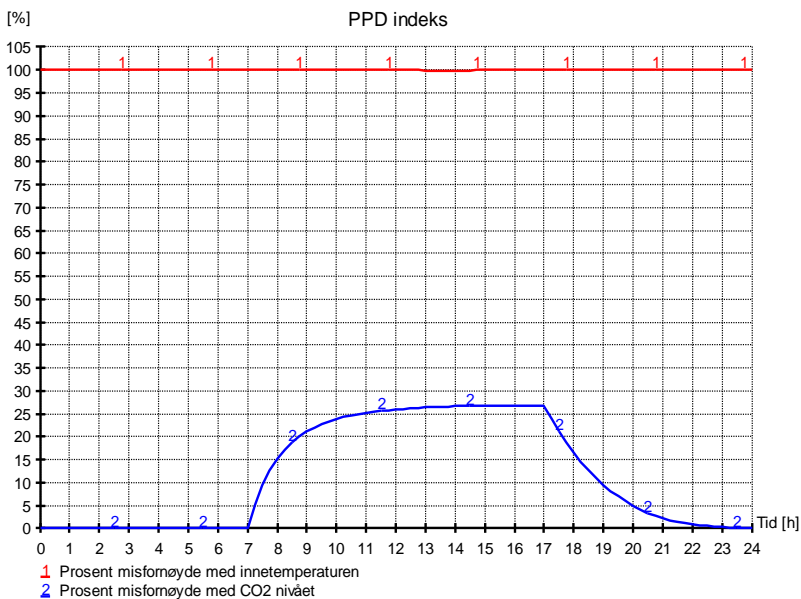
Dimensjonerende verdier			
Beskrivelse	Verdi	Tidspunkt	
Maks. samtidig effekt varmebatterier:	147,1 kW / 28,8 W/m ²	01:30	
Totalt installert effekt varmebatterier	153,2 kW / 30,0 W/m ²	01:30	
Maks. samtidig effekt romoppvarming:	239,3 kW / 46,9 W/m ²	03:45	
Totalt installert effekt romoppvarming	255,3 kW / 50,0 W/m ²	03:45	
Min. romlufttemperatur:	5,8 °C	03:45	
Min. operativ temperatur:	4,1 °C	07:00	
Maksimal CO2 konsentrasjon (Midtsone - Fløy A)	643 PPM	13:00	

Resultat fra sommersimulering.

Dimensjonerende verdier			
Beskrivelse	Verdi	Tidspunkt	
Maksimal romlufttemperatur (Solutsatt - Fløy A):	33,3 °C	15:00	
Maksimal operativ temperatur (Solutsatt - Fløy A)	32,0 °C	15:45	
Maksimal CO2 konsentrasjon (Lite solutsatt - Fløy B)	643 PPM	09:45	

F.1.5 - Forventet prosentandel misfornøyde i forhold til dagens krav ventilasjon og temperaturforhold ved vinterforhold

Simulering: Scenario B, med lekkasjetallet 9 h^{-1}



F.2 CASE 2

F.2.1 - Netto oppvarmingsbehov

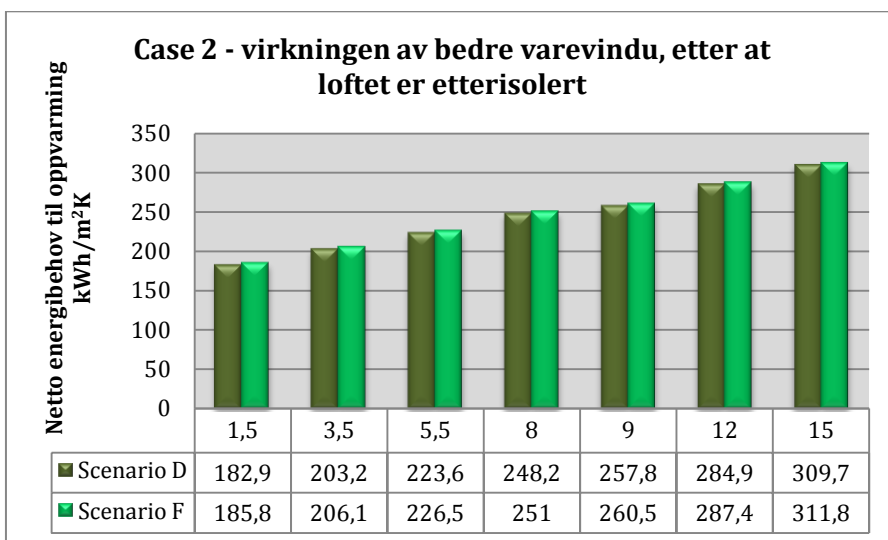
Simulering: Scenario *D*, med lekkasjetallet $5,5 \text{ h}^{-1}$.

Resulterende netto energibehov:

Energipost	Energibudsjett	
	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	913561 kWh	179,0 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	227534 kWh	44,6 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	62800 kWh	12,3 kWh/m ²
3a Vifter	105603 kWh	20,7 kWh/m ²
3b Pumper	4642 kWh	0,9 kWh/m ²
4 Belysning	95043 kWh	18,6 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	68674 kWh	13,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	1477857 kWh	289,5 kWh/m ²

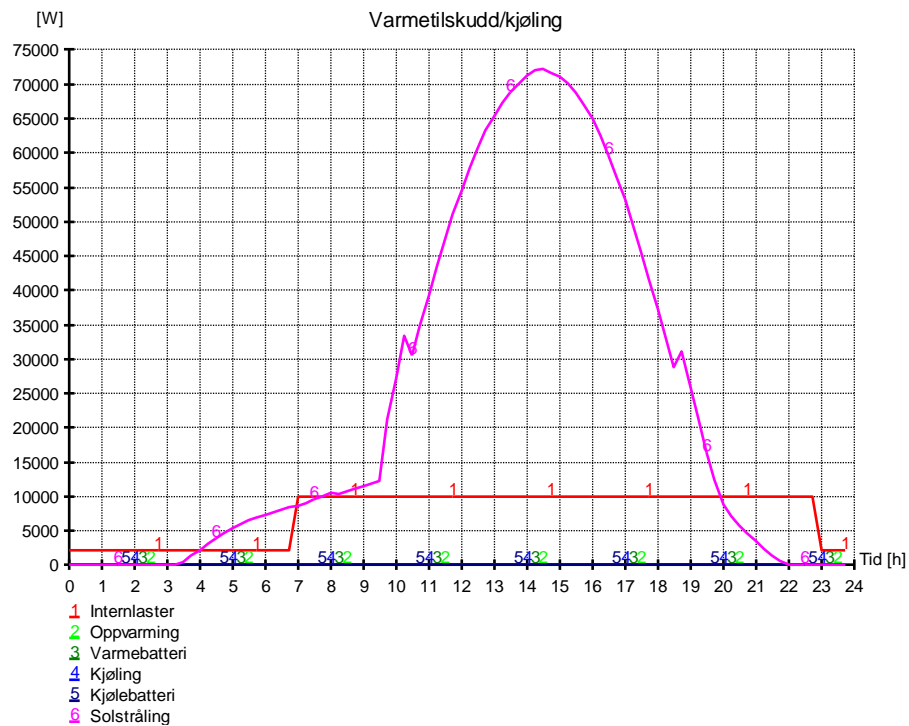
F.2.2 - Virkningen bedre U-verdien til varevinduene, etter at loftet er etterisolert, scenario *D* og *F*

Ved å etterisolere loftet vil virkningen av å bedre varevinduene fortsatt utgjøre en svært liten reduksjon i netto energibehov, vist i figuren.



F.2.3 – Varmetilskudd

Simulering: Scenario D, med lekkasjetallet $5,5 \text{ h}^{-1}$.



F.2.4 - VarmetapstalletSimulering: Scenario *B* og *D*, med lekkasjetallet 9 h^{-1} og $5,5 \text{ h}^{-1}$

	9 h^{-1}				$5,5 \text{ h}^{-1}$	
	Case 1 som bygget med dagens krav		Case 2 - varevindu 1,5 og etterisolert loft		Case 2 - varevindu 1,5 og etterisolert loft	
	Varmetapsbudsjett (varmetapstall) og prosentandel					
	W/m2K	%	W/m2K	%	W/m2K	%
Varmetapstall yttervegger	0,94	23,8	0,94	35,7	0,94	40,3
Varmetapstall tak	0,37	9,4	0,07	2,7	0,07	3,0
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,04	1,1	0,01	0,6	0,01	0,4
Varmetapstall glass/vinduer/dører	1,18	29,9	0,2	7,4	0,2	8,6
Varmetapstall kuldebroer	0,04	1	0,04	1,5	0,04	1,7
Varmetapstall infiltrasjon	0,77	19,5	0,77	29,3	0,47	20,2
Varmetapstall ventilasjon	0,6	15,3	0,6	22,7	0,6	25,8
Totalt varmetapstall	3,95	100	2,62	100	2,33	100

F.2.5 – Beregnet levert energibehov

Simulering: Scenario C, med lekkasjetallet $5,5 \text{ h}^{-1}$

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte elektrisitet	0 kWh	0.0 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystemer	0 kWh	0.0 kWh/m ²
1c El. til solenergisystemer	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	1823829 kWh	357.3 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0.0 kWh/m ²
6. Annen energivare ()	0 kWh	0.0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1823829 kWh	357.3 kWh/m ²

F.2.6- Minimums- og maksimumstemperaturer

Simulering: Scenario D, med lekkasjetallet $5,5 \text{ h}^{-1}$.

Resultat fra vintersimulering med DUT $-11,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Beskrivelse	Dimensjonerende verdier	
	Verdi	Tidspunkt
Maks. samtidig effekt varmebatterier:	94,3 kW / 18,5 W/m ²	01:30
Totalt installert effekt varmebatterier	153,2 kW / 30,0 W/m ²	01:30
Maks. samtidig effekt romoppvarming:	343,8 kW / 67,3 W/m ²	07:00
Totalt installert effekt romoppvarming	255,3 kW / 50,0 W/m ²	07:00
Min. romlufttemperatur:	19,0 °C	07:00
Min. operativ temperatur:	15,3 °C	07:00
Maksimal CO2 konsentrasjon (Lite solutsatt - Fløy A)	671 PPM	13:30

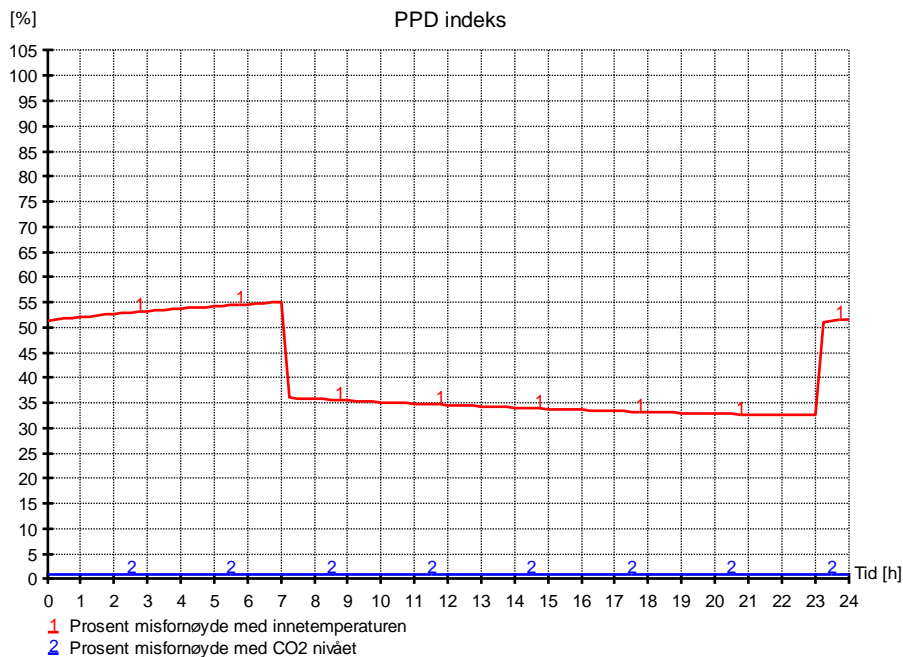
Resultat fra sommersimulering:

Beskrivelse	Dimensjonerende verdier	
	Verdi	Tidspunkt
Maksimal romlufttemperatur (Soluttsatt - Fløy B):	28,0 °C	12:15
Maksimal operativ temperatur (Midtsone - Fløy A)	29,7 °C	16:30
Maksimal CO2 konsentrasjon (Lite solutsatt - Fløy B)	668 PPM	09:30

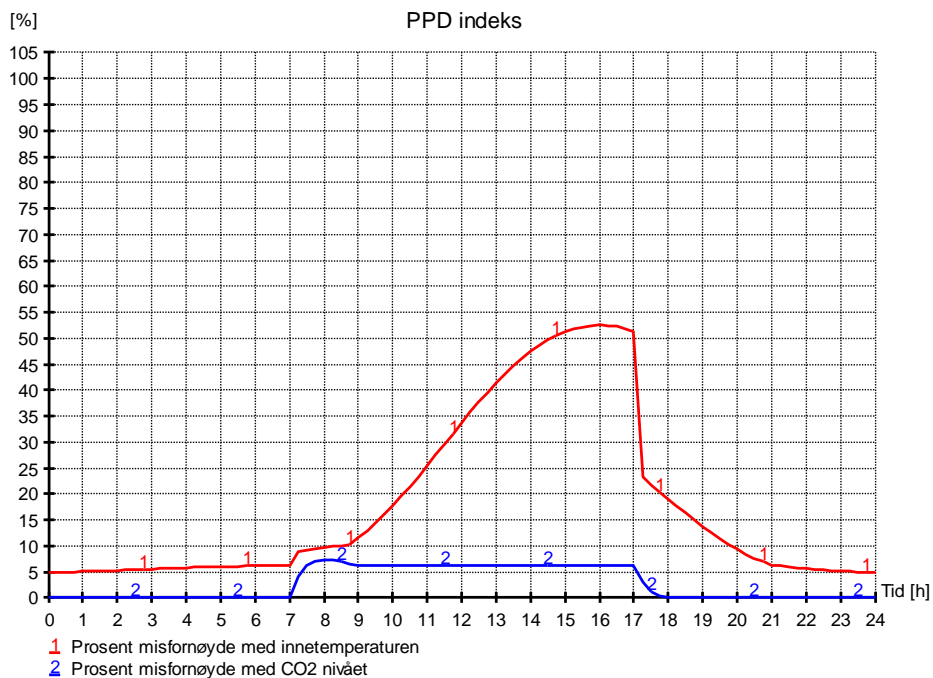
F.2.7 - Forventet prosentandel misfornøyde i forhold til dagens krav ventilasjon og temperaturforhold

Simulering: Scenario *D*, med lekkasjetallet $5,5 \text{ h}^{-1}$.

Figuren viser resultatet for vinterforhold



Figuren viser forventet prosentandel misfornøyde ved sommerforhold for scenario *D*, med lekkasjetall 9 h^{-1} .



F.3 CASE 3

F.3.1 Beregnet netto energibehov

Simulering: Scenario *I* med lekkasjetallet $3,5 \text{ h}^{-1}$.

Energipost	Energibudsjett	
	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	675890 kWh	132,4 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	221345 kWh	43,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	62800 kWh	12,3 kWh/m ²
3a Vifter	106904 kWh	20,9 kWh/m ²
3b Pumper	4508 kWh	0,9 kWh/m ²
4 Belysning	95043 kWh	18,6 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	68674 kWh	13,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	1235163 kWh	242,0 kWh/m ²

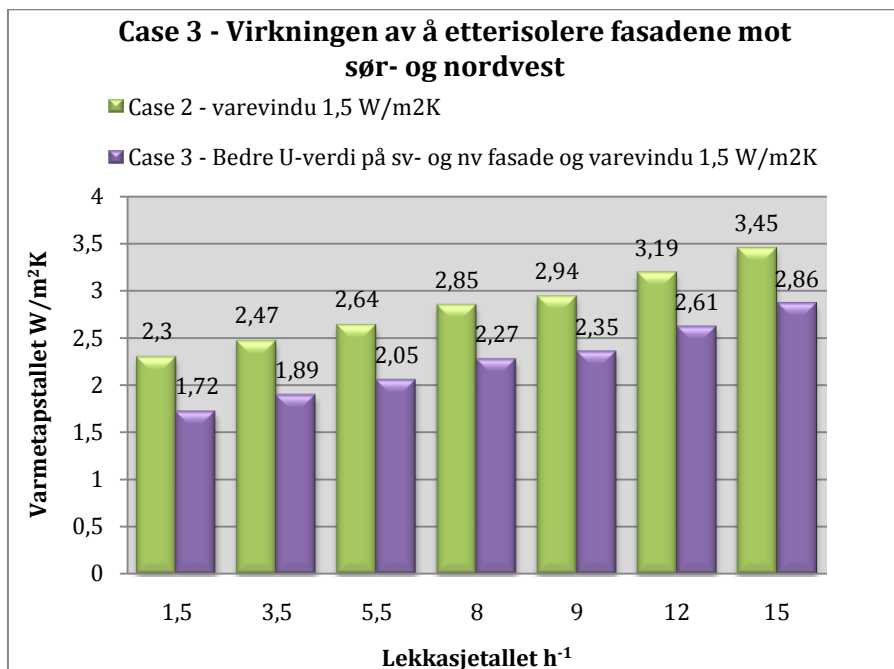
F.3.2 Beregnet levert energi

Simulering: Scenario *I*, med lekkasjetallet $3,5 \text{ h}^{-1}$.

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte elektrisitet	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystemer	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solenergisystemer	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	1403594 kWh	274,9 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energivare ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1403594 kWh	274,9 kWh/m ²

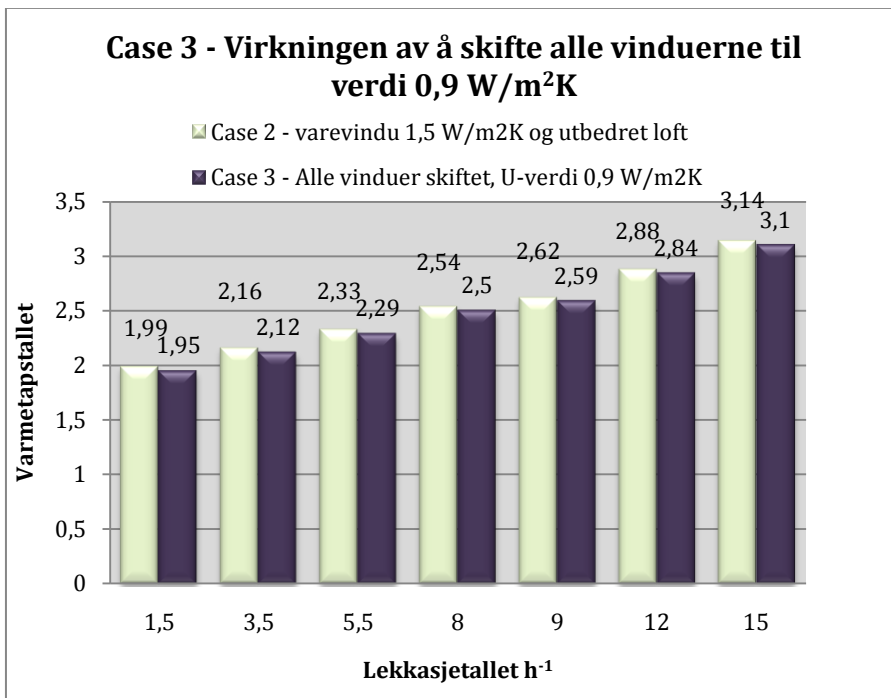
F.3.3 Virkningen av å etterisolereres fasadene mot sør- og nordvest

Tilsvarende virkningen for varmetapstallet for scenario *I*, sammenlignet med scenario *C* fra Case 2.



F.3.4 Virkningen av å montere superisolerte vinduer med U-verdi 0,9 W/m²K

Tilsvarende virkningen for varmetapstallet for scenario G, sammenlignet med scenario D fra Case 2.

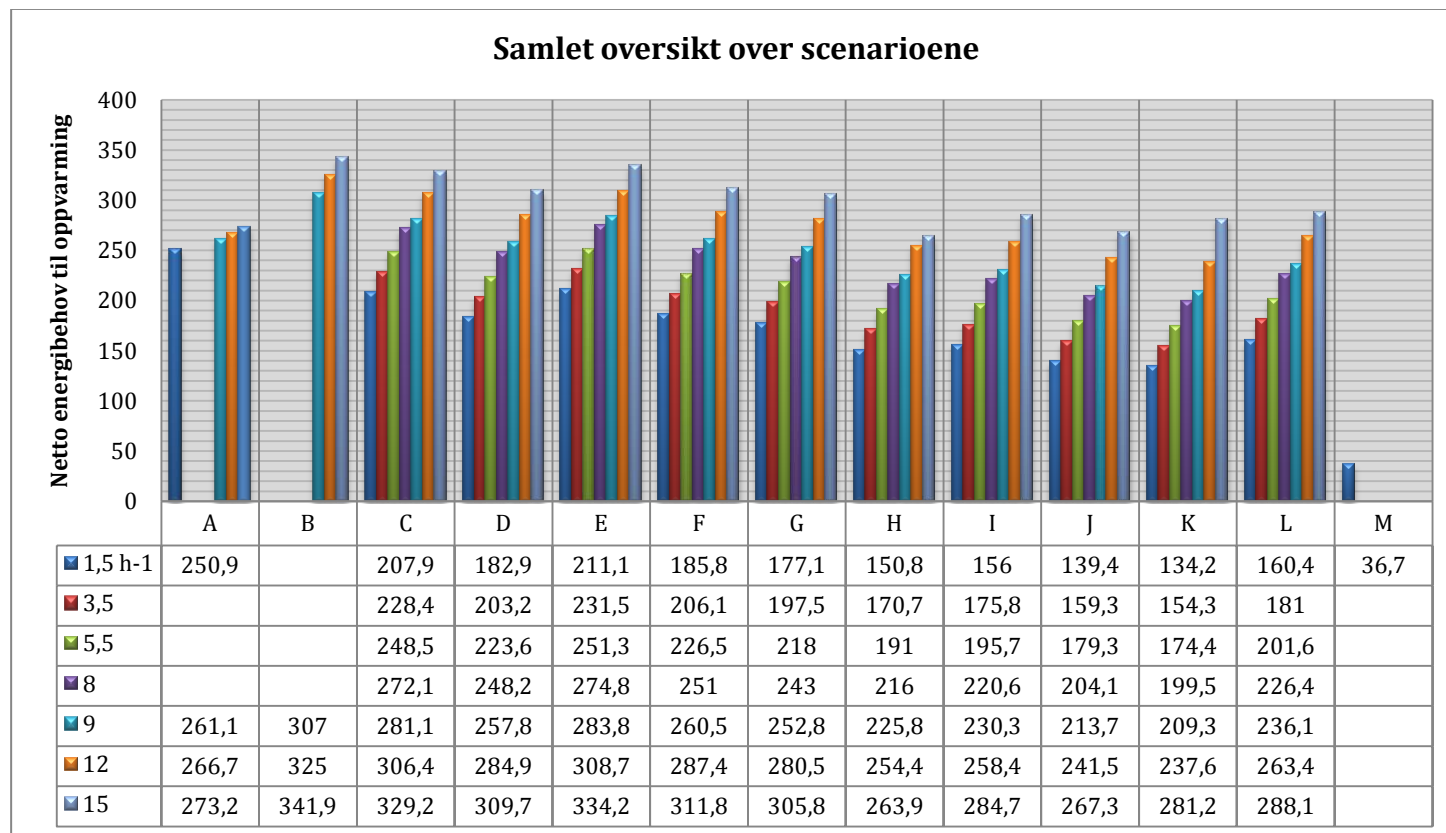


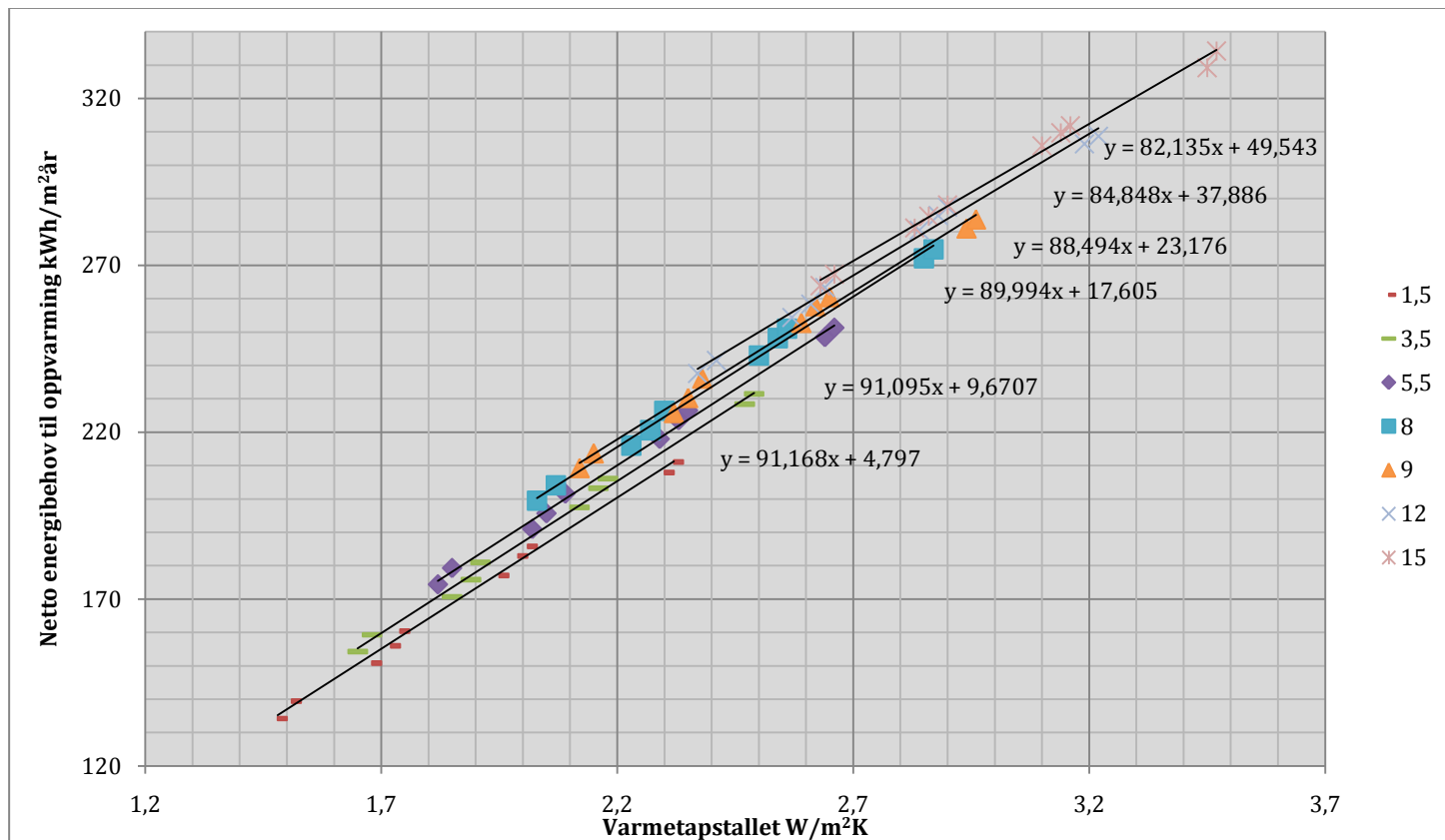
F.3.5 Sammenhengen mellom lekkasjetallet, bygningens varmetapstall og netto energibehov til oppvarming

De to etterfølgende diagrammene viser en samlet oversikt over tiltakenes virkning for ulike lekkasjetall. Diagrammene er brukt til å vurdere lekkasjetallets innvirkning samt scenarioenes virkning på netto oppvarmingsbehov og bygningens varmetapstall.

Første diagrammet viser et stolpediagram hvor hvert lekkasjetall har en tilhørende farge. Diagrammet viser resulterende netto oppvarmingsbehov for ulike scenarioer og lekkasjetall.

Det andre diagrammet viser sammenhengen mellom netto oppvarmingsbehov og bygningens varmetapstall for ulike lekkasjetall.





F.3.6 Temperaturforhold som sommer- og vinterforhold

Simulering: Scenario *I*, med lekkasjetallet $3,5 \text{ h}^{-1}$.

Resulterende minimum operative temperatur for vinterforhold, samt maksimal samtidig effekt for varmeanlegget:

Dimensjonerende verdier			
Beskrivelse		Verdi	Tidspunkt
Maks. samtidig effekt varmebatterier:		94,3 kW / 18,5 W/m ²	01:30
Totalt installert effekt varmebatterier		153,2 kW / 30,0 W/m ²	01:30
Maks. samtidig effekt romoppvarming:		266,5 kW / 52,2 W/m ²	07:00
Totalt installert effekt romoppvarming		255,3 kW / 50,0 W/m ²	07:00
Min. romlufttemperatur:		19,0 °C	07:00
Min. operativ temperatur:		15,6 °C	07:00
Maksimal CO2 konsentrasjon (Midtsone - Fløy A)		691 PPM	17:00

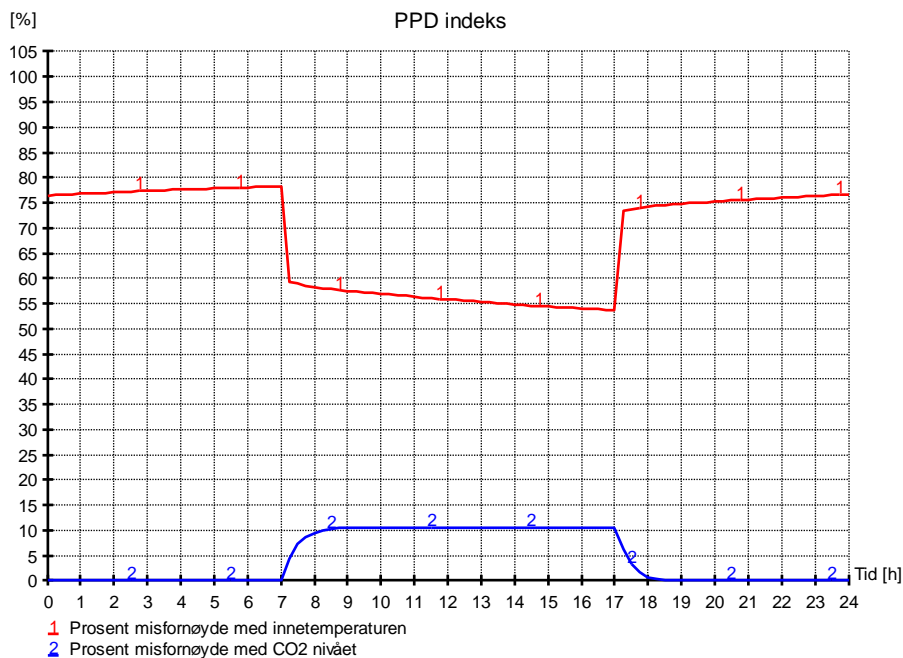
Resulterende maksimale operative temperatur for sommerforhold:

Sammendrag av nøkkelverdier for Solutsatt - Fløy A			
Beskrivelse		Verdi	Tidspunkt
Maks. innelufttemperatur		28,6 °C	14:45
Maks. operativ temperatur		27,7 °C	17:15
Maks. CO2 konsentrasjon		420 PPM	08:15

F.3.7 Forventet prosentandel misfornøyde i forhold til dagens krav ventilasjon og temperaturforhold

Simulering: Scenario 1, med lekkasjetallet $3,5 \text{ h}^{-1}$.

Figuren viser resultatet for vinterforhold



F.4 CASE 4

F.4.1 Godkjenning mot myndighetenes krav

Bygget etter energiltaksmetoden tilfredsstillt bygningen myndighetenes krav, vist i figuren. Bygningskroppen kan dermed betegnes som energieffektiv.

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiltak	Bygningen tilfredsstillt kravene til energiltak i paragraf §8-21 a
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstillt omfordeling energiltak (varmetapstall) ihht, §8-21 a
Energiramme	Bygningen tilfredsstillt energirammen ihht, §8-21 b
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillt minstekravene i §8-21 c
Luftmengder ventilasjon	Bygningen tilfredsstillt minstekrav gitt i NS3031:2007 (tabell A,6)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillt byggeforskriftenes energikrav

F.4.2 Beregnet netto energibehov

Energipost	Energibudsjet	
	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	49649 kWh	9,7 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	176965 kWh	34,7 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	84983 kWh	16,6 kWh/m ²
3a Vifter	117980 kWh	23,1 kWh/m ²
3b Pumper	1736 kWh	0,3 kWh/m ²
4 Belysning	130421 kWh	25,5 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	74533 kWh	14,6 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	636268 kWh	124,6 kWh/m ²

F.4.3 Fordelingen av varmetap

Simulering: Scenario *M*

Varmetapsbudsjett (varmetapstall)	Varmetapstall, W/m ² K	Prosentvis fordeling, %
Varmetapstall yttervegger	0,13	10,7
Varmetapstall tak	0,04	3,3
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,02	1,6
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,19	15,6
Varmetapstall kuldebroer	0,06	4,9
Varmetapstall infiltrasjon	0,13	10,7
Varmetapstall ventilasjon	0,65	53,3
Totalt varmetapstall	1,22	

F.4.4 – Beregnet levert energibehov

Simulering: Scenario *M*

Beregnet levert energi er vist i tabellen.

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte elektrisitet	581135 kWh	113.8 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystemer	0 kWh	0.0 kWh/m ²
1c El. til solenergisystemer	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	96166 kWh	18.8 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0.0 kWh/m ²
6. Annen energivare ()	0 kWh	0.0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	677301 kWh	132.7 kWh/m ²

F.4.5 Temperaturforhold for sommer- og vinterforhold

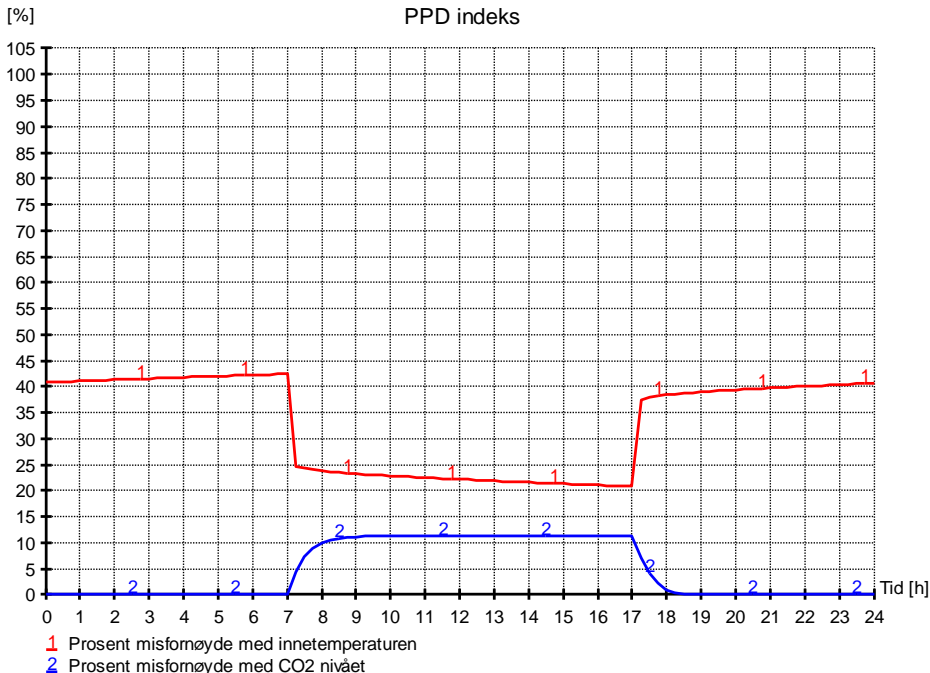
Simulering: Scenario *M*

Resulterende temperaturforhold for vinterforhold

Beskrivelse	Dimensjonerende verdier	Verdi	Tidspunkt
Maks. samtidig effekt varmebatterier:		94,3 kW / 18,5 W/m ²	01:30
Totalt installert effekt varmebatterier		153,2 kW / 30,0 W/m ²	01:30
Maks. samtidig effekt romoppvarming:		71,0 kW / 13,9 W/m ²	07:00
Totalt installert effekt romoppvarming		255,3 kW / 50,0 W/m ²	07:00
Min. romlufttemperatur:		19,0 °C	07:00
Min. operativ temperatur:		19,3 °C	07:00
Maksimal CO2 konsentrasjon (Midsone - Fløy A)		712 PPM	17:00

Resulterende temperaturforhold for sommerforhold

Beskrivelse	Dimensjonerende verdier	Verdi	Tidspunkt
Maksimal romlufttemperatur (Solutt - Fløy B):		30,3 °C	12:15
Maksimal operativ temperatur (Solutt - Fløy B)		30,6 °C	12:30
Maksimal CO2 konsentrasjon (Solutt - Fløy B)		591 PPM	12:30



F.5 RESULTATER FRA SAMTLIGE SIMULERINGER

Type simulering	Bygningens varmetapstall og netto oppvarmingsbehov							
	1,5 h ⁻¹		3,5 h ⁻¹		5,5 h ⁻¹		8 h ⁻¹	
Scenario A Case 1 - som bygget	4,18	250,9						
Scenario B Case 1 - som bygget m dagens krav								
Scenario C Case 2 - utbedrede vinduer 1,5	2,3	207,9	2,47	228,4	2,64	248,5	2,85	272,1
Scenario D Case 2 - utbedrede vinduer 1,5 og loft	1,99	182,9	2,16	203,2	2,33	223,6	2,54	248,2
Scenario E Case 2 - utbedrede vinduer 2,2	2,32	211,1	2,49	231,5	2,66	251,3	2,87	274,8
Scenario F Case 2 - utbedrede vinduer 2,2 og loft	2,01	185,8	2,18	206,1	2,35	226,5	2,56	251
Scenario G Case 3 - vinduer 0,9	1,95	177,1	2,12	197,5	2,29	218	2,5	243
Scenario H Case 3 - v 0,9 bedre fasade mot sørvest og nordvest 0,23	1,68	150,8	1,85	170,7	2,02	191	2,23	216
Scenario I Case 3 - v 1,5 bedre fasade mot sørvest og nordvest 0,23	1,72	156	1,89	175,8	2,05	195,7	2,27	220,6
Scenario J Case 3 - ventilasjon etter NS3031 og "1,5 nv sv"	1,51	139,4	1,68	159,3	1,85	179,3	2,07	204,1
Scenario K Case 3 - ventilasjon etter NS3031 og "0,9 nv sv"	1,48	134,2	1,65	154,3	1,82	174,4	2,03	199,5
Scenario L Case 3 - ventilasjon etter NS3031 og vinduer på 0,9	1,74	160,4	1,91	181	2,09	201,6	2,3	226,4

Type simulering	Bygningens varmetapstall og netto energibehov til oppvarming					
	9 h ⁻¹		12 h ⁻¹		15 h ⁻¹	
Scenario A Case 1 - som bygget	4,37	261,1	4,53	266,7	4,73	273,2
Scenario B Case 1 - som bygget m dagens krav	3,95	307	4,2	325	4,46	341,9
Scenario C Case 2 - utbedrede vinduer 1,5	2,94	281,1	3,19	306,4	3,45	329,2
Scenario D Case 2 - utbedrede vinduer 1,5 og loft	2,62	257,8	2,88	284,9	3,14	309,7
Scenario E Case 2 - utbedrede vinduer 2,2	2,96	283,8	3,22	308,7	3,47	334,2
Scenario F Case 2 - utbedrede vinduer 2,2 og loft	2,65	260,5	2,9	287,4	3,16	311,8
Scenario G Case 3 - vinduer 0,9	2,59	252,8	2,84	280,5	3,1	305,8
Scenario H Case 3 - v 0,9 bedre fasade mot sørvest og nordvest 0,23	2,32	225,8	2,57	254,4	2,63	263,9
Scenario I Case 3 - v 1,5 bedre fasade mot sørvest og nordvest 0,23	2,35	230,3	2,61	258,4	2,86	284,7
Scenario J Case 3 - ventilasjon etter NS3031 og "1,5 nv sv"	2,15	213,7	2,41	241,5	2,66	267,3
Scenario K Case 3 - ventilasjon etter NS3031 og "0,9 nv sv"	2,12	209,3	2,37	237,6	2,83	281,2
Scenario L Case 3 - ventilasjon etter NS3031 og vinduer på 0,9	2,38	236,1	2,64	263,4	2,9	288,1