

Klimatisering for en fritidsbolig med sanitærinstallasjoner med fokus på å unngå fuktproblemer, frostproblemer og utslipp av klimagasser

Rasmus Bøckman

Master i produktutvikling og produksjon

Oppgaven levert: Juli 2011

Hovedveileder: Per Olaf Tjelflaat, EPT

Biveileder(e): Rasmus Høseggen, EPT

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Rasmus Bøckman

Våren 2011

Klimatisering for en fritidsbolig med sanitærinstallasjoner -med fokus på å unngå fuktproblemer, frostproblemer og utslipp av klimagasser

*Climatization for a leisure home building with sanitary installations
-focusing on avoidance of moisture problems, frost problems and GHG-emissions*

Bakgrunn

Det bygges for tiden fritidsboliger i et stort antall, og de er ofte utstyrte med sanitæranlegg som i moderne boliger. Og de er gjerne også tilkoplede elektrisitetsnettet. De siste årene har det vært en kraftig økning av antall frostskafer i sanitæranleggene i ubebodde fritidsboliger.

For å unngå frostskafer blir mange fritidsboliger delvis elektrisk oppvarmet i ubenyttede perioder. Særlig fritidsboliger i fjellområder blir da svært energikrevende, og det resulterer vanligvis i et stort forbruk av elektrisk energi som igjen fører til utslipp av klimagasser. Det store samlede effektuttaket fra ubebodde fritidsboliger er dessuten en unødig belastning for elektrisitetsnettet i kalde perioder.

Det er utviklet et bygningskonsept, og det er gjort studier av energiforsyning med fornybar energi for å sikre frostfrie sanitærinstallasjoner samtidig som utslippet av klimagasser er lavt. I tidligere analyser av bygningskonseptet er innvirkningen av fuktproblematikk og ventilasjon utelatt.

Visjon og mål

Visjonen er å utvikle en prototyp for en fritidsbolig hvor sanitærinstallasjonene kan holdes frostfrie uten å måtte ta i bruk oppvarming med elektrisitet eller annen primærenergi som gir betydelig utslipp av klimagasser.

I denne oppgaven skal det utvikles klimateknisk design for fritidsboligen. Det skal spesielt fokuseres på tiltak for å unngå fuktproblemer i ubebodde perioder. Og det vil være nødvendig å gjennomføre simuleringer for flere scenarioer og med variasjon av relevante parametre.

Det skal i tillegg fokuseres på fuktproblematikk for fritidsboliger generelt med den hensikt å utvikle retningslinjer for eiere av fritidsboliger.

Studenten skal:

- Sette seg inn i aktuelle problemstillinger og tidligere undersøkelser som er relevante for oppgaven. Studenten skal lage en oversikt over dette sammen med egne vurderinger.
- Velge, i samråd med veileder, aktuelle scenarioer og parameter variasjoner. Simuleringer skal gjennomføres med simuleringsprogrammet ESP-r, og med bruk av klimadata for Östersund. Resultatene skal analyseres og diskuteres.

- Gjennomføre sammenligninger med resultatene fra tidligere undersøkelser på tilsvarende ubebodd konsept for fritidsbolig. Resultatene skal diskuteres med fokus på oppvarmingsbehov og utslipp av klimagasser.
- Som et lite tillegg til det ovenstående, lage en kort veileder for eiere av fritidsboliger for at disse skal kunne gjøre tiltak for å unngå problemer pga. fukt i inneluft og innvendige konstruksjoner og utstyr i ubebodde perioder.

” - ”

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 velskrevet. 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.

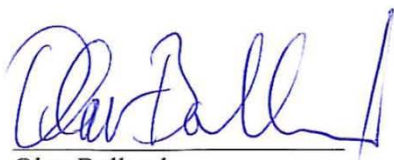
Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder. Kandidaten skal rette seg etter de regler og retningslinjer som gjelder ved andre fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt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

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. Besvarelsen på denne oppgaven båndlegges i to – 2 år etter innleveringsdato mht. offentliggjøring.

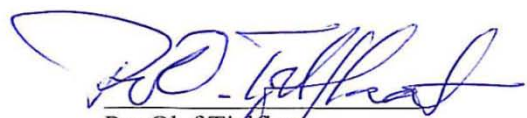
Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maksimalt én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel (for evt. referering i tidsskrifter).

Til Instituttet innleveres to - 2 komplette kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til eventuelle medveiledere/oppgavegivere 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 prosesssteknikk, 7. februar 2011



Olav Bolland
Instituttleder



Per Olaf Tjellflaot
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder: Rasmus Høseggen

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet i 10. semester ved mastergradsprogrammet Produktutvikling og Produksjon ved NTNU. Prosjektet bygger videre på tidligere arbeid av Børset (Børset, 2009), Amble (Amble, 2008) og Bratteberg (Bratteberg, 2009)(Bratteberg, 2010). Målet med arbeidet er å redusere strømforbruket til og CO₂ utslippene fra fritidsboliger i Norge.

Arbeidet har foregått i en periode fra begynnelsen av februar til 3 juli.

Ved forberedelsene til oppgaven var det håp om å oppnå klare resultater med hensyn på ventilasjonsstrategier og bygningsutforming for å unngå kondens i fritidsboligen i ubebodde perioder. Dette ble ikke oppnådd. Noe av årsaken kommer sannsynligvis som en følge av manglende presisjonsnivå i ESP-r med hensyn på kondens og at det ikke har lyktes å simulere mer avanserte ventilasjonssystemer. Det er også trolig at kondensproblemer ikke kan løses ved enkle metoder som økt eller redusert ventilasjon eller variasjon av termisk masse. Som en naturlig følge av manglende resultater utelates siste del av oppgaven om å utarbeide en veileder for hytteeiere.

Jeg vil gjerne takke Professor Per Olaf Tjelflaat ved Institutt for Energi- og Prosessteknikk ved NTNU for givende, hyggelig og inspirerende veiledning. En takk rettes også til Rasmus Høseggen for hjelp med simuleringsprogrammet ESP-r.

Trondheim 03.07.2011

Rasmus Bøckman

Sammendrag

Energiforbruket til fritidsboligsektoren i Norge har de senere årene hatt en dramatisk økning. Fremtidsprognosene anslår at dersom ingenting gjøres vil denne utviklingen fortsette til fritidsboligsektoren står for en merkbar andel av det totale strømforbruket. Tall fra SSB tyder på at det ikke er antallet nybygde hytter som i hovedsak bidrar til det økte forbruket, men økt standard på allerede eksisterende fritidsboliger. Det økte forbruket kommer både som en følge av innleggelse av vann med påfølgende behov for frostsikring i ubebodde perioder, og som en følge av økt forbruk i bebodde perioder.

En gjennomgang av tidligere arbeid viser at det er gjort mye godt arbeid og mange gode vurderinger som danner grunnlag for en videre prosess. Dessverre lider tidligere simuleringer av et par grove forenklinger som gjør at arbeidet må dimensjoneres og verifiseres på nytt før det kan benyttes som annet enn parameterstudier og løsningsforslag uten å vise nødvendig dimensjonering. Tidligere arbeid har likevel med tydelighet vist muligheten for, og gitt gode forslag til utformingen av en rekke tiltak og vurderinger. De viktigste er listet opp under:

- Klarlagt den store betydningen av en indre, ekstra isolert og frostfri sone(Børset, 2009)
- Vist muligheten for utnyttelse av energitilførsel fra sola:
 - o Passiv soloppvarming (Amble, 2008)(Bratteberg, 2009)
 - o Solfangere og luftsolfangere (Børset, 2009)(Bøckman, 2010)
 - o Solcellepanel (Børset, 2009)(Bratteberg, 2009)
- Potensialet for frostsikring gjennom grunnkobling er utforsket (Amble, 2008)
- Bratteberg sin mastergrad (Bratteberg, 2010) illustrerer viktigheten av først og fremst å redusere strømforbruket. Videre viser studien at LCA vurderinger kan være nyttige for å oppnå utslippsreduksjoner.
- Hybrid ventilasjon av ytre sone er optimalt for en fritidsbolig (Bøckman, 2010)

I denne oppgaven er det lagt ned et omfattende arbeid for å sikre mer realistiske simuleringer som også tar hensyn til tidligere arbeider. Det er vist at med en realistisk og optimalisert modell som benytter enkleste form for ventilasjon av indre sone vil energiforbruket bli 3.3 ganger høyere enn for tidligere løsninger, med mindre ekstra tiltak implementeres. Slike tiltak kan være å ventilere indre sone gjennom en luftsolfanger eller en jord-luft varmeveksler. Det har ikke lyktes å simulere en løsning med jord-luft varmeveksler tilstrekkelig realistisk til å det er verdt å ta med. Derimot har det vist seg at selv en simpel luftsolfanger kan redusere energibehovet til frostsikring til 107 kWh per år. Dette er fortsatt dobbelt så høyt forbruk som antatt i tidligere arbeid. Det er både påpekt flere muligheter for optimalisering av tidligere løsninger og luftsolfangeren og det er til en viss grad mulig å skalere opp tidligere løsninger. Derfor antas det at løsningene fortsatt er

gjennomførbare, men krever ytterligere optimalisering. De viktigste forslagene til optimalisering er:

- Optimalisering av luftsolfangeren.
- Dersom solfanger og akkumulatortank benyttes for frostsikring, foreslås det å benytte flere små tanker kombinert med vakuumsolfangere i stedet for løsningen i Børsets mastergrad.
- Dersom metoden med grunnkobling benyttes for frostsikring, foreslås det å jobbe videre med geometrien til indre sone, alternative måter å føre grunnvarmen inn i bygget på, og bedre simulering av de termiske forholdene i grunnen.

Gjennom arbeidet med den nye modellen ble det tatt hensyn til anbefalte materialvalg fra mastergraden til Bratteberg. Resultatet viser at det er mulig å bygge en fritidsbolig med tilnærmet lik prestasjon som tidligere og samtidig trolig redusere CO₂ utslippene i forbindelse med byggeprosessen med 28 tonn CO₂. Viktige tiltak for å oppnå dette har vært å benytte cellulosefiber til isolering, massivtre til vegger og jordgulv for å oppnå tilstrekkelig termisk masse. En undersøkelse viser at jordgulv, selv om det er utradisjonelt, kan fungere veldig godt som gulv i fritidsboliger.

For ytre sone anbefales det å ventilere med ventiler som er selvregulerende med hensyn på vind. Et luftskifte på 0,29 h⁻¹ antas å være passelig mengde ventilasjonsmengde. Forholdene rundt kondensering i ytre sone er noe usikkert, spesielt for klima som er varmere og fuktigere enn Østersund. Derfor anbefales det å se videre på et VAV anlegg som regulerer den naturlige ventilasjon med hensyn på temperaturer og RF inne i ytre sone og utendørs. Det antas at dette vil gi vesentlig tørrere forhold inne i ytre sone.

Energibehovet forbundet med ventilering av indre sone er ikke stort, i størrelsesordenen 35 kWh/år. En simpel luftsolfanger har vist seg å gi vesentlig reduksjon av dette energibehovet, og til og med gitt netto varmetilskudd til indre sone. Luftsolfangere er rimelige i innkjøp og derfor anbefales det å benytte slike i fremtidig simuleringer. En litteraturstudie antyder også sterkt at en løsning med jord-luft varmevekslere kan bidra med netto energitilskudd.

Symmary

In the past years the energy consumption for leisure homes in Norway has increased tremendously. Forecasts about the subject warns that, if nothing is done to prevent it, this increase will continue and become a noticeable part of the total electricity consumption in the country. Numbers from the the agency "Statistics Norway", SSB, indicates that the increase in energy consumption does not mainly come as a result of a lot of new leisure homes, but as a result of the upgrading of old existing buildings. The increased consumption is a result both from the need of avoiding freezing during uninhabited periods and increased consumption during inhabited periods.

A review of earlier work shows that a lot of good suggestions and assessments have been done. Sadly it must be concluded that some assumptions that stretch back to the first work has made the conclusions to optimistic. Therefore earlier works can only be used as parameter studies and not for dimensioning systems. Even though earlier work needs to be readjusted and probably further optimized, they clearly show the potential of some solutions. The most important ones are listed below:

- The importance of an extra insulated inner zone, that includes areas that needs to be kept above freezing, is shown (Børset, 2009).
- The possibility of utilizing solar heat for heating and frostsafing is shown:
 - o Passiv solar heating (Amble, 2008)(Bratteberg, 2009)
 - o Solar air heaters and solar heaters (Børset, 2009)(Bøckman, 2010)
 - o PV panels (Børset, 2009)(Bratteberg, 2009)
- The potential of securing areas against freezing by utilizing ground heat (Amble, 2008)
- The relation between released amount of GHG gases during building faze and utilization faze is shown. (Bratteberg, 2010) The result shows that the period of utilization is much more important than the building faze.
- Hybrid ventilation is shown to be the best method for leisure homes in Norway (Bøckman, 2010)

In this work a lot of effort has been put down in making the simulations more realistic and optimized in accordance with conclusions from previous work on the subject. It is shown that with a realistic and optimized model, that incorporates the simplest form of ventilation of the inner zone, the energy consumption is 3,3 times as big as is assumed in earlier work. If a simple solar air heater is included, the energy consumption reduces to 107 kWh/year. This is still twice as much as is assumed in earlier work. Even though the energy demand is bigger than what has been assumed before it is probably possible to continue the earlier solutions in more optimized ways: Suggestions for further optimization is presented here:

- Optimizing the solar air heater.

- For heating the inner zone above freezing with solar heater and accumulation tank it is suggested to incorporate a vacuum solar heater and several small tanks instead of flat plate heaters and one big tank.
- For heating the inner zone above freezing with ground heat, it is suggested to look further into the geometry of the inner zone, alternative ways of transporting the heat into the building and systems for better simulating the thermal properties of the ground.

During the development of the new building model, considerations were taken to satisfy the recommended choice of building materials from the work of Bratteberg. The result shows that it is probably possible to cut 28 tons of CO² emissions during the building phase without compromising the energy efficiency of the building. Important measures have been to use cellulose fibre for insulation, walls of massive wood and earth floors to secure enough thermal mass.

For the outer zone, it is recommended to ventilate enough to accomplish an air change of 0,29 h⁻¹. Selfregulating vents that secure a minimum amount of air but decreases the effect of strong wind gives more constant ventilation. It has not been possible to conclude on the problem with condensation. It is strongly assumed that condensation is not a problem for climates that resemble Østersund but the result is unsure for more humid climates. It is assumed that a VAV system for the outer zone that regulates the vents on basis of RH and temperatures inside and outside can prevent condensation in the outer zone.

Innhold

1 Innledning.....	1
2 Bakgrunn	2
2.1 Energisituasjonen i Norge og global oppvarming	2
2.2 Utvikling av antall fritidsboliger i Norge.....	3
2.3 Utvikling av elektrisitetsforbruket til fritidsboliger	3
2.4 Andre energikilder/bærere	4
2.5 Årsaker til økt forbruk	4
2.6 Fordeling mellom bebodde og ubebodde perioder	5
2.7 Fordeling av utslipp mellom byggefasen og bruksfasen.....	6
2.8 Geografisk fordeling	7
2.9 Relevante krav i Teknisk forskrift (TEK10, 2010).....	7
2.10 Fuktproblematikk i hytter.....	11
3 Tidligere arbeid	13
3.1 Innledende om tidligere arbeid	13
3.2 Tidligere foreslåtte løsninger	13
3.3.0 Tidligere arbeider	21
3.3.1 Utvikling av konsept for en nullutslipp fritidsbolig med en isolert frostfri indre sone og soloppvarmet vannmagasin (Børset, 2009).....	21
3.3.2 Analyse av energibruk for bygning med passiv soloppvarming og varmeutveksling med grunnen (Amble, 2008).....	28
3.3.3 Analysis of Energy Use in Frost-free and CO ₂ -free Leisure Home Building with Active Solar Energy (Bratteberg, 2009)	33

3.3.4 LCA Evaluation of Concepts for a Leisure Home Building with Frost Safe Sanitary Installations (Bratteberg, 2010).....	39
3.3.5 Design av ventilasjonsløsning for frostsikker og CO ₂ -fri fritidsbolig (Bøckman, 2010)	49
3.4 Totalvurdering.....	53
3.5 Veien videre	54
4 Tiltak	57
4.1 Innledende	57
4.2 Ny bygningsmodell	57
4.3 Økt termisk tyngde.....	67
4.4 Dører, skillevegger, vinduer og solavskjerming	68
4.5 Geometri og dimensjoner.....	70
4.6 Ventilasjon	73
5 Simuleringer og vurderinger	83
5.1 Innledende.....	83
5.2 Første vurdering. Oppbygging av en realistisk modell i ESP-r og innledende arbeider for optimalisering.	84
5.3 Optimalisering av modell i ESP-r	94
5.4 Vurdering av ventilasjon av ytre sone.....	103
5.5 Ventilasjon av indre sone.....	115
6 Avsluttende diskusjon.....	123
7 Konklusjon	125
8 Anbefalinger til videre arbeid	127
Referanser.....	128
Vedlegg:	132

1 Innledning

Fritidsboliger har tradisjonelt stått for en relativt liten andel av de norske klimagassutslippene. Dette kommer av at hytter stort sett har vært små primitive trehus med kort fyringssesong og ofte uten nettilknytning. Denne situasjonen har vært i dramatisk endring de senere årene. Hytter som bygges i dag er vesentlig større og har et komfortnivå som nærmer seg boligstandard. Samtidig oppgraderes et stort antall eldre hytter gjennom utvidelse av boligarealet og innleggelse av vann og strøm. Både som en følge av økte utslipp under byggeprosessen og som følge av økt energiforbruk gjennom hyttens levetid gir dette vesentlig høyere utslipp av klimagasser enn tidligere.

Denne masteroppgavens visjon er å bidra til utviklingen av en prototyp for en fritidsbolig som i minst mulig grad bidrar til forbruk av primærenergi eller utslipp av klimagasser. Løsningene som benyttes skal i størst mulig grad være driftsikre, robuste, enkle å håndtere og økonomisk lønnsomme.

Gjennom flere prosjektoppgaver og en masteroppgave er det allerede gjort et omfattende arbeid for å analysere utfordringene og finne gode løsninger for å nå visjonens mål. Hovedfokuset har vært på frostsikring av sanitærinstallasjoner og energitilførsel, men det har også blitt sett på livssyklusen til byggematerialer og komponenter. Det finnes i tillegg et omfattende materiale om bygging av lavenergiboliger og utnyttelse av solenergi. Denne rapporten søker å samle konklusjonene fra tidligere arbeider, vurdere kvalitet, prestasjon og relevans samt presentere dette i en oversikt.

Gjennom dynamisk simulering i ESP-r skal de mest aktuelle løsningene fra tidligere arbeider forbedres og videreutvikles. Ved valg av scenarioer og parametervariasjoner vil det i hovedsak bli fokusert på energiforbruk og utslipp av klimagasser, men det vil også bli sett nærmere på ventilasjon og fuktproblematikk da dette er et problem som ikke er godt nok vurdert enda. Resultatene fra simuleringene skal sammenlignes med tidligere resultater for å vurdere pålitelighet, potensial og prestasjon.

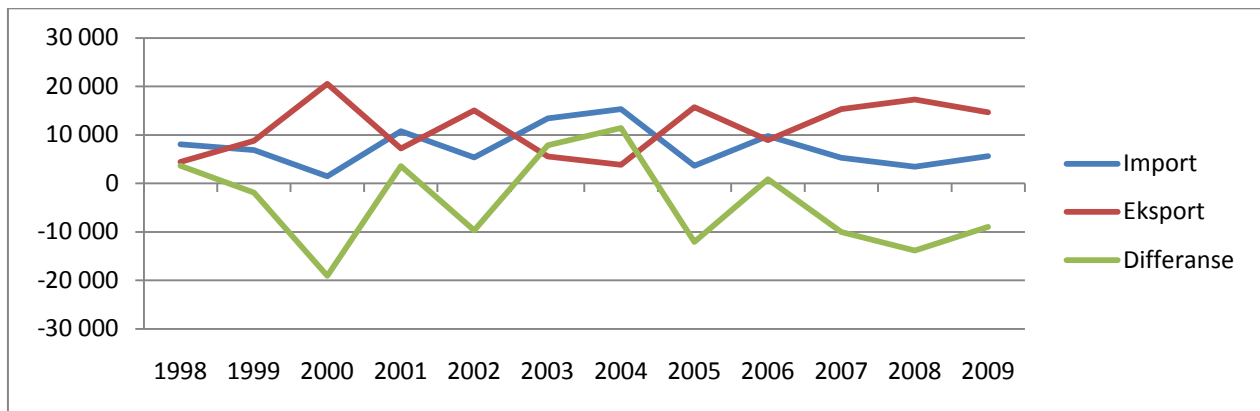
Det antas at leser har basiskunnskaper om bygningsteknikk, varme og massestrømning og relevante tekniske innretninger. Dette er nødvendig for å begrense rapportens lengde.

Med bakgrunn fra simuleringer og litteraturstudien skal det utarbeides en generell veileder for ventilasjon av fritidsboliger for å unngå fuktproblematikk. Denne vil bli utformet i en mer pedagogisk stil myntet på eventuell publisering i et egna fagmagasin.

2 Bakgrunn

2.1 Energisituasjonen i Norge og global oppvarming

Det er i dag stor enighet om problematikken rundt menneskeskapt global oppvarming og dens årsaker. For å unngå risikofylt eksperimentering med vårt eget habitat er det derfor viktig å redusere utslippene av klimagasser. I Norge produseres strøm i hovedsak (ikke offshore) gjennom vannkraft som er en produksjonsprosess uten store utslipp av klimagasser. Likevel er det slik at strømforbruk i Norge kan føre til økte utslipp av klimagasser. Gjennom strømlinjer på tvers av landegrensene eksporteres og importeres det strøm til Norge. Oversikten over fordelingen mellom import og eksport er presentert i Figur 1. Tallene er hentet fra SSB (SSB, 2009) og ”differansen” er import minus eksport.



Figur 1: Oversikt over fordelingen mellom import og eksport av strøm i Norge.

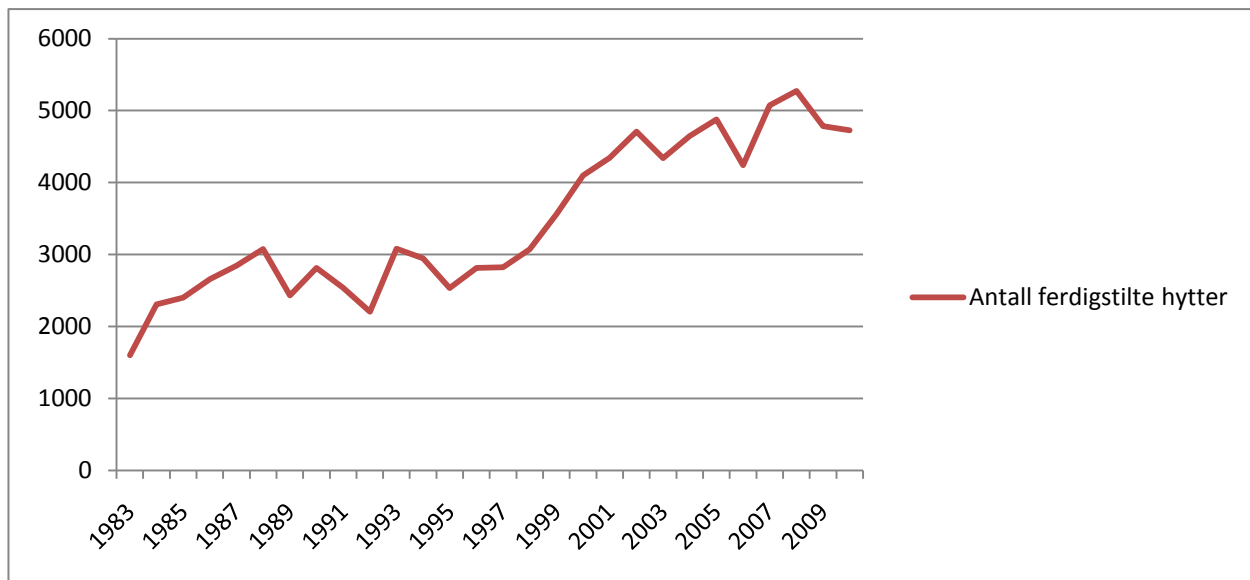
Som grafen viser varierer situasjonen mellom at Norge har behov for å importere strøm til at strøm kan eksporteres til det Europeiske markedet. Strøm som importeres er gjerne produsert gjennom kullkraft som slipper ut store mengder CO₂. På samme måte antas det at strøm som eksporteres fortrenger kullkraft. Det siste er et omdiskutert tema. Det hevdes fra enkelte hold at strøm som eksporteres kun kommer i tillegg til forbruket som allerede eksisterer. Andre hevder at fokuset på strømsparing i Europa er så stort at dette ikke stemmer. Uansett er det slik at nye direktiver fra EU krever at elektrisk strøm får en primærenergifaktor på 2,5, også i Norge. Primærenergifaktoren er ment å reflektere hvor mye energi som må hentes fra naturen per levert energimengde. Dette sier ingenting om utslippet av karbondioksid men en så høy verdi som 2,5 gjør at elektrisk strøm kommer vesentlig dårligere ut enn det som antas å være representativt for norsk strømproduksjon. På den måten har EU bestemt at økt strømforbruk i Norge skal regnes som akkurat like problematisk som strømforbruk i resten av Europa.

Et problem som har vært i særlig fokus den siste tiden er utbyggingen av høyspentnettet som forbinder ulike deler av Norge sammen. Naturvernere, lokalpolitikere og turistnæringen står mot sentrale myndigheter som hevder nye traseer er nødvendig for å sikre forsyningssikkerheten. En

alternativ løsning på problemet er å begrense forbruket gjennom energiøkonomiseringstiltak. Slike tiltak bør settes inn der de får størst effekt per investert krone.

2.2 Utvikling av antall fritidsboliger i Norge

I media og tidligere arbeider om emnet kan man få inntrykket at antallet hytter har eksplodert de siste årene. Det er ikke tilfellet. Faktisk var tilveksten av nye hytter på sitt største på 70-tallet med rundt 10 000 nye enheter hvert år (Arnesen, et al., 2009). I dag er tilveksten på rundt 4 700 - 5 000 enheter, det vil si litt over 1 % i året (SSB1, 2011). En feilkilde ved statistikken som ikke tar høyde for den nyere trenden med ferieleiligheter, er at flere boenheter i en bygning regnes som en bygning (SSB1, 2011). Likevel må det kunne sies at veksten i antall fritidsboliger har vært jevnt stigende uten å være dramatisk. En oversikt er vist i Figur 2. Tallene er hentet fra SSB (SSB, 2011).



Figur 2: Antall ferdigstilte hytter per år

2.3 Utvikling av elektrisitetsforbruket til fritidsboliger

Det som derimot har hatt en dramatisk vekst, relativt sett, er elektrisitetsforbruket til fritidsboligsektoren. Det finnes i dag ca 430 000 bygninger som benyttes som fritidsboliger. I perioden 1998 til 2009 har denne delen av bygningsmassen hatt en økning i elektrisitetsforbruket på 81%, fra 0,9 TWh i 1998 (Wahl, 2007) til 1.63 TWh per år i 2009 (SSB2, 2011). I samme periode økte antallet hytter med bare ca 16 % (SSB3, 2011). Det er ingen grunn til å anta at denne utviklingen vil avta og Stortingsmelding nr. 21 anslår at forbruket trolig vil øke til 3,6

TWh frem mot 2020 og dermed utgjøre mer enn 10% av forbruket til husholdningssektoren (Miljøverndepartementet, 2005). I en rapport fra NVE (Wahl, 2007) konkluderes det med at en realistisk utvikling, hvis ikke drastiske tiltak gjennomføres, gir et elektrisitetsforbruk til fritidsboligsektoren på 4,5 TWh i 2025. Dette er 12,4 % av dagens el-forbruk til husholdningssektoren. Wahl anslår i sin rapport (Wahl, 2007) at andelen hytter med innlagt strøm hadde steget fra 65% i 2001 til 70% i 2007. I denne sammenhengen blir det konservativt å anslå at en stor andel av hyttene er nettilknyttet. Derfor antas det at det i dag er 75% av hyttene som har nettilknytting. Det innebærer at hyttene som er tilknyttet elektrisitetsnettet i gjennomsnitt bruker 5 054 KWh strøm i året. Dette er over 1/4 av energikravet til en moderne helårsbolig på 150 m² i henhold til Teknisk forskrift §14-4 (TEK10, 2010) og må anses som veldig mye.

2.4 Andre energikilder/bærere

Ved siden av strøm forbruker hytter både ved, olje og gass. Det antas at mengden olje og gass er liten og i hovedsak begrenser seg til kortvarig oppvarming eller matlaging. Vedforbruket er dokumentert i flere undersøkelser av SSB (SSB, 2008). Disse konkluderer med at det totalt forbrukes rundt 190 000 tonn ved i norske hytter per år. Dette bidrar med om lag 0,42 TWh. Den eldste undersøkelsen er fra 2006, og det ser ikke ut som om det er noen særlig endring i vedforbruket over tid. Det er ikke lyktes å finne dokumentasjon for om forbruket av olje og gass øker eller minker, men ettersom flere fritidsboliger knyttes til strømmettet anses det som rimelig å anta at dette forbruket i hvert fall ikke øker dramatisk og trolig minker.

2.5 Årsaker til økt forbruk

Den radikale økningen av elektrisitetsforbruket i fritidsboligsektoren har flere og sammensatte årsaker. Som nevnt i innledningen bygges dagens hytter både større og med langt høyere standard enn tidligere. Innlagt strøm og vann er vanlig, gjennomsnittlig bruksareal ligger på 90-95 m² (Arnesen, et al., 2009) og standarden på kjøkken og bad er ofte tilnærmet det man finner i boliger. I tillegg oppgraderes en rekke eldre hytter gjennom innleggelse av strøm og vann og utbygging. Tilgang på strøm fører trolig også til økt forbruk.

Innlagt vann fører til behov for frostsikring. I bebodde perioder er dette sjeldent noe problem, men i ubebodde perioder kreves det ulike ekstratiltak. Den tradisjonelle måten å unngå frostsprengning i ubebodde perioder har vært å stenge hovedkrana og tappe hele systemet for vann. Dette kan være en komplisert prosess fordi vakuum og vannlåser holder vannet tilbake. Med vaske og oppvaskmaskiner montert kan det være helt umulig. Derfor velger mange å holde store deler av hytta oppvarmet gjennom vinteren i stedet. Eldre fritidsboliger er ofte svært dårlig isolert og nyere fritidsboliger under 150 m² har bare moderate krav til isolering. Derfor kreves det ofte relativt store mengder energi for å holde disse bygningene frostfrie gjennom vinteren.

Vinteren 09/10 viste også at det er et stort behov for mer robuste systemer for frostsikring av både fritidsboliger og vanlige boliger. I følge Dagbladet (Lofstad, 2010) var de totale utgiftene for forsikringsbransjen, knyttet til frostsprengning vinteren 09/10, på rundt 1 milliard kroner. I et vanlig år ligger disse utgiftene på rundt 100-150 millioner kroner.

2.6 Fordeling mellom bebodde og ubebodde perioder

Hvordan energiforbruket fordeler seg mellom perioder hvor fritidsboliger er i bruk og perioder hvor de står tomme er en viktig faktor for å sette inn tiltak der de får størst effekt. I eldre bebodde boliger er det ikke uvanlig å ha et energiforbruk på ca 200 kWh/m²år, og siden mange hytter har dårlig standard antas det at dette er et relevant sammenligningsgrunnlag for bebodde perioder. En studie av Østlandsforskning (Ericsson, et al., 2005) tyder på at hytter brukes rundt 46 dager i året og for å korrigere mot boligens 365 dager brukes ligning 2.1.

$$E = \frac{46}{365} \times 200 \frac{kWh}{m^2 \text{ år}} = 25 \frac{kWh}{m^2 \text{ år}} \quad (2.1)$$

E = strømforbruk per m² per år som følge av bebodde perioder

For en fritidsbolig på 128m² gir dette et årlig forbruk på 3 200 kWh som følge av perioder hvor den er i bruk. Dersom NS 3031 (StandardNorge, 2007) legges til grunn for beregning av energibehov til lys, utstyr og varmtvann når hytta er i bruk, vil fordelingen være at ca 35 % (70/200) går til dette mens resten går til oppvarming. I en masteroppgave av Børset (Børset, 2009) gjøres det en dynamisk simulering av en laftet fritidsbolig med bra 128 m². Resultatet viser at det trengs rundt 1500 kWh for å holde denne bygningen over 0°C når den er ubebodd gjennom hele vinteren.

Summert opp gir dette et totalt forbruk på 4 700kWh per år noe som stemmer relativt bra med landsgjennomsnittet. Resultatene er vist Tabell 1.

Bruk	Energibehov [kWh/år]	Andel av totalt forbruk [%]
Lys, utstyr og varmtvann i bebodde perioder i henhold til NS 3031	1 120	24
Oppvarming i bebodde perioder	2 080	44
Frostsikring	1 500	32
Totalt	4 700	100

Tabell 1: Overslag fordeling av energiforbruk i fritidsbolig på 128 bra

Det understrekes at dette er et veldig grovt anslag som ikke egner seg for annet enn å gi en viss pekepinn om fordelingen av energiforbruket.

2.7 Fordeling av utslipp mellom byggefasen og bruksfasen

Både byggefasen og bruksfasen av fritidsboliger er forbundet med utslipp av klimagasser. Fordi fritidsboliger har kortere bruksfase enn boliger, vil byggefasen være mer dominerende for disse. En undersøkelse gjort ved Chalmers Tekniska Högskola (Baumann, et al., 2006) tar for seg hvordan bruken av mer tre i bygninger påvirker miljøet. Studien er et sammendrag og vurdering av fire andre studier, to Svenske og to Tyske. Konklusjonen er at utslippet av klimagasser som følge av materialvalg varierer marginalt, rundt +/- 20 %, så lenge bygget skal tilfredsstillende de samme tekniske krav. Det konkluderes også med at når det gjelder utslipp og energiforbruk dominerer bruksfasen totalt. Bygge og vedlikeholdsfasen ”drukner i forhold til miljøpåvirkninger fra driftfasen” (Baumann, et al., 2006). Litt overraskende konkluderer studien med at dette også gjelder for lavenergiboliger.

En studie av Cole og Kernan (Cole, et al., 1996) tar for seg en livssyklusanalyse av et kontorbygg med og uten parkeringskjeller. Konklusjonen er at driften av bygget står for mellom 70 og 90 % av de totale utslippene av klimagasser og at det er veldig liten variasjon som følger av materialvalget.

Med bakgrunn i overnevnte studier antas det at det er lite å hente gjennom bevisst valg av materialer til bygging av tradisjonelle fritidsboliger. Dette på tross av byggefasen og materialvalgenes mer markante relative rolle i forhold til helårsboliger.

Dersom det lykkes å redusere CO₂ utslippet forbundet med frostsikring og bruk av hytta til et minimum, vil materialvalget få en mer markant rolle relativt til det totale klimabudsjettet for bygningen.

2.8 Geografisk fordeling

I en prosjektoppgave skrevet av undertegnede høsten 2010 (Bøckman, 2010) studeres blant annet sammenhengen mellom energiforbruket i hytter og geografisk beliggenhet. Det konkluderes med at: ”De 5 fylkene med høyest elektrisitetsforbruk til hytter er fylker i Sør-Norge med et stort antall fjellhytter. Disse fylkene står for nesten 50 % av forbruket til fritidsboligsektoren.”

De samme 5 fylkene er også blant de 6 fylkene med størst økning i antall hytter. En viktig faktor som trekkes frem er at dersom det utvikles et konsept for en fritidsboligmodell for Sør-Norge, basert på soltilskudd, vil denne kunne benyttes i 84 % av alle fritidsboliger i Norge.

2.9 Relevante krav i Teknisk forskrift (TEK10, 2010)

Innledende om TEK 10

Tidligere arbeider har gjort rede for kravene i Teknisk forskrift for sin tid. Siden den gang er det kommet nye krav (TEK10, 2010), og det anses derfor som nødvendig med en liten gjennomgang.

Kap 11. I. Generelle krav til sikkerhet ved brann

”§ 11-9. Materialer og produkters egenskaper ved brann

(2) Materialer og produkter skal ha egenskaper som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det skal legges vekt på mulighet for antennelse, hastigheten av varmeavgivelse, røykproduksjon, utvikling av brennende dråper og tid til overtenning.” (TEK10, 2010)

- Dette begrenser i stor grad valget av isolasjon andre steder enn i støpt såle. En løsning er å benytte en sandwichkonstruksjon hvor isolasjonen er murt helt inne.

Kap 13.I Luftkvalitet

- TEK10 gir ingen klare retningslinjer for ventilasjon av fritidsboliger men det antas at under bruk gjelder de samme kravene som til bolig. TEK 10 krever:

”§ 13-2. Ventilasjon i boenhet

(1) I boenhet skal rom for varig opphold ha ventilasjon som sikrer frisklufttilførsel på minimum 1,2 m³ pr. time pr. m² gulvareal når rommene eller boenheten er i bruk og minimum 0,7 m³ pr. time pr. m² gulvareal når rommene eller boenheten ikke er i bruk.

(2) Soverom skal tilføres minimum 26 m³ friskluft pr. time pr. sengeplass når rommet eller boenheten er i bruk. Rom som ikke er beregnet for varig opphold skal ha ventilasjon som sikrer 0,7 m³ friskluft pr. time pr. m² gulvareal. Kjøkken, sanitærom og våtrom skal ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet.” (TEK10, 2010)

- Ellers gir veiledningen til TEK 10 noen klare anbefalinger(BE, 2011):
 - o ” Peis og annet åpent ildsted som har behov for rikelig røykavtrekk, krever tilførsel av 150-300 m³ luft pr. time (42-84 l/s) som friskluftkanal direkte til ildstedet.”
 - o ” Kjøkken, sanitærom og våtrom skal i tillegg til å ha frisklufttilførsel på minimum 1,2 m³ pr. time pr. m² ha ventilasjon tilrettelagt for forsert ventilasjon.”

Rom	Grunnventilasjon[m ³ /h]	Forsert ventilasjon[m ³ /h]
Kjøkken	36	108
Bad	54	108
Toalett	36	36
Vaskerom	36	72

Kap 13. II. Termisk inneklima

”§ 13-4. Termisk inneklima

Termisk inneklima i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensyn til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk.” (TEK10, 2010)

- Veiledningen til TEK 10 anbefaler ulike tiltak for å oppnå dette (BE, 2011):
 - o Unngå strålingsubalanse fra kalde eller varme flater.
 - o Tilpasse lufttemperaturen til rommets bruk, det vil si 19-26°C for lett arbeid.
 - o Maks 3-4°C temperaturforskjell mellom føtter og hode.
 - o Daglig temperaturvariasjon mindre enn 4 °C.
- Dette er krav som er vanskelig å tilfredsstillere i hytter, spesielt ved ankomst til kald hytte om vinteren. Oppvarming før ankomst krever høy grad av automatisering men er mulig å oppnå gjennom å fyre med for eksempel strøm, olje, gass eller pellets.

Kap 13 V. Lys og utsyn

” § 13-12. Lys

(1) Byggverk skal ha tilfredsstillende tilgang på lys uten sjenerende varmebelastning.

(2) Rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende tilgang på dagslys, med mindre virksomheten tilsier noe annet.

§ 13-13. Utsyn

Rom for varig opphold skal ha vindu som gir tilfredsstillende utsyn med mindre virksomheten tilsier noe annet.” (TEK10, 2010)

- Veiledningen til TEK 10 beskriver nærmere hvordan kravene tolkes (BE, 2011):
 - o ” Krav til dagslys kan verifiseres enten ved beregning som bekrefter at gjennomsnittlig dagslysfaktor i rommet er minimum 2 %, eller ved at rommets dagslysflate utgjør minimum 10 % av rommets gulvareal.”
 - o ” For at person som sitter skal kunne ha god kontakt med det fri, må rom ha vindu i vertikal yttervegg og med underkant vindu maksimum 0,9 m over underliggende gulv.”

Kap 14 II. Energieffektivitet

- Siden fritidsboliger står tomme og kalde i lange perioder kan det argumenteres at de kommer inn under § 14-2 (3) i TEK 10 om ” bygning som ut fra forutsatt bruk skal holde lav innetemperatur”. Dersom dette er tilfelle gjelder ikke kapittel 14 i TEK 10 så lenge energiforbruket ”holdes på et forsvarlig nivå” (TEK10, 2010). Veiledningen til TEK 10 presiserer at et slikt nivå defineres slik: ” Bygningen skal innrettes slik at

transmisjonsvarmetapet ved aktuell innetemperatur ikke blir større enn det som tillates i fullt oppvarmet bygning.” (BE, 2011)

- Dersom overstående ikke kan aksepteres må hytter under 150m² tilfredsstillende minstekravene i § 14-5 og § 14-6. Disse er presentert i Tabell 2.

Bygningskategori	Dimensjon yttervegg	U-verdi tak [W/(m ² K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m ² K)]	U-verdi vindu og dør, inkludert karm/ramme [W/(m ² K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling pr. time)
Alt annet enn laft	≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,6	≤ 3,0
Laftet bygg med oppvarmet BRA over 150 m ²	≥ 8" laft	≤ 0,13	≤ 0,15	≤ 1,4	
Laftet bygg med oppvarmet BRA under 150 m ²	≥ 6" laft	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,6	

Tabell 2: Oversikt over krav til byggverk i henhold til TEK 10 Kap 14

Kap 14 III. Energiforsyning

- TEK 10 forbyr nyinstallering av oljekjel og påbyr tilknytning til fjernvarme der dette er pålagt av lokale myndigheter. (TEK10, 2010)

Kap 15 II. Innvendige vann- og avløpsinstallasjoner

§ 15-5. Generelle krav til innvendige vann- og avløpsinstallasjoner

- TEK 10 krever at ” installasjon skal tilrettelegges for høy driftssikkerhet og for effektiv drift og vedlikehold” og sikres mot frost. (TEK10, 2010)

2.10 Fuktproblematikk i hytter

Bygninger som ikke varmes opp eller bare varmes opp i perioder, får ofte, som følge av luftas varierende evne til å ta opp vann, problemer med fukt. Dette foregår på den måten at når lufta i bygningen er varm kan den holde på mye fuktighet men når bygningen senere kjøles ned vil denne fuktigheten kondensere ut ettersom lufta ikke lenger klarer å "holde" på den.

I undertegnedes prosjektoppgave (Bøckman, 2010) vises det hvordan mengden vann som kondenseres kan anslås fra et Mollier-diagram. Det vises også at for et tilfelle hvor en bygning forlattes med 20°C og 70% luftfuktighet og kjøles ned til 3°C vil det kondensere 0,007 kg vann per kubikkmeter luft. For en bygning med 100m² gulvareal og 2,4 meter takhøyde blir det ca 1,7 liter vann. Dette kan synes som ganske lite, men i praksis får det store konsekvenser. For det første fordeles ikke denne vannmengden jevnt i rommet men kondenseres i hovedsak på kalde flater som vinduer, dørhåndtak og vannkraner. I disse områdene kan vannmengden bli relativt sett mer enn stor nok for å skape problemer med mugg og skjolder. Det andre problemet er at fukten ofte blir værende på samme sted i lang tid. Fordi luften i rommet allerede er mettet med vann tørker ikke den kondenserte fukten ut.

Løsningen på problemet er enten å holde bygningen over en viss temperatur hele året eller fjerne fuktigheten gjennom ventilasjon eller avfuktere. Å holde temperaturen i en bygning tilstrekkelig høy for å unngå fuktskader krever store mengder energi og er derfor en dyr og lite miljøvennlig løsning. Ventilasjon er som regel den desidert enkleste og billigste løsningen. Gjennom naturlig ventilasjon kan dette gjøres på en svært miljøvennlig måte, men små avtrekksvifter kan også være aktuelt. I samtaler høsten 2010 kom det frem at undertegnedes veileder (Tjelflaat, 2010) har konkrete erfaringer med at i svært fuktige områder kan ventilasjon være utilstrekkelig. I slike områder kan det være mer hensiktsmessig å heller gjøre bygget så tett som mulig samtidig som man benytter en avfukter for å fjerne fuktigheten i lufta.

3 Tidligere arbeid

3.1 Innledende om tidligere arbeid

Det er allerede gjennomført en rekke omfattende arbeider som omhandler energiforbruk og klimautslipp i forbindelse med fritidsboliger. Her vil 5 arbeider, tre prosjektrapporter og to masteroppgaver, bli vurdert. Disse er valgt fordi de ikke bare analyserer og forsøker å forutsi, men fordi de også søker å løse situasjonen gjennom tekniske løsninger. Alle arbeidene er gjort ved Institutt for energi- og prosessteknikk ved NTNU, med Per O. Tjelflaat som veileder. Denne oppgaven er dermed et ledd i et arbeid som har pågått over lengre tid.

Denne gjennomgangen søker å skape oversikt gjennom å vurdere tidligere arbeider og sette resultatene i sammenheng. Målet er å velge den mest produktive veien videre gjennom å lære av tidligere resultater, mangel på resultater og mindre egnede vurderinger.

Flere av arbeidene har beslektede løsninger på problemet. Dette gjelder spesielt for arbeidet med frostsikring. Derfor er det valgt å begynne gjennomgangen med å presentere de ulike forslagene til løsning for deretter å gå gjennom de ulike arbeidene. Til slutt oppsummeres gjennomgangen før veien videre vurderes. Det er denne vurderingen som legger grunnlaget for det videre simuleringsarbeidet.

Det har vært nødvendig å forenkle fremstillingen av tidligere arbeider og forfatteren har vært nødt til å velge ut det som ble vurdert mest relevant. Dersom mer utfyllende informasjon ønskes anbefales det å lese originaltekstene.

3.2 Tidligere foreslåtte løsninger

Byggtekniske løsninger

Isolert kjerne

Gjennom å samle sanitærinstallasjonene i en ekstra godt isolert kjerne, og holde denne frostfrie mens resten av bygget er uoppvarmet, reduseres energibehovet til oppvarming i ubebodde perioder. Denne kjernen plasseres inne i bygget, det vil si uten å være i direkte kontakt med ytre klimaskjerm. Dermed utnyttes den isolerende effekten til den stillestående lufta mellom kjernen og ytterveggene. Dette konseptet benyttes i alle tidligere arbeider som blir vurdert her.

Sesongisolasjon

En isolert kjerne, som beskrevet over, krever relativt mye areal på grunn av veggens tykkelse. I tillegg vil den ofte bli for varm i sommerhalvåret. Derfor foreslår Børset (Børset, 2009) å benytte sesongisolasjon som monteres når hytta forlates og demonteres før hytta tas i bruk. Løsninger kan variere fra mindre tiltak som tildekking av ventiler, vinduer og dører til større tiltak som hele, mobile veggseksjoner.

Termisk masse

I sin prosjektoppgave foreslår Amble (Amble, 2008) å bygge fritidsboliger med mye termisk masse for å jevne ut temperatursvingninger i fritidsboligen. Mye termisk masse gir mulighet for økt utnyttelse av solenergi samt lavere effektbehov for oppvarming dersom temperaturen tillates å variere noe rundt en stabil temperatur. Det antas at det ikke er noe behov for kjøling i fritidsboliger, men mye termisk masse vil kunne gi reduserte maksimaltemperaturer om sommeren og dermed bidra til økt komfort. Ved behov for rask økning i temperaturen vil en termisk tung bygning kreve større effekt enn en lett bygning.

Materialvalg

Lafting

I sin prosjektoppgave foreslår Bratteberg (Bratteberg, 2009) å benytte konstruksjoner av tre på grunn av treverkets spesielle termiske og fukttekniske egenskaper. Andre gode argumenter er at tre fra norske skoger er en bærekraftig ressurs som lett kan gjenbrukes når bygningen rives, transportveien er ofte kort og treverk har gode branntekniske egenskaper. Det blir også påstått at tre som konstruksjonsmateriale gir lavere CO₂-utslipp, men dette er en problematisk påstand som er blitt diskutert tidligere. Det som er sikkert er at lafting er en lang og flott tradisjon, ofte med lokal forankring, som det er verdt å ta vare på.

Massivtre

Tjelflaat (Tjelflaat, 2010) foreslo i samtaler høsten 2010 at det kunne være interessant å se på muligheten for å bygge hytter i massivtre. Dette er en veldig spennende ny byggeskikk fra Tyskland. Konseptet innebærer at veggene bygges opp av ulike lag i tre, hvor enkelte lag er helt tette, mens andre har "slisser" med luft for å øke isoleringsevnen. Det benyttes ikke lim, og elementene føyes sammen ved å bruke pluggene med bare 5-7 % fuktighet. Når pluggene tar opp fuktighet fra lufta utvides de og holder elementene sammen (Holz100). For å øke isolasjonsevnen benyttes trefiberplater. Byggeprosessen foregår ved at prefabrikkerte elementer fraktes ut til

byggeplass for montering der. Fordeler med massivtre fremfor lafting er vesentlig økt isoleringsevne, hurtigere oppsetting av bygg og større frihet i utformingen.

Bindingsverk med glass- eller steinull

Bindingsverk er den vanligste måten å bygge boliger på i Norge. En bærekonstruksjon av tre gir lite kuldebroer samtidig som glass- eller steinull gir gode isoleringsegenskaper. Byggeteknikken er rimelig og gir stor frihet til utformingen. Det kan velges mellom plassbygging og prefabrikking av bygningselementer.

Betong og EPS

I alle tidligere arbeider, med unntak av Bratteberg (Bratteberg, 2009), benyttes betong i etasjeskilleren. Bakgrunnen for dette valget er et ønske om økt termisk masse.

Både Amble (Amble, 2008), Børset (Børset, 2009) og undertegnede (Bøckman, 2010) benyttet betong og EPS i veggene som skiller den isolerte kjernen fra de ytre sonene. Bakgrunnen for at EPS ble valgt som isolasjonsmateriale er materialets store varmemotstand som muliggjør tynnere vegger og dermed beslaglegger mindre areal. Likevel blir denne veggløsningen hele 350 mm tykk med en U-verdi på 0,117 W/m²K.

Klimatekniske løsninger

Ventilasjon

I forfatterens prosjektoppgave (Bøckman, 2010) vurderes ulike ventilasjonsløsninger. Både naturlig, hybrid, mekanisk og balansert ventilasjon blir vurdert. Det ble også sett på en løsning med en såkalt ”vindvifte”.

Luftsofanger

I undertegnedes prosjektoppgave (Bøckman, 2010) foreslås det å benytte en luftsofanger for å besørge tilstrekkelig ventilasjonsbehov med lite varmetap. Denne fungerer gjennom at solvarme forvarmer luften som trekkes inn i bygningen.

Avfuktere

Som det ble nevnt i kapittel 2.10 er hytter spesielt utsatt for fuktproblematikk. I samtaler høsten 2010 foreslo Tjelflaat (Tjelflaat, 2010) å benytte avfuktere for å løse eller begrense problemet. To ulike typer avfuktere ble vurdert i forfatterens prosjektoppgave (Bøckman, 2010), rotasjonsavfuktere eller kondensavfuktere.

Ekspansjonskammer

For å begrense varmetapet fra den ekstra godt isolerte indre sonen, er det ønskelig å bygge denne så tett som overhodet mulig. Dette kan skape problemer med trykkutligning, og påfølgende luftstrømmer på uønskede plasser. Uønskede luftstrømmer kan føre med seg fukt inn i konstruksjonen, og må derfor unngås. Som løsning foreslo Tjelflaat (Tjelflaat, 2010) å vurdere muligheten av å bygge et "ekspansjonskammer" i tilknytning til den indre kjernen. Alternativet er å bygge indre sone med en veldig liten åpning mot ytre sone hvor trykkutligningen kan skje trygt samtidig som luftutskiftningen begrenses til det minimale.

Frostsikring

Drenering

Bratteberg (Bratteberg, 2009) foreslår å tømme hele rørsystemet for vann. På den måten unngår man behovet for frostsikring gjennom oppvarming helt og holdent. Ulempen er at løsningen er tidkrevende og krever forståelse av brukeren. Det kan også være vanskelig, eller til og med umulig, å tømme utstyr som vaskemaskiner eller oppvaskmaskiner helt for vann.

Varmekabler

Bratteberg (Bratteberg, 2009) foreslår å montere varmekabler langs alle vannrør i bygningen for å unngå frostsikring. Slike varmekabler reguleres ved hjelp av en termostat og krever lite energi fordi de i hovedsak varmer opp vannrøret.

Isolert kjerne

Som tidligere nevnt er det mulig å samle alle sanitærinstallasjoner i en ekstra godt isolert kjerne som holdes frostfri.

Energitilførsel

Systemløsning

Tradisjonelt har fritidsboliger blitt bygd langt fra vei og spredt over et større geografisk areal. Dette er ikke lenger alltid tilfellet og det blir for tiden mer og mer vanlig å bygge såkalte "hyttelandsbyer" eller ferieleiligheter. Dette fører til veldig varierende krav og muligheter til oppvarmingsløsningen. Det er forsøkt å gi en oppsummering av dette under.

For enkelthytter som ligger spredt

- Mindre krav til utslipp av luftforurensning
- Lettere tilgang på bioenergi i form av ved
- Lettere tilgang på areal for solvarme

For leiligheter og hyttelandsbyer

- Mulighet for fjern- eller nærvarme
- Strengere krav til utslipp til luft

Energitilførsel i bebodde perioder

Energibehov

Bratteberg (Bratteberg, 2009) og Børset (Børset, 2009) ser i begrenset grad på energibehovet til "lys og utstyr" og muligheten for å dekke dette ved hjelp av solcellepanel. Ellers er det gjort få vurderinger.

Biobrensel

I samtaler våren 2011 foreslår Tjelflaat (Tjelflaat, 2011) å anta at oppvarming av rom og varmtvann i bruksfasen foregår ved hjelp av biobrensel, med andre ord ved eller pellets. Dette er uproblematisk i avsidesliggende hytter, men i hyttebyer eller mer bebodde områder må problemet med luftforurensning vurderes.

Solceller og batteribank

Børset (Børset, 2009) vurderer muligheten for å dekke strømbehovet i bebodde perioder ved hjelp av solcellepaneler og en batteribank. Dette er en mye brukt løsning i ubebodde hytter men krever at man er sparsom med forbruket.

Energitilførsel for frostsikring i ubebodde perioder

Fossile brennstoff

Amble foreslår i sin prosjektoppgave (Amble, 2008) å benytte olje eller gass til oppvarming for frostsikring. Olje er ikke tillat i henhold til TEK 10 Kap 14 III (TEK10, 2010) og er derfor uaktuelt, men gass er teknisk enkelt å benytte og økonomisk overkommelig. Gass kan også kombineres med en løsning for fjernstyring slik at hytta kan varmes opp før man ankommer, en såkalt ”ring hytta varm” løsning.

En alternativ løsning foreslått av Tjelflaat (Tjelflaat, 2010) er å benytte et automatisk styrt aggregat kombinert med en batteribank og elektrisk ovn. Dersom aggregatet plasseres i sonen som skal varmes opp antas det at virkningsgraden kan bli særdeles høy siden både den produserte strømmen og spillvarmen utnyttes til det fulle.

Ulempen med alle løsninger som benytter fossilt brennstoff er at de innebærer et netto utslipp av CO₂ og en viss brannfare.

Biobrensel

Det finnes i dag gode og trygge løsninger for automatisk drift av pelletskaminer. Med et pelletsmagasin er det trolig mulig å holde en ekstra godt isolert kjerne frostfri, uten tilsyn, gjennom en hel vinter. En pelletskamin kan også kombineres med en løsning hvor man kan ”ringe hytta varm”. Det er ikke gjort noen vurdering av denne løsningen enda og det antas at det største problemet knytter seg til driftsikkerheten.

Flisfyring benyttes gjerne i større anlegg fra 30 kW og oppover, og egner seg derfor ikke for en enkelt hytte. I hyttelandsbyer eller mer tettbebygde strøk bør det derimot vurderes en løsning med nær- eller fjernvarme kombinert med for eksempel flisfyring.

Varmepumpe

Bratteberg (Bratteberg, 2009) foreslår å benytte en varmpumpe til oppvarming, men gjør ingen analyser av konsekvensene. Imidlertid er investeringskostnaden til en varmpumpe relativt stor i forhold til energibehovet til en enkelt fritidsbolig. For en ansamling fritidsboliger kan det derimot være hensiktsmessig med nær- eller fjernvarme hvor grunnlasten dekkes av en varmpumpe.

Solcellepanel

I sin prosjektoppgave vurderer Bratteberg (Bratteberg, 2009) muligheten for å benytte et solcellepanel til å dekke energibehovet til frostsikring.

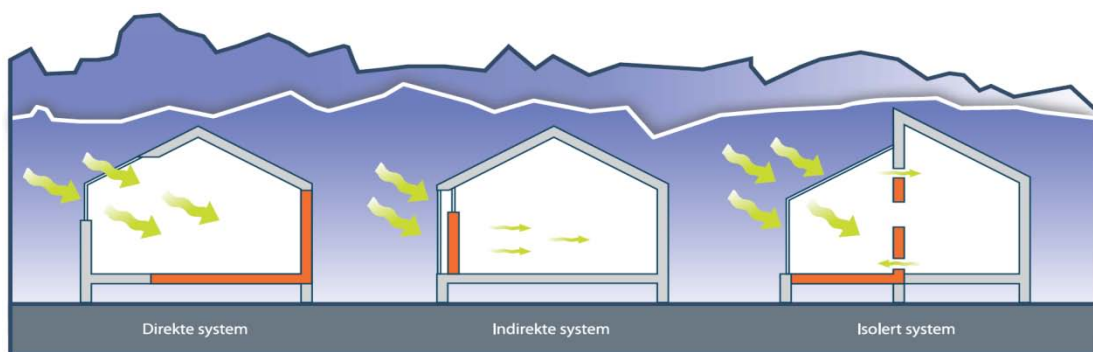
Solfangere

I sin masteroppgave foreslår Børset (Børset, 2009) å benytte en løsning med solfangere og en stor akkumulatortank for å holde en indre, ekstra isolert sone frostfri. Solfangerne sørger for å varme opp vannet i akkumulatortanken når været er bra. Denne varmen lekker så sakte ut til den indre sonen gjennom tankens vegger. Varme fra akkumulatortanken kan også brukes til forvarming av tappevann.

Passiv solvarme

Amble (Amble, 2008) og Bratteberg (Bratteberg, 2009) presenterer flere aktuelle løsninger for passiv utnyttelse av solenergi i en bolig. Disse kan kategoriseres i (Novacovic, et al., 2007):

- Direkte systemer: Solvindu
- Indirekte systemer: Solvegg, dobbeltfasade, trombevegg
- Isolerte systemer: Solrom, atrium, glassgård, vinterhage



Figur 3 Ulike systemer for passiv utnyttelse av solvarme (Brantenberg)

Passiv utnyttelse av solenergi kan utnyttes i nesten alle tenkelige scenarier. De arkitektoniske begrensningene kan likevel by på problemer siden hytter gjerne bygges etter tradisjonell stil. For

at solvarmen skal gi jevn temperatur gjennom hele døgnet er det viktig med nok termisk masse, aller helst der den varmes direkte opp av sola.

Energilagring

Akkumulatortank

I sin mastergrad foreslår Børset (Børset, 2009) å benytte en akkumulatortank for å lagre energi i form av varme, fra perioder med tilgang på energi til perioder uten. Slike tanker kan ha ulik fasong og isolasjonsmengde avhengig av hvilke egenskaper som er viktigst.

Varmelagringsmediet kan også varieres. Vann har stor evne til å lagre varme, men fryser ved 0°C. Derfor er det vanlig å tilsette glykol for å senke frysepunktet selv om dette både er korrosivt og reduserer varmelagringskapasiteten. En alternativ løsning presentert av Børset (Børset, 2009) innebærer å benytte såkalte ”phase change materials”. Dette er materialer som smelter eller stivner, og i prosessen tar opp eller gir fra seg store mengder varme.

Jordvarme

Jordvarme har lenge vært brukt til oppvarming ved hjelp av såkalte berg- eller jordvarmepumper, men dette er en unødig dyr løsning for det lille effektbehovet som er nødvendig til frostsikring av en indre, isolert sone. Derfor foreslår Amble (Amble, 2008) å utnytte jordvarmen mer direkte. Et lite stykke ned i bakken er temperaturen tilnærmet lik gjennomsnittstemperaturen ved overflaten. Siden passiv solvarme gir høy gjennomsnittstemperatur i modellen gir dette en jevn temperatur over frysepunktet i bakken under bygningen. Gjennom å ikke isolere gulvet i indre sone men isolere gulvet i resten av bygningen er tanken at varmen i fra bakken konsentreres mot det uisolerte gulvet i indre sone og holder denne frostfri. For å utbedre denne løsningen foreslås det også å aktivt tilføre varme til bakken under hytta ved hjelp av solfangere og varmekabler.

Strømnettet

Bratteberg (Bratteberg, 2009) foreslår i sin prosjektoppgave å benytte strømnettet som ”energilager”. Dette gjøres gjennom at solcellepaneler leverer strøm til nettet i løpet av sommeren. Senere, i løpet av vinteren, leveres samme mengde strøm tilbake til fritidsboligen for å holde denne frostfri. I praksis vil strøm fra solceller i Norge fortrenge vannkraft, slik at vannet forblir i magasinene, i løpet av sommeren. Denne magasinerte vannkraften representerer slik et energilager.

3.3.0 Tidligere arbeider

Innledende om tidligere arbeider

I dette kapitlet søkes det å presentere de viktigste resultatene fra tidligere arbeider og vurdere disse på en kortfattet måte. Dette fører til en tidvis grov avkorting og det har ikke vært mulig å presentere alle detaljer. Det understrekes at prioriteringen av hva som presenteres her er et resultat av forfatterens vurdering.

De ulike arbeidene vil først bli presentert og vurdert hver for seg og til slutt vil en slags konklusjon summere opp hva undertegnede mener er den viktigste kunnskapen som bør videreføres. Først vil Børset (Børset, 2009) sitt arbeid bli presentert og vurdert. Årsaken til rekkefølgen er pragmatisk gjennom at undertegnede har tilgang til en presentasjon av Børsets modell fra egne tidligere arbeider. Egentlig er Amble (Amble, 2008) sitt arbeid det tidligste av dem som blir vurdert her.

3.3.1 Utvikling av konsept for en nullutslipp fritidsbolig med en isolert frostfri indre sone og soloppvarmet vannmagasin (Børset, 2009)

Visjon

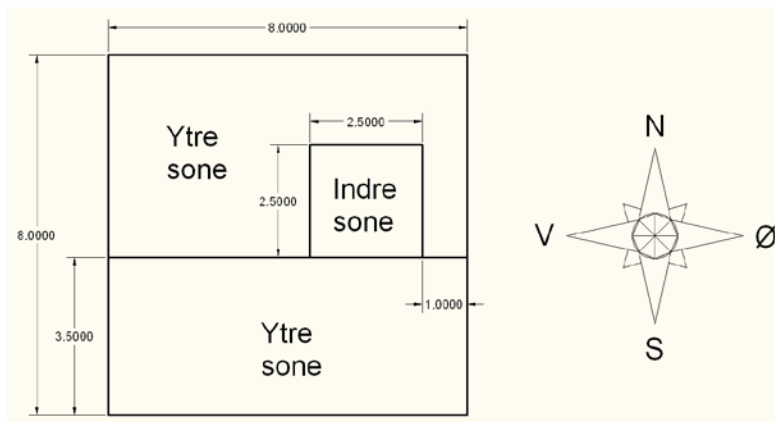
I sin masteroppgave søker Are Siljan Børset å redusere energibehovet til, og CO₂ utslippet fra fritidsboligen gjennom frostsikring ved hjelp av solfangere og en akkumulatortank. For å vurdere energibehovet for frostsikring ved ulike isolasjonsmengder gjennomføres det parameterstudier hvor oppbygningen av ytterveggene varieres. Børset ser også på mulighetene og begrensningene ved å benytte solcellepaneler til strømproduksjon både for å forsyne hytta og til eventuelt salg til strømmettet.

Simulering

Modell

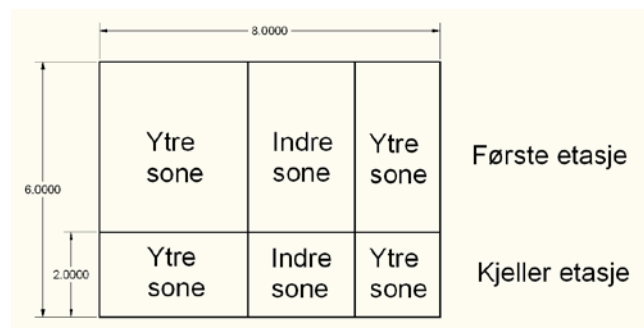
Beskrivelsen av Børsets (Børset, 2009) modell er hentet fra undertegnedes prosjektoppgave (Bøckman, 2010):

”Den ytre sonen har en kvadratisk grunnflate på 64 m^2 og er delt i en sørlig og en nordlig del. Litt nordøst i den ytre sonen er den indre sonen plassert. Denne har en grunnflate på $6,25 \text{ m}^2$. På bygningens sørlige fasade er det et vindu på $25,6 \text{ m}^2$. I tidligere simuleringer er vinduet simulert med en gjennomsnittlig U-verdi uten å ta hensyn til karm og ramme. En planskisse over fritidsboligen er vist i Figur 4.



Figur 4: Planskisse av fritidsboligmodellen

Videre er fritidsboligen delt i en kjelleretasje og en førsteetasje. Kjelleren har en etasjehøyde på 2m mens første etasje har en høyde på 4m. Den indre sonen strekker seg over begge etasjene. Et tverrsnitt av fritidsboligen er vist i figur 5.



Figur 5: Tverrsnitt av fritidsboligmodellen

I tidligere simuleringer har det blitt sett bort fra effekten av kuldebroer. Dette ble antatt som akseptabelt dersom en kuldebro-fri konstruksjon etterstrebes. Det understrekes blant annet at gulvet i indre sone er isolert fra gulvet i ytre sone. Simuleringen er også forenklet gjennom å utelate dampsperre, vindsperre og stendere i konstruksjonen. Oppbygning av ulike bygningselementer, og respektive U-verdier er gjengitt i tabell 1.

Bygningsselement	Material	Tykkelse[mm]	Samlet U-verdi [W/m ² K]
Yttervegg	Tre	20	0,188
	Glassull	200	
Innervegg	Betong	100	0,117
	Polyuretan	250	
Innervegg_i	Polyuretan	250	0,117
	Betong	100	
Tak	Snø	300	0,052
	Tre	160	
	Polyuretan	350	
Gulv	Gulvbord	100	0,128
	EPS	250	
	Betong	250	
Vindu	Glassplate	6	1,458
	luftspalte	16	
	Glassplate	6	
Etasjeskiller	Betong	150	3,608
Skillevegg	Glassplate	6	2,811
	luftspalte	12	
	Glassplate	6	
Gulv indre sone	Gulvbord	100	0,056
	EPS	500	
	Betong	250	

Tabell 3: Oppbygning av bygningselementer (Børset, 2009)

Luftstrømmer gjennom bygningskroppen er simulert som et fluidnettverk hvor strømmingene er en funksjon av trykkforskjeller, skorsteinseffekt og oppdriftskrefter. Fluidnettverket består av interne og eksterne noder som er koblet sammen gjennom komponenter. Det er benyttet to typer komponenter. Den ene er en sprekk som er sentrert på hver vegg og skal simulere infiltrasjon gjennom ytterveggen. Den andre komponenten skal simulere en dør mellom nordre og søndre sone. En oversikt er vist i tabell 2. ”

Komponent	Høyde [m]	Bredde[m]	Antall
Infiltrasjonssprekk	0,001	1	12
Ventilasjonsdør	2	1	2

Tabell 4: Oversikt over komponenter for infiltrasjon(Børset, 2009)

Det går ikke frem av ovenstående, men denne bygningsmodellen har ingen grunnmur. Den er modellert frikoblet fra grunnen, det vil si som om den sto på påler.

Klima

I simuleringene benyttes klimadata for Østersund hentet fra U.S. Department of Energy (U.S., 2011). I kapittel 10.4 (Børset, 2009) gir Børset en grundig vurdering av klimadataenes relevans for fritidsboliger i Sør-Norge. Det konkluderes med at klimadataene er egnet.

Solfangere

I simuleringen benyttes plane solfangere. Parameterne som varieres i solfangersystemet er solfangerareal, dimensjonering av akkumulatortank, isolering av akkumulatortank og lagringsmedium i akkumulatortanken.

Resultater og Børsets vurderinger

Energibehov til frostsikring

Børset sammenligner energibehovet for å holde fire like fritidsboligmodeller med ulik isolasjon i ytre sone frostfrie gjennom en vinter. Resultatet vises under i Tabell 5.

Isolasjon i yttervegg	Energibehov for å holde hele bygningen over 0°C [kWh/år]	Energibehov for å holde indre soner over 0°C [kWh/år]
Laftet hytte	1480,5	74,1
TEK-97	708,5	51,9
TEK-07	605,6	47,2
TEK-07 med solvarme	507,0	1,7

Tabell 5: Energibehov for å holde ulike bygningstyper over 0°C (Børset, 2009)

I kapittel ”11.3.1.1 Lønnsomhetsvurderinger” viser Børset at det i svært mange sannsynlige tilfeller vil være økonomisk lønnsomt å samle sanitærinstallasjonene i en indre sone.

Et interessant resultat fra Børset sine simuleringer er at uten oppvarming vil indre sone være den sonen med flest frostdøgn.

Frostsikring med solfangere

Ett av resultatene fra Børset sine simuleringer makter å holde hele den indre sonen frostfri. Dette er den aller grovest dimensjonerte løsningen med 6 m³ stor akkumulatortank, 14,4 m² stor

solfanger, og vann uten glykol på tanken. Det er ikke presisert hva slags isolasjon det er utenpå akkumulatortanken i dette tilfellet, men det antas at det er relativt lite siden tidligere simuleringer av Børset viser at lite isolasjon gir høyere minimumstemperatur i indre sone. Det ser også ut til å være mulig å holde den indre sonen i kjelleren frostfri med en mindre akkumulatortank.

Solceller

Børset sine simuleringer viser at det er mulig å få ut cirka 94 kWh strøm per kvadratmeter solcellepanel per år når panelet er montert loddrett.

For hytta med nettilknytting bruker Børset effektkravene til belysning og utstyr fra NS 3031 og antar at all effekt brukes kontinuerlig mens hytta er i bruk. Videre antas det at hytta er i bruk 30 timer i uka. Dette gir et årsforbruk av strøm på cirka 1400 kWh i året. For modellene uten nettilknytting antar Børset to ulike bruksmønster som gir behov for enten 192,3 kWh eller 114,3 kWh per år.

I de økonomiske vurderingene viser Børset at for hytter med nettilknytning vil det aldri bli lønnsomt med solceller uten store subsidier, i størrelsesorden 4-5 kr/kWh, fra staten.

For fritidsboliger uten nettilknytting analyserer Børset økonomien rundt solceller kontra aggregat og kommer til at solceller er klart mest lønnsomt. Likevel understrekes det at bilde er mer komplekst da solceller også er langt bedre med tanke på støy og miljø men mangler aggregatets evne til å levere høy effekt. En løsning med en kombinasjon av solceller og aggregat fremheves som den mest aktuelle løsningen.

Flere akkumulatortanker

Børset diskuterer fordelene med å benytte flere akkumulatortanker i stedet for en enkelt stor tank. Dette gir bedre utnyttelse av solvarmen i perioder med middels til lite sol. Konklusjonen er at dette bør studeres nærmere da det trolig gir bedre utnyttelse av solfangerne.

Undertegnedes vurdering av Børset (Børset, 2009)sitt arbeid:

Modellen

For å unngå unødvendig energibruk til oppvarming/frostsikring av en bygning er det viktig med en kompakt bygningsutforming. Den indre sonen i fritidsboligen har et forhold mellom volum og overflateareal som er langt fra kompakt. Gulvarealet er på rundt 12,5 m² mens overflatearealet ligger på 72,5 m². Dette gir forholdet 17,3 m² gulvareal på 100 m² overflateareal. For den ytre sonen er dette forholdet langt bedre med 40m² gulvareal per 100 m² overflateareal. Denne ulempen henger sammen med den geometriske fasongen til indre sone og dette er et problem som gjelder alle tidligere arbeider som vurderes her.

I veggene inn mot indre sone velger både Amble (Amble, 2008) og Børset å ha betongen ut mot ytre sone. Dette ble bekreftet i samtaler med Høseggen (Høseggen, 2011). I samtaler med Tjelflaat (Tjelflaat, 2011) kom det frem at motivasjonen var å utnytte solenergien bedre gjennom å plassere mer termisk masse i ytre sone. En annen motivasjon var å muliggjøre plasseringen av pipe for biobrensel så nærme veggen som mulig. Å montere isolasjonen på konstruksjonens varme side gjør det vanskelig å unngå kuldebroer i forbindelse med etasjeskilleren. Samtidig vil en vegg i betong og EPS både bli tykkere og vesentlig dyrere enn andre løsninger med sammenlignbare U-verdier. Det finnes i dag gode løsninger for å beskytte brannfarlige vegger mot varmestrålingen fra vedovner eller lignende. Derfor mener undertegnede at veggene som hittil er benyttet inn mot indre sone ikke er ideelt bygd opp.

Solfangere

I simuleringene til Børset benyttes plane solfangere. Dette er vanligvis et fornuftig valg til boligsektoren siden plane solfangere er vesentlig rimeligere i innkjøp. I denne situasjonen skulle undertegnede veldig gjerne også sett en simulering med vakuumsolfangere. Forskjellen mellom disse solfangertypene er gjenstand for debatt, men det er gjengse oppfatning at vakuumsolfangere har vesentlig større effekt ved lave temperaturer og ville gitt varmetilskudd lenger ut i vinterhalvåret.

Akkumulatortank/er

Børset vurderer mulige løsninger med flere mindre akkumulatortanker i stedet for en stor. Dette anser også undertegnede som en god løsning, spesielt siden dette gir muligheten til å plassere en tank i 1 etasje også. Børset vurderer U-verdien til etasjeskilleren til å være $11,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ og er forundret over at ikke mer varme "lekker" fra kjelleren til andre etasje. Dette kommer nok av at den reelle varmemotstanden ikke er $0,0885 \text{ W/m}^2\text{K}$ men $(0,10 + 0,15/2,0 + 0,10) \text{ m}^2\text{K/W} = 0,275 \text{ m}^2\text{K/W}$ som gir U-verdien $3,64 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dermed er det ikke vanskelig å se at noe må gjøres for å gi en mer homogen fordeling av varmen mellom de to sonene. Varmeovergangsmotstandene og varmekonduktiviteten er hentet fra Byggforsk (Karlsson, 1998) (Kristensen, 2003).

Simuleringer og vurderinger

Energibehov

Når Børset velger å bruke effektverdier for lys og utstyr fra NS 3031 (StandardNorge, 2007) og anta full effekt 30 timer i uka blir dette feil bruk av slike verdier. Effektverdiene i NS 3031 er ikke ment som gjennomsnittseffekter, men krav til effektkapasitet. Undertegnede mener det ville være riktigere å bruke verdiene fra NS 3031 for årlig energibehov til lys og utstyr og kompensere for at bygningen bare benyttes et visst antall av 365 dager. Dette forutsetter at all oppvarming, både av oppholdsrom og av varmtvann, foregår med andre energikilder enn strøm. Dersom resultatene til Østlandsforskning (Ericsson, et al., 2005) legges til grunn kan det antas at fritidsboligen benyttes 46 dager i året. I et slikt tilfelle blir det årlige strømforbruket 645 kWh/år . Dette kan nesten, i følge Børsets egne beregninger, dekkes av et solcellepanel på 800W . Dersom

det benyttes energieffektiv belysning og utstyr kan det årlige energibehovet reduseres drastisk, og en gjennomsnittlig fritidsbolig bør kunne bli nettoeksportør av strøm selv med boligstandard.

Under simuleringene med solcellepanel viser Børset kun energibalansen i de ulike senarioene sett totalt over året. Batterikapasiteten finnes gjennom en forenklet ligning. Undertegnede skulle gjerne sett en simulering hvor det også ble sett på behovet for batterikapasitet. Det hjelper lite om batteriene takler 7 dager i strekk i juleferien, dersom de ikke er ladet opp igjen til vinterferien. Dersom dette er vanskelig å simulere i ESP-r er det enkelt å finne gjennom å behandle verdier fra ESP-r i Excel.

Dimensjonering av frostsikring

Under simuleringene setter Børset krav om temperaturer over 0°C for å definere frostfrie forhold. Dette er for liten margin. Med litt trekk, en liten kuldebro eller en fuktskade vil temperaturen i deler av indre sone kunne komme langt under simulert resultat. Siden slike byggfeil ofte er i forbindelse med gjennomføringer, for eksempel av vannrør, blir problemstillingen ekstra aktuell.

Infiltrasjon

I undertegnedes prosjektoppgave (Bøckman, 2010) utforskes infiltrasjonen i Børsets modell. Det vises at denne infiltrasjonen er unormalt lav og alt for avhengig av vind. Resultatet er at det blir vesentlig mindre varmetap som følge av infiltrasjon enn det som trolig er reelt.

Vegg mot indre sone

I vegg mot indre sone benyttes en lambdaverdi for veggen av polyuretanskum lik 0,03 W/mK. Med et utvendig lag av betong blir det nødvendig med en innvendig bærekonstruksjon for å unngå store problemer med kuldebroer. Ved utregning av veggens varmemotstand, nedre grenseverdi, i henhold til NS-EN ISO 6946 (Edvardsen, et al., 2007), vil en legering av 9 % tre og 91 % polyuretanskum gi en varmeledningsevne på 0,034W/mK. Det antas derfor at U-verdien som er benyttet er for optimistisk selv om dette ikke er noen grov feil.

Polyuretanskum har en typisk varmekonduktivitet på 0,024 W/mK, men er dyrt på grunn av komplisert montering og større brannfare. Ved montering frigjøres stoffer som er sterkt allergifremmende og ved brann utvikles det blåsyregass. Derfor egner polyuretanskum seg helst i prefabrikkerte moduler (Edvardsen, et al., 2007). Denne problemstillingen gjelder også for Amble (Amble, 2008) sitt arbeid som beskrives under.

Simuleringenes relevans

Undertegnede mener de tre innvendingene over viser at det bør utvises forsiktighet dersom Børsets simuleringer skal benyttes til dimensjonering og ikke utelukkende som parameterstudier. Mangelen på vinduer og dører, og utelatelsen av solskjerming bidrar også til å gjøre simuleringen

mindre realistisk. Så vidt undertegnede kan bedømme viser ikke Børsets arbeider om det er mulig/umulig å holde en indre sone frostfri ved hjelp av solfangere og akkumulatortanker i de dimensjonene Børset presenterer. Derimot representerer simuleringene en god parameterstudie av ulike måter å bygge opp/dimensjonere solfangersystemer for frostsikring på samt den store betydningen av en indre frostfri sone.

3.3.2 Analyse av energibruk for bygning med passiv soloppvarming og varmeutveksling med grunnen (Amble, 2008)

Visjon

I sin prosjektoppgave søker Anne Kristine Amble å finne en metode for frostsikring av fritidsboliger uten tilførsel av primærenergi eller utslipp av klimagasser. Amble benytter prinsipper kjent fra bygging av lavenergiboliger som:

- Samle de varmeste sonene midt i bygget. Her gjelder dette sonene som skal holdes frostfrie.
- Utnytte passiv solvarme.
- God isolering.

I tillegg utnytter modellen til Amble varmeutveksling med grunnen for å holde indre sone frostfri. Dette gjøres gjennom å isolere gulvet i første etasje ytre sone mot bakken, mens gulvet i indre sone holdes uisolert. På denne måten er tanken at varmen skal sentreres opp mot de indre sonene som dermed holdes frostfrie.

Simulering

Modell

Bygningsmodellen i Amble (Amble, 2008) sine arbeider skiller seg fra modellen til Børset (Børset, 2009) på to punkter.

- Amble utelater infiltrasjon i sin simulering.
- Modellen til Amble er simulert som om den har en støpt såle på grunnen. Gulvene i den ytre sonen er simulert som adiabatisk idet det antas at varmeutvekslingen er liten som følge av mye isolasjon og liten temperaturdifferanse. I den indre sonen er gulvet forsøkt simulert som om det var uisolert mot grunnen. I mangel av bedre måter å simulere

grunnen på ble det valgt å benytte 5 lag med 20 cm tykk betong. Temperaturen på undersiden av det nederste laget ble så satt til konstant 5° C.

Ellers er modellen til Amble helt lik den i Børset sitt arbeid. Det bør nevnes at det er Amble som i utgangspunktet utviklet modellen, og Børset som har videreført og videreutviklet arbeidet.

Klima

Amble ser både på hvordan modellen fungerer i Østersund-klima og hvordan den fungerer i Kiruna-klima.

Resultater og Ambles vurderinger

Kiruna-klima

Amble finner antall frostdøgn, minimumstemperatur og energibehovet for frostsikring av de ulike sonene ved Kiruna-klima. Resultatet gjengis i Tabell 6.

Sone	Antall døgn med minusgrader	Minimumstemperatur [°C]	Energibehov for frostsikring[kWh]
Utendørs	187,8	-28,9	∞
Indre sone 1 etasje	95,0	-6,7	88,42
Indre sone kjeller	87,8	-4,5	7,20
Ytre sone sør	108,7	-16,3	?
Ytre sone nord	112,0	-15,2	?

Tabell 6: Resultat av simulering i Kiruna

Som det vises i tabellen over klarer ikke løsningen med varmeutveksling med grunnen å holde de indre sonene frostfrie. Likevel holder de indre sonene vesentlig høyere temperatur enn de ytre, og energibehovet til frostsikring blir tilsvarende lave.

Østersund-klima

Amble finner antall frostdøgn, minimumstemperatur og energibehovet for frostsikring av de ulike sonene ved Østersund-klima. Resultatet er gjengitt i Tabell 7.

Sone	Antall døgn med minusgrader	Minimumstemperatur [°C]	Energibehov for frostsikring[kWh]
Utendørs	129,2	-25,6	∞
Indre sone 1 etasje	31,5	-1,3	7,28
Indre sone kjeller	3,9	-0,1	0
Ytre sone sør	71,2	-7,9	?
Ytre sone nord	66,2	-5,7	?

Tabell 7: Resultat av simulering i Østersund-klima

Som det vises av tabellen over er det bare så vidt at ikke Ambles modell klarer å holde de indre sonene frostfrie. Energibehovet til frostsikring må sies å være marginalt og kan enkelt dekkes av et lite solcellepanel. Ambles egen vurdering er at det er mulig å oppnå frostfrie forhold med modellen som benyttes og at problemet ligger i en for dårlig simulering av grunnen.

Temperaturen i overflaten til det uisolerte gulvet i indre sone kjeller varierer voldsomt under simuleringene. I januar er den på sitt laveste med ca 1°C mens den 1 juli er helt oppe i 22°C. Fordi gulvet er så varmt om sommeren antar Amble at simuleringene er urealistiske. Samtidig slår hun fast at en gulvtemperatur på 1°C er uholdbart og krever løsninger som periodisk isolering under bruk. Varmefluksen fra grunnen og til de indre sonene er positiv mellom 11 november og 14 mars. Den største varmekraften opptrer 4 februar med 4,44W/m².

I sitt arbeid legger Amble stor vekt på å utnytte passiv solvarme i de ytre sonene. Et stort sørvendt vindu kombinert med gulv innenfor med betydelig termisk masse sørger for dette. Ulempen er at et stort vindu med lavere U-verdi enn ytterveggene også gir større varmetap. I diskusjonsdelen tar Amble opp vurderingen av om dette bidrar netto positivt eller negativt til

energiforbruket til frostsikring i indre sone. Det poengteres at vinduet som er benyttet i simuleringen er langt fra optimalt.

Undertegnede vurdering av Amble (Amble, 2008) sitt arbeid:

Ideen

Undertegnede vurderer ideen om å frostsikre sanitærinstallasjonene ved hjelp av en isolert kjerne og grunnvarme gjennom kjellergulvet som en elegant løsning. Løsningen krever lite ekstra investeringer og er særs driftsikker så lenge den er tilstrekkelig overdimensjonert. Likevel er det noen aspekter ved løsningen som er problematiske. Spesielt gjelder dette temperaturen i gulvet vinterstid og temperaturen i indre sone sommerstid.

Modellen

I arbeidet til Amble baseres frostsikringen av den isolerte kjernen på varmetilskudd fra grunnen. Dette gjøres gjennom å isolere kjellergulvet i ytre sone og bakken utenfor bygningen mens gulvet i indre sone holdes uisolert. Tanken er at varmen skal sentreres opp mot den indre sonen, men uten en god simulering av grunnen er det umulig å vurdere om dette fungerer eller ikke. Den samlede varmemotstanden i grunnen kan fort bli stor og kombinert med en liten temperaturgradient gir dette liten varmestrøm. Ved 0°C i indre sone og 5°C i grunnen er temperaturgradienten $[\Delta T]$ på kun 5°C.

Utformingen av indre sone spiller også en viktig rolle. I praksis vil det være tre motvirkende faktorer som avgjør ideell utforming av indre sone.

- Ønsket/nødvendig gulvareal
- Minimere varmetap gjennom å minimere overflatearealet med unntak av arealet mot bakken
- Maksimere varmetilførselen fra grunnen

De to første faktorene er relativt enkle å optimere. Å maksimere varmetilførselen fra grunnen kan derimot være mye mer komplisert. Temperaturen i grunnen vil være høyest midt under bygningen og avta nærmere ytterveggene på grunn av varmetap til friluft. Det hele koker ned til å handle om å balansere ønsket om minimal varmemotstand gjennom stort areal mot grunnen med ønsket om å minimere varmetapet mot uteluften langs ytterveggene. Grunnmuren må uansett sikres mot frost gjennom markisolering. Dette vil begrense varmetapet til uteluften vesentlig og det er ikke utenkelig at det vil lønne seg å legge hele indre sone i første etasje, med hele gulvet uisolert mot bakken. Derfor mener undertegnede det er uheldig med en indre sone som er utformet som en høy, tynn søyle med lite areal mot bakken. Det vil derfor være svært ønskelig å

få en mer realistisk simulering av temperaturen i grunnen under bygningen for å kunne optimere utformingen av indre sone.

Den store praktiske ulempen ved stort uisolert gulvareal mot grunnen er at dette gulvet vil føles ubehagelig kaldt når hytta er i bruk. Dette bør kunne hjelpes gjennom tepper og/eller vannbåren vedfyrte varme.

Simuleringene og resultat

Simulering av grunnen

Amble bruker mye tid og energi på å vurdere hvor realistiske simuleringen av grunnforholdene er. Dette er et viktig tema fordi det er vanskelig. Undertegnede vurderer det som veldig vanskelig å simulere grunnen helt realistisk fordi grunnforholdene alltid vil variere voldsomt! For eksempel vil vannsig kunne føre til både vesentlig kaldere og vesentlig varmere temperaturer i grunnen enn simulert ellers. Derfor vurderer undertegnede det som ekstra viktig å overdimensjonere modellen i dette tilfellet.

Å benytte 5 lag med 20cm tykk betong er i utgangspunktet en grov forenkling av grunnen. At gulvets overflatetemperatur 1 juli kommer opp i 22 °C viser tydelig at noe ikke stemmer. Ved dette tidspunktet er temperaturen i de fem betonglagene ikke under 16 °C og hele temperaturfallet mot grensebetingelsen på 5 °C foregår i overgangsmotstanden under det nederste betonglaget. Dette innebærer trolig at simuleringen går glipp av mye varmelagringskapasitet. En bedre simulering av bakken kan i det minste benytte større termisk masse i grunnen og materialeegenskaper som ligner mer på typiske grunnforhold. På den måten oppnås trolig en mer realistisk varmelagring og transport.

På de varmeste dagene kommer temperaturen i ytre sone helt opp i 50°C. Dette er uakseptabelt selv i en bolig som står ubrukt. For å løse dette er det mulig å montere solskjerming over det sørvendte vinduet. Det er viktig at denne solskjermingen er montert riktig slik at den skjermer for sola om sommeren, når den står høyt på himmelen, og ikke om vinteren, når den står lavt på himmelen. Dette kan synes som uvesentlig ved dimensjonering med tanke på frostproblematikk siden dette ikke forekommer om sommeren, men urealistisk høy temperatur om sommeren gir urealistisk høy varmelagring i grunnen under hytta.

Infiltrasjon

Amble simulerer uten infiltrasjon i ytre sone. Dette gir sannsynligvis et litt for lite oppvarmingsbehov i indre sone.

Snø

Under simuleringene antas det at det ligger et 300mm tykt lag med snø på taket som bidrar til isolering av konstruksjonen. Dette er mulig men forutsetter at taket er bygd som et kompakt tak uten luftet takteking.

Relevans av simuleringen

Så vidt undertegnede kan vurdere knytter det seg for stor usikkerhet til simuleringene til at disse kan benyttes for dimensjonering. Det er ikke gjennomført noen parameterstudier som kunne vise effekten av økt/reduert isolasjon, større mindre kontaktflate mot grunnen, geometrisk utforming eller sårbarhet.

3.3.3 Analysis of Energy Use in Frost-free and CO₂-free Leisure Home Building with Active Solar Energy (Bratteberg, 2009)

Visjon

Visjonen i Bratteberg sin prosjektoppgave er å holde indre sone frostfri ved hjelp av solcellepaneler. Fordi soltilskuddet er i motfase med energibehovet til frostsikring, 92 % av soltilskuddet tilføres i perioden 17 mars til 18 oktober (Bratteberg, 2009), innebærer dette et stort behov for lagring av elektrisk energi. Dette lagringsbehovet er så stort at det ikke er realistisk å gjennomføre med tradisjonelle batteriløsninger. Bratteberg foreslår derfor å benytte elektrisitetsnettet som "lagringsplass".

Gjennom parameterstudier av isolasjonstykkel og bevisst materialvalg (LCA) søker Bratteberg å redusere utslippene i forbindelse med byggefasen uten at dette går ut over prestasjonene i bruksfasen. Blant annet velger Bratteberg å benytte tre i svært stor utstrekning der det tidligere har vært benyttet betong.

Simuleringer og vurderinger

Modell

Dimensjonene og geometrien i Brattebergs modell skiller seg ikke fra modellen i Amble og Børset sine arbeider. Det er derimot store forskjeller på materialbruken og noen påfølgende forskjeller i U-verdier. Dette er vist i Tabell 8.

Bygningsselement	Material Bratteberg	Tykkelse[mm] Bratteberg	Samlet U-verdi Bratteberg [W/m ² K]	Samlet U-verdi Børset og Amble[W/m ² K]
Yttervegg	Eik	232	0.719	0.188
Gulv ytre sone	Eik	10	0.177	0.128
	EPS	155		
	Eik	50		
Tak ytre sone	Eik	10	0.177	0.052
	EPS	155		
	Eik	50		
Vindu	Glassplate	6	1.598	1.458
	luftspalte	16		
	Glassplate	6		
Skillevegg	Glassplate	6	2.811	2.811
	luftspalte	12		
	Glassplate	6		
Etasjeskiller	Eik	20	3.633	3.608
Innervegg	Eik	10	0.115	0.117
	EPS	250		
	Eik	20		
Gulv indre sone	Eik	10	0.095	0,056
	EPS	300		
	Eik	50		
Tak indre sone	Eik	10	0.095	0,056
	EPS	300		
	Eik	50		

Tabell 8: Materialer Bratteberg

Klima

Bratteberg benytter, i likhet med Børset (Børset, 2009) og Amble (Amble, 2008), klimadata for Østersund.

Infiltrasjon

Bratteberg simulerer med infiltrasjonssprekker i alle yttervegger, innervegger, gulv og tak. Dette burde gi en realistisk simulering av infiltrasjonen i en bygning. Verken Børset (Børset, 2009) eller Amble (Amble, 2008) simulerer med så omfattende infiltrasjon.

Tung versus lett bygning

Bratteberg gjør store anstrengelser for å konstruere en lett bygning. Som motivasjon for dette oppgis det at bygningen skal varmes opp med elektrisitet. Tiltak som benyttes er utstrakt bruk av tre i stedet for betong og valg av EPS i stedet for stein eller glassull. Det velges også laftede vegger i stedet for bindingsverk selv om dette til en viss grad strider mot ønsket om lett konstruksjon.

LCA

Bratteberg søker å redusere fritidsboligens totale CO₂ belastning gjennom LCA, det vil si livssyklusvurderinger. Dette fører til utstrakt bruk av treverk i bygningen, blant annet laftede vegger. Bratteberg redegjør også for livssyklusanalyser av solcellepanel.

Frostsikring

Frostsikring foregår gjennom direkte elektrisk oppvarming av indre sone. Det er ingen parallelle studier av elektrisitetsproduksjon fra solcellepanel og behov til frostsikring da dette ikke har noen hensikt. Målet er uansett kun å oppnå balanse.

Solcellepanel

Energiproduksjonen fra solcellepanelet er vurdert gjennom bearbeiding av verdier fra ESP-r for solinnstråling på en horisontal flate.

Resultater og Brattebergs vurderinger

Isolasjonstykkelse

Gjennom tre ulike parametervariasjoner viser Bratteberg variasjonen av energibehovet for å holde indre sone frostfri som følge av ulike isolasjonstykkelser. Det vises at effekten av økt isolasjonstykkelse, det vil si redusert energiforbruk per mm økt isolasjonstykkelse, er størst ved små isolasjonsmengder og minker etter hvert som isolasjonen økes. Det er ikke klart hvilke kriterier som brukes for å bestemme nøyaktig tykkelse på isolasjonen for indre sone, men det bestemmes å benytte 250mm i veggene og 300mm i tak og gulv.

Energibehov

Indre sone frostfri

Brattebergs simuleringer viser at det trengs oppvarming av indre sone 115 dager i året. Totalt energiforbruk for hele indre sone er ca 88 kWh/år og effektbehovet er på ca 110W.

Hele bygningen frostfri

I en simulering hvor hele bygningen holdes frostfri blir totalt energiforbruk 2120 kWh/år. Den samme simuleringen viser at det fortsatt kreves 88 kWh/år for å holde indre sone frostfri. Bratteberg skriver at ”det naturlige ville være en reduksjon i energibehovet til indre sone siden mindre varme vil lekke gjennom veggene og et varmetilskudd fra de omkringliggende sonene er mulig”(oversatt av forfatteren).

Parameterstudier

For å studere hvordan ulike faktorer i modellen påvirker energibehovet til frostsikring gjennomføres fem ulike parameterstudier:

- Normal simulering:	88 kWh/år
- Ugjennomsiktig vindu men; U-verdi lik 1,598 W/m ² K:	Usikkert
- Gjennomsiktig vindu men; U-verdi til nesten 0 W/m ² K:	84 kWh/år
- Ingen infiltrasjon:	115 kWh/år
- Ingen refleksjon fra snøen:	92 kWh/år

Bratteberg oppgir ulike verdier for simuleringen med ugjennomsiktig vindu og derfor er dette referert som ”usikkert”. Alle verdiene som oppgis er likevel høyt over energibehovet for en ”normal simulering”. Bratteberg vurderer det økte energibehovet i simuleringen uten infiltrasjon som problematisk og antar det kommer som følge av en feil i simuleringen.

Solcellepanel

Bratteberg finner at solcellepanelet kan levere 99,7 kWh strøm per m² per år.

Det hevdes også at solcellepanel bruker mellom 1 og 5 år på å levere like mye energi som kreves for å produsere dem.

Undertegnedes vurdering av Bratteberg (Bratteberg, 2009) sitt arbeid:

Ideen

Tanken om å benytte strømmettet som lagringsenhet er elegant og gjennomførbar. Ideen har klare paralleller til tanken bak eksisterende planer om å knytte Norges vannmagasiner opp mot Europeisk vindkraft. For hver enkelts samvittighet er dette en god løsning. Spørsmålet blir om det er en god samfunnsøkonomisk løsning. Er dette måten Norge som nasjon kan få mest mulig miljøvennlig energi per krone? I en senere studie av Bratteberg (Bratteberg, 2010) vises det at energikostnaden for solcellepanel trolig kommer opp i rundt 3,5-4 kr/kWh. Et politisk alternativ kan være å skatte "luksus" strømforbruket til fritidsboliger og investere dette i vind, vann, bølge eller biokraftanlegg. På denne måten innlemmes også eksisterende hytter i ordningen. Siden Brattebergs modell er avhengig av nett-tilknytting blir denne politiske problemstillingen mer aktuell for Brattebergs arbeider enn for Børset (Børset, 2009) og Ambles (Amble, 2008) vurderinger.

Modellen

Lett konstruksjon

Under konstruksjon av modellen fokuseres det mye på å bygge en så lett bygning som mulig. Begrunnelsen for disse anstrengelsene er at bygningen skal varmes opp med elektrisitet. Elektrisk oppvarming gir muligheten for stor effekt og dermed rask endring av temperaturen. Dersom dette kombineres med en termisk lett bygning kan energi spares gjennom senkning av temperaturen i rom som ikke benyttes, for eksempel gjennom nattesenkning. Dersom temperaturen i bygningen holdes konstant er det ingenting å spare på en lett bygning. Snarere tvert i mot.

For å utnytte passiv solenergi på en god måte er det viktig med mye termisk masse. Dersom temperaturen tillates å variere noe vil den termiske massen hindre overoppheting om dagen, og avgi varme om kvelden. En termisk lett bygning med stort vindusareal vil få mer ekstreme temperaturer, varmere om dagen og kaldere om natten, eller større kjøle- og oppvarmingsbehov.

Hytter benyttes gjerne i flere kortere perioder og holdes sjeldent på normal innnetemperatur gjennom hele året. Ved ankomst i den kalde årstida kan det være problematisk å nå komfortable temperaturer i løpet av den første kvelden. I enkelte hytter kan det ta flere dager før ønsket innnetemperatur oppnås. Med en lett konstruksjon sikres rask oppvarming og dermed komfortabelt innklima. Dersom bygningen er termisk tung vil det ta lang tid å varme den opp, og bygningen vil være varm flere dager etter at den er blitt forlatt. Dette fører til unødig stort energiforbruk i forbindelse med mange korte besøk.

En lett konstruksjon lar seg til dels dårlig kombinere med laftede vegger. På grunn av høy densitet og stor varmekapasitet blir en laftet vegg som oftest regnet som en termisk middels tung vegg. Likevel, siden varmekonduktiviteten i tre er såpass lav vil det være mulig med relativt store

temperaturgradienter inne i en laftet vegg. Det innebærer at ved hurtige temperaturendringer vil bare det ytre laget i treverket endre temperatur og veggen oppfører seg som en termisk lett vegg.

For å redusere miljøbelastningen under byggefasen benytter Bratteberg seg av store mengder tre i konstruksjonen. Som det ble vist i innledningen er det omdiskutert hvor effektivt dette er for å redusere miljøbelastningen, spesielt klimagassutslippene.

Simuleringene

Isolasjonstykkelse

I Brattebergs arbeider oppgis det ingen kriterier for nøyaktig valg av isolasjonstykkelse. Slike kriterier kunne være totalt energiforbruk, minimal mengde spart energi per volum isolasjon eller det hadde vært mulig å se på hvilke dimensjoner som er vanlig/naturlig å velge i tak- og gulvkonstruksjoner for å oppnå tilstrekkelig styrke. Undertegnede skulle gjerne sett et mer bevisst valg.

Infiltrasjon

Når Bratteberg gjennomførte sine simuleringer, simulerte han med det til da mest ambisiøse fluidnettverket for infiltrasjon av denne bygningsmodellen. Fluidnettverk er i følge håndboken til ESP-r et vanskelig område, "where dragons live" (Hand, 2010). Det kan se ut som om Bratteberg har støtt på en av disse dragene siden resultatet fra simuleringen uten infiltrasjon gir både et overraskende og til dels dramatisk resultat. Når infiltrasjon utelates fra modellen øker energiforbruket med ca 30 %. Dette strider mot intuitiv logikk og konvensjonell lære. Det er derfor rimelig å anta at det er noe i simuleringen som ikke stemmer.

Solvindu

Brattebergs parameterstudier viser at redusert U-verdi på vinduet kun fører til en liten reduksjon i energibehovet til frostsikring. Når soltilskuddet gjennom vinduet fjernes helt, gjennom å gjøre vinduet ugjennomsiktig, øker derimot dette energibehovet drastisk. Dette understreker verdien av å utnytte passiv solenergi. Ulempen med å benytte en modell med passiv solvarme til dimensjonering av et system er at majoriteten av norske hytter ikke ligger slik at de kan få optimal utnyttelse av solenergi. Derfor mener undertegnede det hadde vært interessant å se på en situasjon uten vindu også.

Energibehov

I en simulering av Bratteberg, hvor hele bygningen holdes frostfri, blir totalt energiforbruk 2120 kWh/år. Fordi Brattebergs bygningsmodell har verdier som likner TEK-kravene til en laftet fritidsbolig er resultatet sammenlignbart med Børsets (Børset, 2009) simulering av en laftet fritidsbolig. I Børsets simuleringer ble det funnet at energibehovet for frostsikring av hele bygningen var 1480 kWh/år. Dette innebærer at Bratteberg får 43 % høyere energiforbruk enn

Børset. Det er usikkert om det er Børset, Bratteberg eller begge som har en feil i simuleringen, eller om det er forskjeller mellom simuleringene som ikke kommer frem i de respektives tekster. En mulig forklaring kan være at modellen i Børset sine simuleringer utnytter den passive solenergien bedre enn det modellen i Bratteberg sine arbeider klarer samtidig som Bratteberg får økt varmetap som følge av økt infiltrasjon. Dette kommer av at Børsets modell har vesentlig mer termisk masse gjennom en etasjeskiller i betong der Bratteberg kun har plankegulv.

Solcellepanel

Bratteberg finner at solcellepanelet kan levere 99,7 kWh per m² per år. Dette er 5,7 kWh mer enn Børset noe som anses som en akseptabel variasjon.

Relevans

Relevansen til Bratteberg sitt arbeid avhenger i stor grad av politisk vilje. Finnes det politisk vilje til kollektive løsninger kontra tanken om å stille den enkelte forbruker til ansvar? Prioriteres økonomien i større anlegg som vind-, elve-, bio- og bølgekraftanlegg fremfor naturødeleggelsene slike tiltak innebærer? I så måte vil det være en kontroversiell side ved Brattebergs løsning at den krever ytterligere utbygging av strømmettet på grunn av desentralisering av strømproduksjonen.

Gjennom parameterstudiene som viser energibehov med/uten; ugjennomsiktig vindu, høy U-verdi på vindu og infiltrasjon avdekker Bratteberg noen mulige svakheter ved simuleringen. Dette er viktige resultater som det bør legges merke til. Undertegnede mener Brattebergs parameterstudier viser en kraftfull måte å kvalitetssikre simuleringene på som burde videreføres i arbeidet.

3.3.4 LCA Evaluation of Concepts for a Leisure Home Building with Frost Safe Sanitary Installations (Bratteberg, 2010)

Visjon

I tidligere arbeider er det foreslått en rekke tiltak for å redusere CO₂ utslippene fra fritidsboliger. Bratteberg søker å finne hvilke av disse tiltakene som er mest effektive totalt sett gjennom hele bygningens levetid. Til dette arbeidet benyttes en livssyklusanalyse (LCA). LCA vurderingen summerer opp CO₂ utslippene som følger alt av materialforbruk og arbeid i forbindelse med bygging, bruk og riving av fritidsboligen.

Bratteberg gjennomfører også en LCCA analyse (Life Cycle Cost Analysis) som viser kostnaden ved ulike tiltak og bygningsløsninger i kroner og øre.

LCA simulering

Programvare og metode

For LCA simuleringen ble simuleringsprogrammet SimaPro kombinert med metoden Eco-indicator 99 og ”biblioteket” Ecoinvent Unit Processes benyttet. Kort fortalt er SimaPro selve dataprogrammet som gjennomfører utregningen, Eco-indicator 99 er utregningsmetoden som SimaPro benytter og Ecoinvent Unit Processes inneholder data over miljøpåvirkningen for hvert material eller aktivitet isolert sett.

Parameterstudier

Tre ulike bygningstyper med tre ulike oppvarmingsløsninger hver benyttes i simuleringen. Disse 9 ulike kombinasjonene er presentert under:

- Laftet bygning på påler (termisk lett bygning).
 1. Kun oppvarming av indre sone. Solceller knyttet til elektrisitetsnettet.
 2. Kun oppvarming av indre sone. Energi levert fra elektrisitetsnettet.
 3. Oppvarming av hele bygningen. Energi levert fra elektrisitetsnettet.

- Laftet bygning med grunnmur og murt såle (termisk middels tung bygning).
 4. Kun oppvarming av indre sone ved hjelp av solfangere og akkumulatortank.
 5. Kun oppvarming av indre sone. Energi levert fra elektrisitetsnettet.
 6. Oppvarming av hele bygningen. Energi levert fra elektrisitetsnettet.

- Bygning i bindingsverk med etasjeskiller i betong, murt grunnmur og murt såle. (termisk tung bygning).
 7. Kun oppvarming av indre sone. Solceller knyttet til elektrisitetsnettet.
 8. Kun oppvarming av indre sone. Energi levert fra elektrisitetsnettet.
 9. Oppvarming av hele bygningen. Energi levert fra elektrisitetsnettet.

Verdier

Bratteberg argumenterer for å benytte data for CO₂ utslipp forbundet med norsk elproduksjon i stedet for en europeisk miks som UCPTE. For elforbruket simuleres det både med utslippsverdier som representerer en miks av all europeisk elproduksjon (UCPTE-miks), en miks av nordisk elproduksjon og norsk elproduksjon. Fordi undertegnede mener det kun er relevant å se på resultatene med UCPTE-miks er det bare simuleringer med denne miksen som presenteres her. For nærmere diskusjon rundt emnet henvises det til kapittel 2,1, og vurderingen av dette arbeidet under. Når det gjelder transport og materialer forsøker Bratteberg å benytte verdier som er nærmest mulig dokumenterte verdier for norske forhold.

Materialforbruk og energiforbruk hentes fra simuleringer i Brattebergs prosjektoppgave og fra simuleringer i Børsets mastergrad (Børset, 2009). Verdiene for energiforbruket til ubebodde fritidsboliger med antatt levetid på 60 år er vist i Tabell 9.

Kombinasjon	Netto energibehov over 60 år [kWh]
1	0
2	6 265
3	127 119
4	0
5	1 278
6	98 544
7	0
8	2 832
9	36 336

Tabell 9: Netto energibehov over 60 år [kWh]

Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

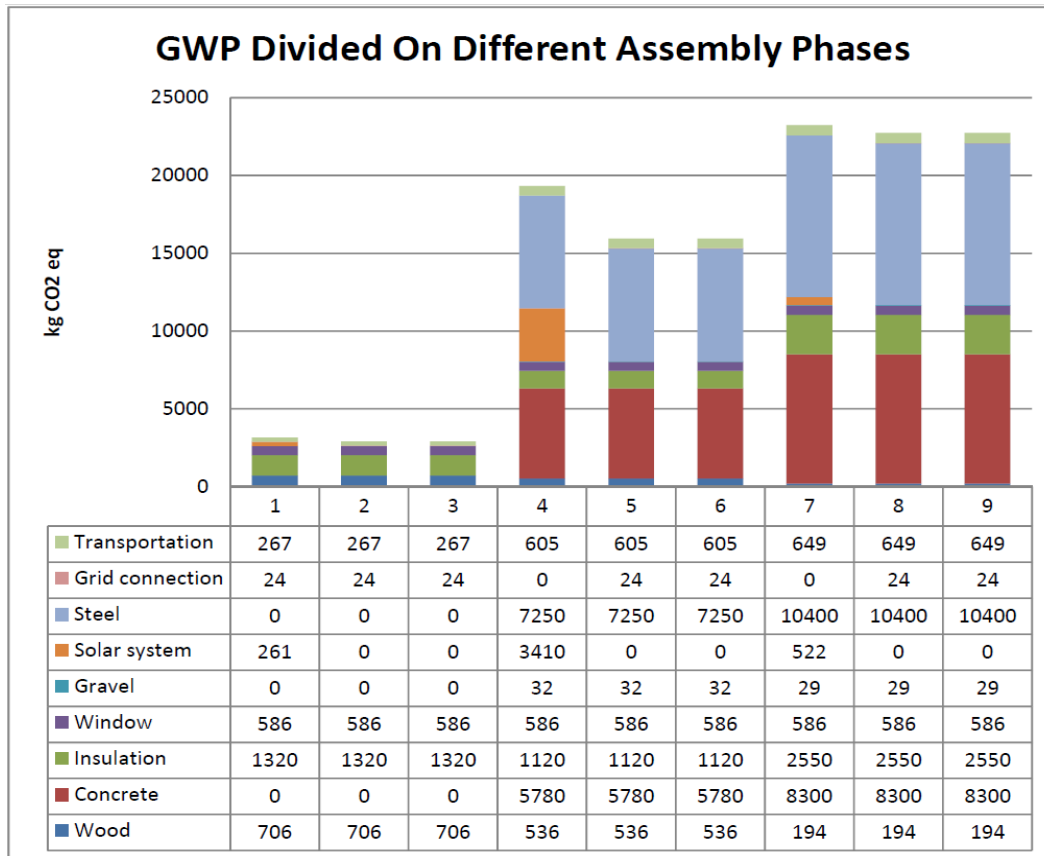
Denne analysen foregår også over hele bygningens levetid. Kostnader som er felles for alle tre bygningstypene slik som tomtepris, arkitektkostnader og byråkratiske gebyr tas ikke med i vurderingen.

Resultater og videre vurderinger

Byggeprosessen

Miljøpåvirkningen fra byggeprosessen bedømmes ut fra klimapåvirkningen i CO₂ ekvivalenter. Kombinasjonen med laftet bygning på påler kommer desidert best ut med nesten bare en femtedel så stort utslipp som løsningen med laftet bygning og grunnmur. Løsningen med bindingsverk, grunnmur og etasjeskiller i betong kommer desidert dårligst ut. Det er behovet for mye betong og

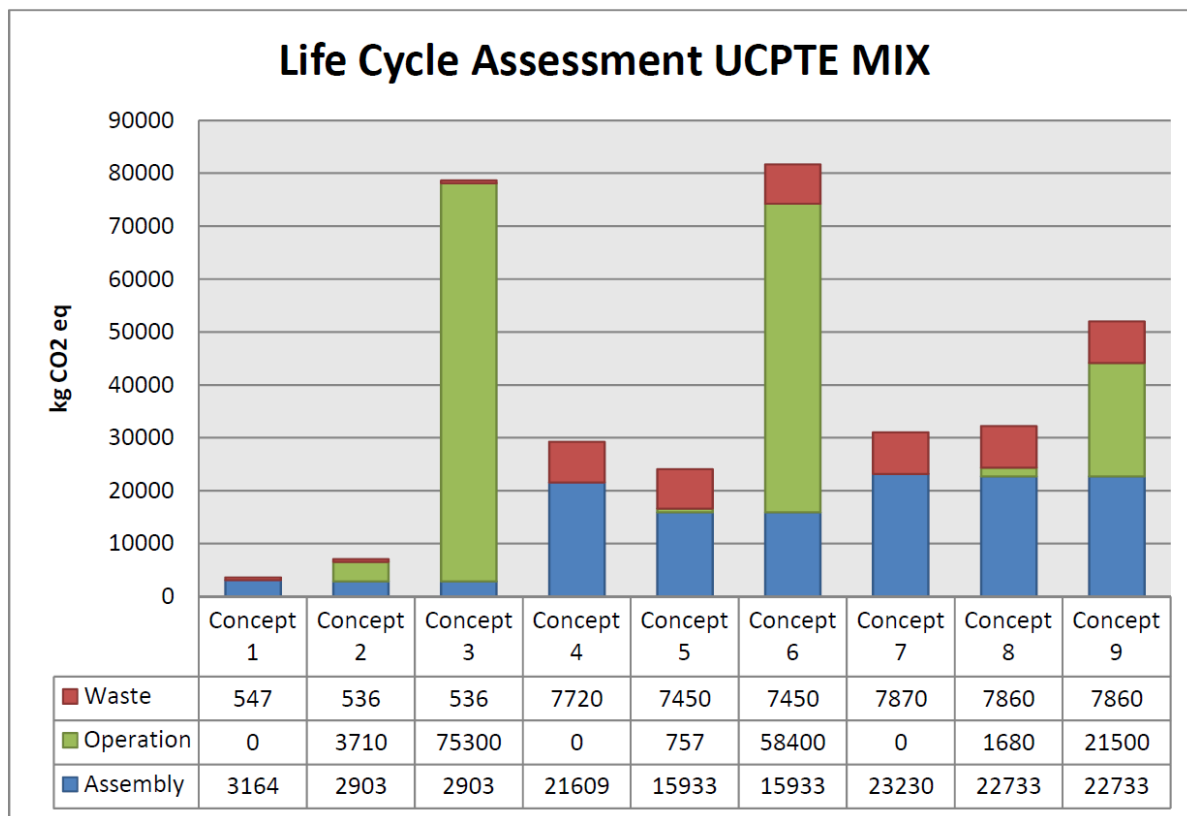
armeringsjern som i hovedsak fører til de største utslippene. CO₂ utslippene forbundet med byggeprosessen er vist i Figur 6.



Figur 6: CO₂ utslipp forbundet med byggefasen (Bratteberg, 2010)

Livssyklusanalyse LCA

Dersom det simuleres med ubebodde fritidsboliger blir den antatte totale miljøbelastningen i CO₂ ekvivalenter som vist i Figur 7.



Figur 7: Livssyklusanalyse av ubebodde fritidsboliger(Bratteberg, 2010).

Som Figur 7 viser kommer konseptene med utelukkende frostsikring av en indre sone klart best ut. For disse konseptene er energibehovet så lavt at det er CO₂ utslippene fra byggeprosessen som dominerer. Dermed kommer kombinasjon 2 bedre ut enn kombinasjon 5 selv om energibehovet for konsept 2 er 4,9 ganger så høyt. Det understrekes at resultatet over gjelder for ubebodde fritidsboliger.

Bratteberg studerer også en situasjon hvor fritidsboligen er i bruk annenhver helg gjennom vinteren. Det antas at oppvarmingen i bebodde perioder ikke innebærer utslipp av CO₂. Dette kan for eksempel oppnås gjennom oppvarming med ved eller pellets i stedet for strøm. Fordi det ikke er behov for strøm til frostsikring i bebodde perioder eller mens hytta fortsatt er varm etter bebodde perioder, fører bruken til reduserte utslipp av CO₂. Ved hjelp av generelle verdier for tidskonstanten τ anslår Bratteberg hvor lenge de ulike bygningstypene holdes frostfrie ved hjelp

av restvarme etter bruk. Antatte tidskonstanter, resulterende frostfri tidsperiode etter bruk og redusert antall døgn med behov for frostsikring er vist i Tabell 10.

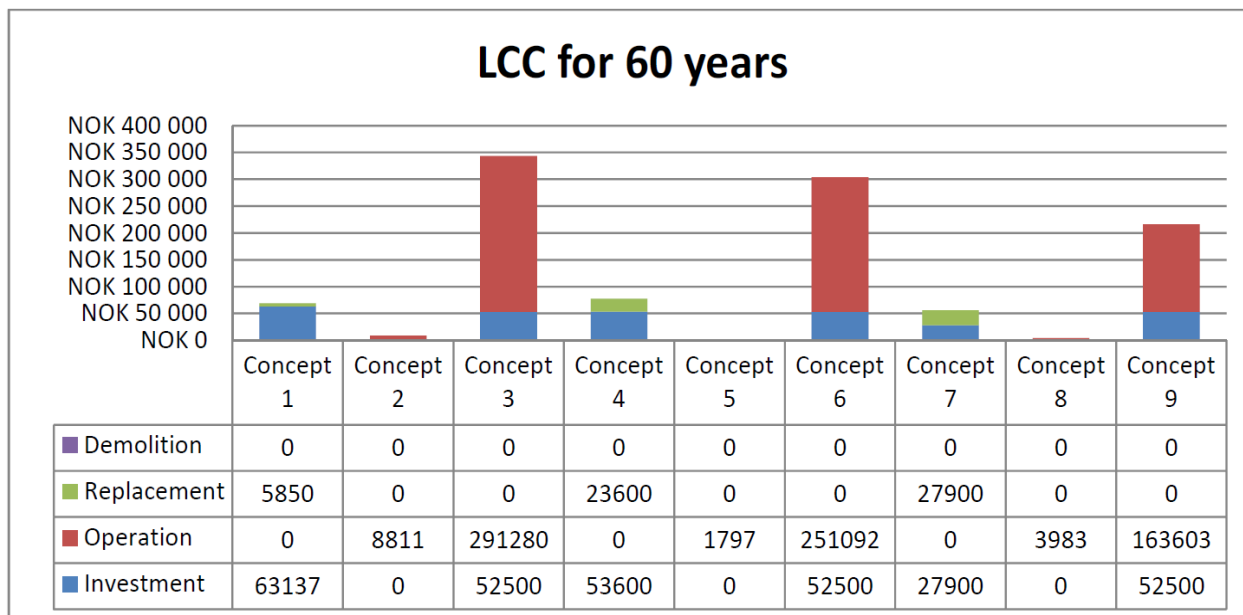
	Laftet bygg på påler. Kombinasjon 1-3.	Laftet bygg med grunnmur. Kombinasjon 4-6.	Bygg i bindingsverk med grunnmur. Kombinasjon 7-9.
Tidskonstant τ [h]	15	50	100
Frostfri periode etter bruk [h]	16,47	54,9	109,8
Redusert antall døgn med behov for frostsikring [døgn]	24	36	54

Tabell 10: Antatt tidskonstant og redusert tidsperiode med behov for frostsikring.

Bratteberg antar at det i snitt er 115 døgn med behov for frostsikring av fritidsboligen. Dermed antas det at for en tung bygning kan CO₂ utslippene forbundet med energiforbruk til frostsikring sannsynligvis reduseres med rundt 47 %. Tilsvarende kan det for en lett bygning reduseres med ca 21 %.

Livssyklusanalyse LCCA

Kostnadene for å bygge, frostsikre og rive en fritidsbolig er vist i Figur 8. Kostnader som er felles for alle bygningstypene er ikke tatt med i vurderingen. Dette forklarer hvorfor investeringskostnaden ikke er mer enn mellom 0 og 63 137 kroner.



Figur 8: Life Cycle Cost Analysis for fritidsboligkonsepter over en 60 års periode(Bratteberg, 2010).

Som figuren viser er det konseptene med frostsikring ved hjelp av energi fra strømmettet kombinert med kun frostsikring av indre sone som er rimeligst over en 60 års periode. Det er usikkert hvordan materialkostnadene fordeler seg fordi Bratteberg ikke oppgir antatte materialkostnader noe sted.

Ekte energiplusshus

Bratteberg kritiserer den konvensjonelle bruken av begreper som Zero Emission Building og energiplusshus fordi disse ikke tar med CO₂ utslipp i forbindelse med byggefasen. Deretter undersøkes muligheten for å gjøre fritidsboligen om til et ”ekte energiplusshus”. Konsept 1 blir valgt, og det undersøkes hvor mange kvadratmeter solceller som gir hvor lang ”tilbakebetalingstid” for bygningens totale CO₂ utslipp. Tanken er antagelig at elektrisk energi levert fra fritidsboligens solceller fortrenger annen elektrisitetsproduksjon og dermed reduserer de totale CO₂ utslippene. Når reduserte utslipp som følge av levert energi fra solcellene tilsvarer utslippene forbundet med byggefasen, er ”pay back” perioden over og hytta er en ekte nullutslippsbygning. Energiforbruket til fritidsboligen vurderes kun som behovet for frostsikring og CO₂ utslippene per kWh antas å følge UCPTTE norm. Deler av resultatet er vist i Tabell 11.

Antall PV panel	Størrelse [m ²]	Overskuddsproduksjon [kWh/år]	Reduksjon av CO ₂ utslipp [kg/år]	Tilbakebetalingstid [år]
1	1	12	7	526
5	5	410	243	15
10	10	910	539	7

Tabell 11: "Tilbakebetalingstid" for CO₂ utslipp i forbindelse med byggefasen

Bratteberg viser også at solceller ikke blir lønnsomme før strømprisen kommer over 4 NOK/kWh, og det forutsetter at anlegget fungerer feilfritt sammenhengende i 60 år.

Undertegnede vurdering av Bratteberg (Bratteberg, 2010) sitt arbeid:

Metoden

Undertegnede anser bruken av LCA og LCCA som en oversiktlig og grei måte å vurdere de ulike konseptene på. Bratteberg har ikke vurdert løsningen fra Amble (Amble, 2008) sitt arbeid, med frostsikring av indre sone ved hjelp av varmetilskudd fra grunnen, men denne løsningen antas å ligge veldig nær resultatet for konsept 4. Dermed anser undertegnede at Bratteberg vurderer de fleste aktuelle og tilgjengelige løsningene fra tidligere arbeider.

Simuleringen

LCA og LCCA

Undertegnede har ingen forutsetning for å vurdere kvaliteten på hverken dataprogrammet (SimaPro) eller metoden (Eco-indicator 99) som er benyttet og dette vil derfor ikke bli omtalt.

UCPTE

Når det gjelder vurderingen av CO₂ utslipp per kWh elektrisk energi mener undertegnede at å benytte noe som gir mindre utslipp enn UCPTE miks er farlig nær ren ønsketenkning. Enkelte år er summen av importert og eksportert strøm rundt 18 % av totalt forbruk. I perioder er Norge til og med avhengig av importert strøm fra Europa. Det blir derfor, så vidt undertegnede kan vurdere, mildt sagt kunstig å se på elektrisitetsforbruket i Norge som isolert fra omverdenen.

Energibehov

Energibehovet for frostsikring av de ulike bygningskonseptene er hentet fra simuleringer gjort av Børset (Børset, 2009) og Bratteberg selv. Så vidt undertegnede kan vurdere knytter det seg en del usikkerhet til disse simuleringene som igjen overføres på LCA vurderingen. Mer om dette kan leses i kapittel 3.3.1 og 3.3.3. Usikkerheten vurderes ikke som så stor at konklusjonen i Bratteberg sitt arbeid blir feil. Det er snarere snakk om en justering.

Solfangere

Så vidt undertegnede kan vurdere er det valgt noe uriktige verdier for materialforbruk til konseptet med frostsikring av indre sone med solfangere. Børset (Børset, 2009) finner i sin mastergrad at nødvendig solfangerareal og volum på akkumulatortanken er henholdsvis 14 m² og 4 m³ mens Bratteberg antar 9,6 m² og 2m³.

Ekte energiplusshus

Ved utregning av "tilbakebetalingstiden" for CO₂ utslipp i forbindelse med byggefasen benytter Bratteberg UCPTTE verdier for CO₂ utslipp per kWh. Hadde verdier som tilsvarende CO₂ utslippene fra norsk elproduksjon blitt benyttet ville det neppe vært praktisk mulig å oppnå ett nullregnskap noensinne. Å benytte UCPTTE verdier ved beregning "energiplusshus" og argumentere for å bruke verdier for norsk elproduksjon ved vurdering av bygningsmaterialenes betydning er lite konsistent.

Dersom elektrisitetsforbruket i bebodde perioder også tas med i vurderingen, noe som er veldig relevant for et "ekte energiplusshus" siden de "falske" energiplusshusene tar høyde for dette, blir tilbakebetalingstiden ganske annerledes enn det Bratteberg skisserer. Dersom det antas et årlig elektrisitetsforbruk i forbindelse med bebodde perioder på 645 kWh (se kapittel 3.3.1) vil totalt elforbruk, inkludert energibehov til frostsikring, bli 733 kWh/år for konsept 1. En ny vurdering av tilbakebetalingstiden, som inkluderer forbruk i bebodde perioder er vist i Tabell 12. Dette gir bygningsmaterialene en langt mindre betydningsfull rolle og krever store investeringer for å oppnå netto leveranse av strøm til elnettet.

Antall PV panel	Størrelse [m ²]	Overskuddsproduksjon [kWh/år]	Reduksjon av CO ₂ utslipp [kg/år]	Tilbakebetalingstid [år]
8	8	64	38	98
9	9	164	97	38
10	10	263	156	24

Tabell 12: Ekte energiplusshusregnskap som inkluderer bebodde perioder.

Relevans

Bratteberg sitt arbeid illustrerer på en god måte hvordan forbruket av elektrisitet relativt fort blir den dominerende miljøfaktoren sett over bygningens levetid. Dette kan illustreres gjennom et raskt overslag: Gjennomsnittlig strømforbruk i fritidsboliger ligger i dag på rundt 5000 kWh/år (se kapittel 2,3). Med UCPTTE verdier innebærer dette et utslipp på 185 tonn CO₂ over en 60 års periode. Til sammenligning er største forskjellen i CO₂ utslipp, forbundet med byggefasen, mellom konsept 1 og konsept 7 på 27,4 tonn CO₂. Dette illustrerer at det store potensialet ligger i å redusere netto forbruk av strøm. Det er verdt å merke seg at Bratteberg kommer til en annen konklusjon.

I arbeidet blir det kun fokusert på energibehovet til frostsikring. Dette er relevant som parameterstudie i dette arbeidet under visse forutsetninger. Den viktigste av disse forutsetningene er at CO₂ utslippene som følger av energiforbruket i bebodde perioder er likt for alle bygningstypene og uavhengig av frostsikringstiltak. Det er ikke gjort noen vurdering om dette stemmer eller ikke.

Dersom netto strømforbruk, inkludert forbruket i bebodde perioder, reduseres vesentlig vil neste naturlige steg være å redusere CO₂ utslippene gjennom mer bevisst valg av bygningsmaterialer. Dette kan illustreres med en situasjon hvor fritidsboligen har

- CO₂ fri frostsikring,
- oppvarming av bygning og tappevann med bioenergi i bebodde perioder,
- beboelse 46 dager i året (se kapittel 2.6)
- verdier for energiforbruk til lys og utstyr fra NS 3031, korrigert for begrenset brukstid,

Anslått strømforbruk i en slik situasjon blir 645 kWh/år (se kapittel 3.3.1 for utdypning). Over en 60 års periode gir dette et utslipp på totalt 23 900 kg CO₂. Når energiforbruket nærmer seg dette nivået vil fokus på bygningsmaterialer kunne gi en vesentlig relativ reduksjon i utslippene av karbondioksid. Dersom reduksjon av utslipp i byggefasen skal være relevant, må det ikke føre til vesentlige økninger av energibehovet slik som i konsept 3.

3.3.5 Design av ventilasjonsløsning for frostsikker og CO₂-fri fritidsbolig (Bøckman, 2010)

Visjon

Målet med undertegnede prosjektoppgave var å bestemme hvilken ventilasjonsløsning som er best egnet for en fritidsbolig med en indre frostfri sone. Løsningene ble vurdert etter kriterier som driftssikkerhet, bruksvennlighet, lønnsomhet, energibehov og varmetap.

Simuleringer og vurderinger

I undertegnede prosjektoppgave ble det i større grad enn tidligere benyttet overslagsberegninger enn simuleringer for å bedømme ulike løsninger.

Modell

De fysiske målene i modellen er lik modellen benyttet i Børset (Børset, 2009) og Amble (Amble, 2008) sitt arbeid. Med et unntak er bygningskonstruksjonene også bygd opp på samme måte. Veggene som skiller indre sone fra ytre sone er i undertegnede modell simulert med betongen vendt mot indre sone, i motsetning til Børset og Amble som vender den mot ytre sone.

Infiltrasjon

For å gi en bedre simulering av infiltrasjonen enn Børset (Børset, 2009), benytter undertegnede i tillegg to ventilasjonsåpninger mellom kjelleren og 1ste etasje. Infiltrasjonssprekkene i ytterveggene er også plassert litt annerledes, $\frac{1}{4}$ og $\frac{3}{4}$ vei opp fra bakken mot taket. Hensikten var å simulere både infiltrasjon som følge av vind og som følge av oppdriftskrefter. Ellers er infiltrasjonen simulert med samme dimensjoner og system som Børset.

For å vurdere behovet for et ekspansjonskammer, (se kapittel 3,2), ble det gjennomført flere simuleringer med en liten åpning inn til indre sone. Dette ble gjennomført både med en åpning (nøkkelhull) på 25 ganger 25 mm og med en åpning (glippe i dør) som var 1mm bred og 2m høy. Det ble aldri simulert med ekspansjonskammer.

Klima

I likhet med alle tidligere simuleringer ble det benyttet klimadata for Østersund hentet i fra U.S. Department of Energy (U.S., 2011).

Klimateknisk

Krav fra TEK 10 (TEK10, 2010)

I bebodde perioder vil en grunnventilasjon på 216 m³/h med mulighet for å styre avtrekket slik at minst 108 m³/h trekkes av over komfyr eller fra bad tilfredsstillende kravene i TEK 10.

I ubebodde perioder er situasjonen litt mer uklar. Undertegnede veileder Per Olaf Tjelflaat (Tjelflaat, 2010) anbefalte å anta at 0,1 luftskifter i timen var tilstrekkelig for ubebodde fritidsboliger og dette ble derfor benyttet.

Ventilasjonsystemer

Ulike ventilasjonssystemer som ble vurdert opp mot hverandre var

- Naturlig ventilasjon
- Hybrid ventilasjon
- Mekanisk avtrekksventilasjon
- Vindvifte
- Balansert ventilasjon
- Behovsstyrt ventilasjon

Luftsolfangere

Målet med simuleringen var å studere muligheten for å levere ventilasjonsluft til fritidsboligen uten varmetap. Dette ble gjort gjennom å undersøke hvor mye luft med temperatur over 5°C, en avansert luftsolfanger kan levere i løpet av en vinter.

ESP-r ble benyttet for å finne verdiene for solstråleenergi på en sørvendt vertikal flate og utendørs lufttemperatur. Solfangerarealet ble satt til 2 m², og virkningsgraden antatt å være 65 %. Det ble antatt at massestrømmen gjennom luftsolfangeren følger ligning 3.1. Dette er en omfordeling av ASHRAES definisjon på virkningsgraden for luftsolfangere (ASHRAE, 93-2003). Verdiene for solstråleenergien og utelufttemperaturen ble lagt inn i Excel, T₂ ble satt til 5°C og massestrømmen regnet ut. Senere ble alle verdier som innebærer mindre luftstrøm enn 3,75m³/h utelatt.

$$\dot{m} = \frac{I \times A}{C_p (T_1 \times T_2)} \eta \quad (3.1)$$

= massestrøm [kg/s]

C_p = Spesifikk varmekapasitet for luft [kJ/kgK]

T₁ = temperatur på uteluft som suges inn i luftsolfangeren [K]

T₂ = temperatur på luft som pumpes inn i bygningen [K]

I = strålingsenergi fra sol [kW/m²]

A = solfangerens areal [m²]

Luftavfuktere

To ulike luftavfuktere ble sammenlignet med tanke på pris, energibehov, varmeleveranse til rommet og ytelse. Den ene typen er en kondensavfukter mens den andre typen er en rotasjonsavfukter.

Ytelse for rotasjonsavfukteren var kun kjent som ”punktverdier”. Derfor ble vurderingen av energibehov, varmeleveranse og ytelse gjort gjennom periodisering av avfukterprosessen og håndregning. Som en grov tilnærming ble det da antatt at ytelsen i den enkelte periode var konstant.

Ytelsen for kondensavfukteren var kun kjent i et punkt. Fordi kondensavfukteren både er veldig avhengig av relativ fuktighet og leverer mye varme til rommet viste det seg veldig vanskelig å vurdere avfukterforløpet gjennom regning. Det ble derfor antatt en pessimistisk 0,09 kg vann per time.

Resultater og egne vurderinger

Infiltrasjon

Det ble gjennomført en sammenligning mellom undertegnede infiltrasjonssystem og Børsets infiltrasjonssystem. Dette viste gjennomsnittlig 57 % høyere luftmengde for undertegnede system. Det ble også vist at forskjellen mellom de to systemene er størst ved kaldt og stille vær noe som underbygger teorien om at Børsets simulering ikke tok hensyn til oppdriftskrefter inne i bygningen.

Det knytter seg noe usikkerhet til simuleringene av varmetapet som følger av infiltrasjon til indre sone gjennom små åpninger (nøkkelhull). Resultatet tyder på det kan ha oppstått uheldige svingninger i simuleringen. I ESP-r håndboka (Hand, 2010) advares det spesielt mot at dette kan være et problem ved simulering av infiltrasjon. Simuleringsresultatene og overslagsberegningene viser ingen eller veldig små varmetap fra indre sone som følge av en liten åpning mot ytre sone.

Ventilasjon

Den løsningen som viste seg å gi lavest CO₂ utslipp, akseptable investeringskostnader og tilfredsstillende inneklima var løsningen med hybrid ventilasjon. Med denne løsningen sikres nødvendige ventilasjonsmengder gjennom naturlig ventilasjon det meste av tiden. To vifter, en i forbindelse med badet og en i forbindelse med komfyren, sikrer et minstenivå av ventilasjonsmengden samt forsert ventilasjon når dette er nødvendig. I perioder hvor fritidsboligen står ubenyttet sikres nødvendig luftskifte utelukkende gjennom naturlig ventilasjon.

Luftsofanger

Resultatene viser at en luftsofanger på 2 m² trolig evner å levere i gjennomsnitt 88m³ med 5°C varm luft per døgn. Dette er for lite for å bidra i ytre sone, men kan være et godt alternativ for å ventilere indre sone uten varmetap. Ved riktig dimensjonering av solfangeren er det mulig den også kan levere et netto varmebidrag til indre sone.

Luftavfukter

Luftavfuktere kan bidra til hurtigere senkning av luftfuktigheten men kan ikke erstatte ventilasjon. Det er to grunner til dette. For det første ble det ikke funnet noen god avfukterløsning. En kondensavfukter klarer ikke å nå tilstrekkelig lav relativ fuktighet (40 % (Dalaker, 1994)) mens en rotoravfukter er uforholdsmessig dyr (over 10 000 kroner). For det andre kan ikke en avfukter fjerne avdunstning av VOC og andre kjemikalier fra møbler og bygningsmaterialer noe som igjen kan gi en sjenerende lukt.

Undertegnedes vurdering av egen prosjektoppgave (Bøckman, 2010)

Luftavfuktere

Luftavfukteres driftsikkerhet er en faktor som ikke vurderes i prosjektoppgaven. Dette er en stor ulempe ved denne løsningen. Ved tidlig driftstans i et rom hvor avfuktingen i stor grad baserer seg på en luftavfukter, og ventilasjonen ligger på et minimum, kan luftfuktigheten bli liggende på et kritisk høyt nivå over lengre tid. Dette kan føre til muggvekst i inventar og bygningskropp og påfølgende dårlig inneklime.

Relevans av simuleringen

Det gjennomføres ingen simuleringer som legger grunnlag for direkte sammenligning med tidligere arbeider. Dette hadde vært enkelt å oppnå og hadde gitt en god pekepinn på i hvor stor grad økt infiltrasjon påvirker det totale energibehovet i indre sone.

Det ble ikke gjennomført noen kontrollsimuleringer for å teste modellen. Det burde for eksempel vært gjennomført en simulering uten infiltrasjon slik Bratteberg (Bratteberg, 2009) gjør det. Slike parameterstudier/tester kan avsløre feil ved simuleringen, og burde derfor benyttes for å kvalitetssikre resultatet.

Undertegnede benyttet ikke økt refleksjon fra snøen i sin simulering. Dette gjør vurderingen av luftsolfangeren unødvendig konservativ.

Gjennom hele prosjektoppgaven foretas det relativt konservative anslag samtidig som resultatene vedrørende ventilasjonssystemet stort sett er tydelige og lite kontroversielle eller overraskende. Derfor antas det at det valgte ventilasjonssystemet med stor sannsynlighet er det mest egnede. Det knytter seg fortsatt usikkerhet ved nytteverdien til luftsolfangere og luftavfuktere.

3.4 Totalvurdering

Det er gjort mye bra arbeid så langt og mange forslag til løsning er lagt frem og vurdert. Undertegnede mener at de viktigste resultatene som er oppnådd er:

- Klarlagt den store betydningen av en indre, ekstra isolert og frostfri sone(Børset, 2009)
- Vist muligheten for utnyttelse av energitilførsel fra sola:
 - o Passiv soloppvarming (Amble, 2008)(Bratteberg, 2009)
 - o Solfangere og luftsolfangere (Børset, 2009)(Bøckman, 2010)
 - o Solcellepanel (Børset, 2009)(Bratteberg, 2009)
- Potensialet for frostsikring gjennom grunnkobling er utforsket (Amble, 2008)
- Bratteberg viser hvor viktig det er med parameterstudier som kontroll.(Bratteberg, 2009)
- Bratteberg sin mastergrad (Bratteberg, 2010) illustrerer viktigheten av først og fremst å redusere strømforbruket. Videre viser studien at for å oppnå fritidsboliger som nullutslippsbygg kan en LCA vurdering være nyttig for å oppnå de siste utslippsreduksjonene.
- Løsning for ventilasjonen er vurdert (Bøckman, 2010)

Fokuset så langt har vært relativt ensidig på problemstillingen rundt frostsikring i ubebodde perioder. Dette er et viktig tema men på ingen måte nok for å nå målet om vesentlig reduksjon av klimagassutslipp. Den største andelen av strømforbruket foregår trolig i bebodde perioder og dette problemet må også adresseres.

Det har ikke vært særlig stort fokus på driftsikkerhet i tidligere arbeider. Dette er synd fordi en bygning gjerne varer i 50 til 80 år. Med mindre løsningen for frostsikring har stor driftsikkerhet er sjansen for at en feil oppstår i løpet av en så lang periode stor. Frostsprengning og påfølgende vannlekkasje kan føre til enorme utgifter og det er verdt å gjøre store anstrengelser for å sikre at dette ikke skjer.

Slik undertegnede ser det er det to store mangler ved samtlige tidligere arbeider. De er ikke realistiske nok til å kunne gi et sikkert grunnlag for dimensjonering og de er ikke like nok seg i mellom til å kunne gi gode nok sammenligninger.

En mer realistisk simulering må innbefatte:

- Infiltrasjon og nødvendig ventilasjon.
- Korrekte/realistiske U-verdier.
- Solavskjerming.
- Dører og flere vinduer.
- Bedre simulering av grunnen.
- Oppvarming til 5 °C.

For å gjennomføre parameterstudier er det ikke nødvendig med veldig realistiske simuleringer men likevel burde det vært gjort større anstrengelser på dette området tidligere. Dersom første simulering hadde tilfredstilt kravet om en realistisk simulering, burde de påfølgende studiene ha brukt samme modell i så stor grad som mulig slik at resultatene kunne sammenlignes direkte. Spesielt undertegnede simuleringer og Bratteberg sitt arbeid gir liten mulighet for relevante sammenligninger med tidligere arbeider.

3.5 Veien videre

Modell

Modellen burde bygges om slik at konstruksjonsløsningene både får realistiske U-verdier og tilsvarer det som er realistisk og normal byggeskikk i dag. En del tidligere konstruksjonsløsninger har vist seg å komme dårlig ut i en LCA-vurdering, og disse burde forbedres.

Bebodde perioder

I samtaler med veileder (Tjelflaat, 2010) har det kommet fram tanker rundt oppvarmingsløsninger i bebodde perioder. Dette bør undersøkes nærmere for å kartlegge alternativer, svakheter og styrker. Slik undertegnede ser det vil hovedutfordringen ligge innenfor energitilførsel og i problematikken rundt hvor termisk tung bygningen burde være. En termisk tung bygning vil utnytte solenergien bedre enn en lett bygning, men ved besøk vil den tunge bygningen kreve betydelig mer energi for å varmes opp. Derfor bør det undersøkes hvordan en termisk tung bygning fungerer ved besøk. Videre burde muligheter for å redusere forbruket til mer elspesifikke behov undersøkes.

Termisk tung bygning

I sin mastergrad viser Bratteberg (Bratteberg, 2010) at energiforbruket til frostsikring er vesentlig lavere i termisk tunge bygninger, men at mye sement og armeringsjern fører til store utslipp av klimagasser i forbindelse med byggeprosessen. Derfor bør det studeres hvordan det er mulig å oppnå en termisk tung bygning uten store CO₂ utslipp forbundet med byggeprosessen.

Grunnkobling

På grunn av problemstillingen rundt driftsikkerhet anser undertegnede løsningen med frostsikring gjennom varmetilskudd fra bakken som veldig interessant. Dette er også en teknisk enkel og økonomisk rimelig løsning som lett kan inkorporeres i nesten enhver bygningsfasong. Ulempen er problemer med kaldt gulv ved bruk om vinteren. Det som mangler på arbeidet med denne løsningen er mer realistiske simuleringer og en løsning for å sikre komforten mot det kalde gulvet i bebodde perioder.

Modellen burde simuleres både med infiltrasjon og solavskjerming samtidig som grunnforholdene må simuleres på en langt bedre måte. Det burde også gjennomføres en studie som viser om en bygningsmodell med en mer optimalisert indre sone klarer å opprettholde frostfrie betingelser også helt uten soltilskudd. Dette åpner eventuelt muligheten for å benytte metoden i områder med mindre sol. Å dimensjonere modellen uten soltilskudd vil også gi vesentlig økt driftsikkerhet.

Dersom ingenting gjøres vil gulvtemperaturen i indre sone være langt fra akseptabel. En aktuell løsning kan være å periodisk isolere gulvet ved hjelp av tepper eller lignende. I og med at indre sone skal inneholde bad, vaskerom og eventuelt kjøkken burde det være dimensjonert for å tåle stor fuktpåkjenning. Dette er noe som er vanskelig å kombinere med store tunge tepper. Det er også fare for at fuktig luft ender opp med å kondensere på det kalde gulvet og dermed skaper store vanddammer. En alternativ løsning kan være å varme opp øverste delen av gulvet i perioder hvor bygningen er i bruk. Dette innebærer et høyt energiforbruk, men varmen vil i stor grad komme indre sone til gode etter hvert. Oppvarmingen kan skje ved hjelp av vedovn eller pelletskamin med vannkappe, kombinert med vannbåren varme i gulvet. En simulering eller gode overslagsberegninger vil kunne gi et godt svar på energi og effektbehovet for en slik løsning.

Fukt

I undertegnedes prosjektoppgave (Bøckman, 2010) vurderes ulike ventilasjonsmetoder opp mot hverandre. Det konkluderes med at en kombinasjon av hybrid avtrekksventilasjon i bebodde perioder og naturlig ventilasjon i ubebodde perioder er den mest egnede løsningen. Det åpne spørsmålet er hvordan kondensproblemet ved overgangen sommer til vinter eller etter bruk om vinteren arter seg med denne løsningen. Dette bør det gjennomføres en detaljert simulering for å besvare.

Først bør det vurderes om normal ventilasjon alene klarer å fjerne nok fuktighet og om enkelte endringer kan legge til rette for dette. Aktuelle parameterendringer kan være:

- Bygningens termiske masse. Mye termisk masse gir tregere avkjøling og mer tid for ventilasjonsanlegget til å fjerne fuktig luft.
- Bevisst styring av ventilasjonen med hensyn på fuktnivå i bygget og uttørkingspotensialet til ventilasjonslufta.

- Sørg for økt innvendig temperatur på bygningskomponenter som er utsatt for kondens. Dette gjelder spesielt for vinduer, men kan også gjelde ventilasjonskanaler eller rørgjennomganger og gulvet i indre sone.

For å ventilere indre sone med minimalt varmetap anbefales det å undersøke muligheten for å:

- Inkorporere en luftsolfanger for ventilasjon av indre sone. (se kapittel 3.3.5)
- Benytte en duct for å ventilere indre sone
- Periodisere lufttilførsel fra ytre sone til tidspunkt på dagen hvor sola har varmet denne sonen opp.

Litt om kulvert/dukt

I samtaler våren 2011 foreslår Tjelflaat (Tjelflaat, 2011) å benytte en kulvert for å sikre CO₂ fri oppvarming av ventilasjonsluft til indre sone. Dette er en spennende løsning som burde studeres nærmere. Gjennom å trekke ventilasjonslufta inn gjennom et langt nedgravd rør vil varmetilskudd fra bakken varme opp lufta mens den passerer. Løsningen er mest aktuell for ventilering i ubebodde perioder når ventilasjonsbehovet er lite.

En virkelig stor luftsolfanger

I samtaler mellom undertegnede og Tjelflaat (Tjelflaat, 2011) kom det frem at som følge av det store vinduet mot sør kan hele bygningen sees på som en stor luftsolfanger. Dersom ventilasjonen gjennom bygningen bevisst styres til perioder med mye sol, vil dette trolig gi en markant uttørking av bygget.

Den periodevis høye temperaturen som følger av det store vinduet mot sør kan også utnyttes til å ventilere indre sone med mindre varmetap. Dette kan gjøres gjennom å ventilere indre sone med luft fra ytre sone i de periodene på dagen hvor ytre sone er varmest.

Ulempen med begge disse løsningene fremfor eksterne luftsolfangere er at de vil bidra til økt oppvarmingsbehov av indre sone.

4 Tiltak

4.1 Innledende

Hensikten med kapittel 2 og 3 har vært å samle den viktigste informasjonen rundt fritidsboliger i Norge, energisituasjonen og tidligere arbeid på området for på den måten å gi en oversikt. Mot slutten av kapittel 3, det vil si kapittel 3.4 og 3.5, gis det en totalvurdering av tidligere arbeider og veien videre stakes ut. Det er denne vurderingen som legger grunnlaget for resten av arbeidet.

Som en følge av begrenset tid og ressurser er det nødvendig å begrense det videre arbeidet i denne omgang. Derfor vil det bli fokusert på følgende:

- Mer realistiske simuleringer med en modell som er mer optimalisert med hensyn til resultater fra tidligere arbeider.
- Løsninger for å oppnå termisk tyngre bygg uten utslipp av store mengder CO₂ i byggefasen.
- Fukt og ventilasjon i indre og ytre sone.

Problematikken rundt løsningen med frostsikring gjennom grunnkobling vil ikke bli studert da simulering av grunnforholdene ansees som for krevende for den begrensede tiden som er til rådighet. Løsninger for oppvarming og reduksjon av el-spesifikke behov i bebodde perioder vil heller ikke bli omtalt. Problematikken rundt elektrisitetsforbruk og oppvarming i bebodde perioder vil heller ikke bli utforsket. Det vil være et visst fokus på driftsikkerhet, men det vil ikke bli gjennomført noen omfattende vurdering av dette.

4.2 Ny bygningsmodell

Løsningene som presenteres her er ment som forslag for å gjøre modellen mer lik virkelige bygg og optimalisere ytelsene innenfor rammer for vanlig byggeskikk. Samtidig skal det tas hensyn til resultatene fra tidligere arbeid.

4.2.1 Isolering

Varmetap indre sone

Indre sone er ment å holdes frostfri gjennom hele vinteren. For å redusere energibehovet til oppvarming er det derfor viktig med stor varmemotstand mellom indre og ytre sone. Tidligere arbeider har prioritert dette, og vist at det er ett effektivt tiltak.

Varmetap fra ytre sone

Simuleringene til Børset (Børset, 2009) og Bratteberg (Bratteberg, 2010) viser at det er en relativt liten forskjell på energiforbruket til frostsikring av indre sone som følge av økt U-verdi i veggene i ytre sone. Det antas at dette også gjelder for tak og gulv og det vil derfor ikke bli simulert med annet enn normale U-verdier for disse konstruksjonene.

Isolasjonsmateriale

For å oppnå best mulig U-verdi med minst mulig CO₂ utslipp gjennomføres en liten studie av ulike isolasjonsmaterialer. Verdiene for klimagassutslipp per vektenhet er hentet fra en studie av Statsbygg (Selvig, et al., 2007). Varmekonduktiviteten og densiteten er hentet fra simuleringsprogrammet ESP-r¹. For å sammenligne klimagassutslippene som følger de ulike isolasjonsmaterialene benyttes en vegg med verdier:

- Areal: 1 m²
- Homogen utførelse, består bare av isolasjonsmaterialet
- U – verdi 1 w/m²K
- Nødvendig tykkelse, d, blir²: $d = \frac{\lambda}{U}$ (4.2.1)

- Klimagassutslipp blir: $m = d \times \rho \times \eta$ (4.2.2)

m = Klimagassutslipp [kg CO₂]

d = Veggens tykkelse [m]

λ = Isolasjonsmaterialets varmekonduktivitet [W/mK]

ρ = Densiteten [kg/m³]

η = Klimagassutslipp i kg CO₂ per kg materialer [kg/kg]

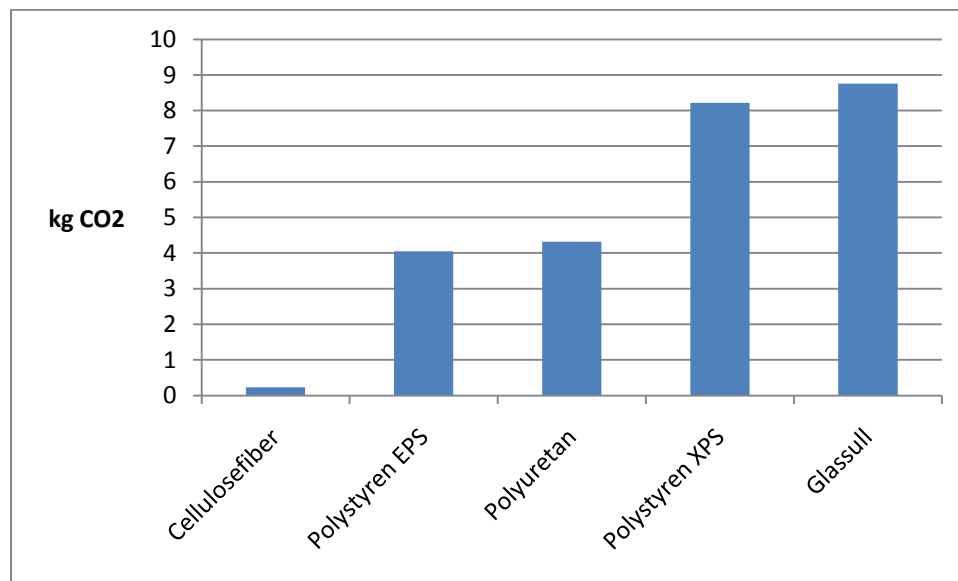
¹ Selv om materialegenskapene i ESP-r ikke alltid reflekterer nøyaktig det som er vanlig i norsk byggebransje er det valgt å hente verdiene for densitet og konduktivitet derifra. Fordi disse egenskapene ofte påvirker hverandre antas det at det er et viktigere poeng å hente dem fra samme kilde enn at de hver for seg er helt like det som vanligvis brukes. Bedrifter som Glava og Rockwool oppgir varmekonduktiviteten men ikke densiteten og egner seg derfor ikke som kilde for denne sammenligningen.

² $U = \frac{1}{R} = \frac{\lambda}{d}$ $U = 1$

Resultatet er vist i Tabell 13, og illustrert i Figur 9.

Material	Densitet ρ [kg/m ³]	Varmekonduktivitet λ [W/mK]	η [kg CO ₂ /kg materialer]	m [kg CO ₂]
Polystyren EPS	25	0.03	5.41	4.05
Polystyren XPS	38	0.04	5.41	8.22
Glassull	250	0.04	0.876	8.76
Cellulosefiber	35	0.04	0.166	0.232
Polyuretan	30	0.03	4.80	4.32

Tabell 13: Klimagassutslipp for isolasjonsmaterialer



Figur 9: Klimagassutslipp for isolasjonsmaterialer i kg CO₂ ekvivalenter

Som resultatet viser kommer cellulosefiber desidert best ut. Likevel er bildet mer komplekst enn som så. Isolasjonsmaterialene i tabellen kan deles i to grupper, de som kan brukes i vegger og luftede tak, og de som kan brukes som isolasjon mot grunnen eller i kompakte tak. I den første gruppen kommer cellulosefiber best ut, mens EPS kommer best ut i den andre gruppen.

Cellulosefiber kommer veldig godt ut sammenlignet med glassull, som er benyttet i Brattebergs vurdering av LCA for en bygning med bindingsverk. Det er derfor sannsynlig at et bygg med bindingsverk og isolasjon av cellulosefiber ikke kommer mye dårligere ut på en LCA-vurdering enn en bygning utført i laft eller massivtre.

4.2.2 Gulv ytre sone:

Innledende

To typer gulv er aktuelle for videreutviklingen av modellen. Den ene typen for fritidsbolig på påler, og den andre typen med grunnmur.

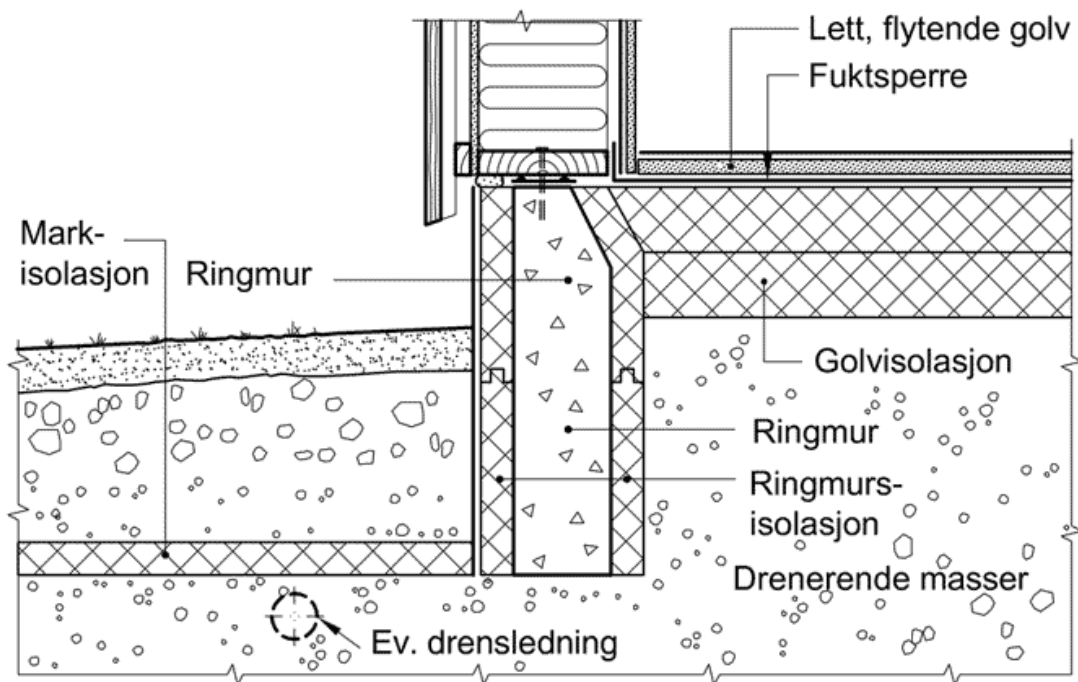
Hytte på påler

Det er mulig å utføre gulvet i massivtre, men dette fører til lavere U-verdi enn dersom det utføres som bjelkelag. Fordi gulvtemperaturen er viktig for komforten, og klimagassutslippet trolig ikke blir større dersom det benyttes cellulosefiber, velges det å benytte bjelkelag isolert med cellulosefiber.

Dimensjoneringen av gulvet gjøres gjennom tabell 8.1.3 hentet fra "Trehusboka" av Byggforsk (Edwardsen, et al., 2007). Denne tabellen gir et bjelkelag av I-bjelker med "høy stivhet for etasjeskiller med egenlast inntil 0,8 kN/m² og maks 2 kN/m² nyttelast." noe som skulle holde for en fritidsbolig. For en lysåpning på 4,0 m kreves det c/c 400mm og bjelkehøyde på 250 mm. I følge Byggforsk (Kristensen, 2003) vil et slikt gulv ha en U-verdi på 0,17 W/m²K, noe som tilfredsstiller TEK 10.

Hytte med grunnmur

For å kunne utnytte varmetilskudd fra grunnen, slik som Amble (Amble, 2008) skisserer, er det trolig mest egna med en ringmur. I tidligere simuleringer har denne løsningen kommet dårlig ut i LCA vurderingen (Bratteberg, 2010) som følge av stort forbruk av sement og armeringsjern. Figur 10 viser en løsning hentet fra bks.Byggforsk.no (Gundersen, et al., 2006) hvor mengden sement er vesentlig redusert, trolig til 1/5 av tidligere. Simulering av løsningen med varmetilskudd fra grunnen krever bedre simulering av bakken, noe som er for omfattende for denne oppgaven.



Figur 10: Gulv på grunnen med flytende golv (Gundersen, et al., 2006)

4.2.3 Vegger ytre sone:

Tre ulike vegger er aktuelle å vurdere videre.

Bindingsverk med isolasjon av cellulosefiber

Ved bruk av stendere i dimensjonen 36x198, isolert med cellulosefiber og vindsperre utført i porøse trefiberplater oppnås det, i følge Byggforsk (Kristensen, 2003), en U-verdi på 0,22W/m²K. Utvendig monteres kledning som er luftet med en spalte på 23mm i henhold til prinsippet om tottrinnetting.

Vegg av laftet rundtømmer

TEK 10 krever minimum 6 tommers laft (ca 152mm). Ifølge Byggforsk (Kristensen, 2003) vil en laftet vegg utført i stokker med rektangulært tverrsnitt, og tykkelse 145mm få en U-verdi på ca 0,95 W/m²K. Hvis det antas at varmeovergangsmotstandene er i henhold til NS-EN ISO 6946 (Karlsson, 1998), det vil si 0,13 m²K/W innvendig og 0,04 m²K/W utvendig betyr dette at Kristensen anser varmekonduktiviteten til en laftet vegg som:

$$\lambda = \frac{\text{veggenes tykkelse}}{\text{veggenes varmemotstand}} = \frac{0,145\text{m}}{\frac{1}{0,95\text{W}/\text{m}^2\text{K}} - 0,13\text{m}^2\text{K}/\text{W} - 0,04\text{m}^2\text{K}/\text{W}} = 0,164\text{W}/\text{mK} \quad (4.2.3)$$

Dette innebærer at en laftet vegg med tømmer i rektangulært tverrsnitt og tykkelse på 6 tommer får en U-verdi på:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,152}{0,164} + 0,04} \text{ W/m}^2\text{K} = 0,912 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (4.2.4)$$

Vegg av massivtre

En vegg av massivtre kommer ikke under regelverket for laft, og må derfor overholde kravet om U-verdi på under 0,22 W/m²K. Dette oppnås i følge Holz100 (Holz100) gjennom en vegg som er bygd opp i henhold til Tabell 14.

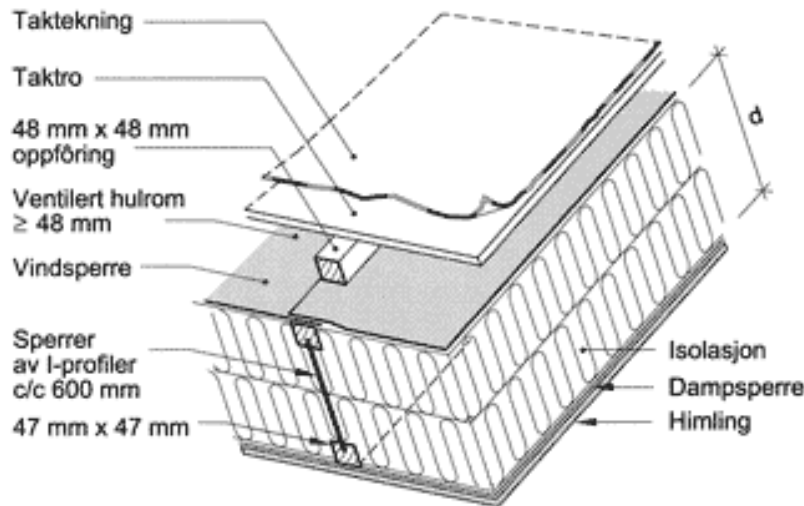
Sjikt	Tykkelse [m]	Varmekonduktivitet[λ]
Holz100 yttervegg	0,185	0,096
Trefiberplater	0,12	0,046
Lufting	0,023	
Kledning	0,022	

Tabell 14: Oppbygning av vegg i massivtre med U-verdi 0,213 W/m²K

4.2.4 Tak ytre sone:

I tidligere simuleringer er det benyttet en løsning som krever at taket utføres som et kompakt, varmt tak. Dette er vanligvis en teknisk god løsning som også nyttiggjør seg snøens isolerende egenskaper om vinteren. Likevel, isolasjonen i et kompakt tak må tåle store mengder fuktighet uten å miste isolasjonsevnen noe som krever utførelse med EPS i stedet for cellulosefiber. Et luftet og kaldt tak kan utføres med cellulosefiber som isolasjon og oppnår derfor langt mindre utslipp av klimagasser i forbindelse med byggeprosessen. Siden Børsets masteroppgave (Børset, 2009) viser at U-verdien i ytterkonstruksjonen ikke har stor betydning for energibehovet til frostsikring i indre sone, og hytta bare skal bebos periodevis om vinteren, velges derfor en løsning med tak av I-profiler og isolasjon av cellulosefiber selv om dette antas å gi noe høyere U-verdi. For å tilfredsstille kravene til varmemotstand i TEK 10 må et tak av denne typen bygges opp med I-profiler som er 250mm høye med senteravstand 0,6 m (Kristensen, 2003). Dette gir i følge Byggforsk (Kristensen, 2003) en U-verdi på 0,17 W/m²K.

Tak i denne dimensjonen tåler store snømengder, og kun i ekstreme tilfeller vil større dimensjoner være nødvendig pga snølast. Oppbygningen av taket er vist i Figur 11: Oppbygning av luftet kaldt tak med I-bjelker (Kristensen, 2003)Figur 11.



Figur 11: Oppbygning av luftet kaldt tak med I-bjelker (Kristensen, 2003)

4.2.5 Dører og vinduer ytre sone:

I tidligere simuleringer benyttes et vindu med U-verdi lik ca $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det er mulig å benytte både vinduer og dører med U-verdier på ned mot $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller lavere, men dette er både dyrt og ifølge Bratteberg (Bratteberg, 2010) slipper det ut over dobbelt så mye CO_2 under produksjonen. Derfor anses vinduer og dører med U-verdi lik $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ som en grei pragmatisk tilnærming. Plassering og utforming av dører og vinduer vil bli vurdert senere.

Gjennom Pilkington sine hjemmesider på nett (Pilkington) er det funnet et vindu som trolig egner seg godt. Egenskapene til dette vinduet er vist i Figur 12. Dette vinduet skiller seg en del fra vinduet som er benyttet i tidligere simuleringer ved at det slipper mer solenergi inn i hytta samtidig som det har samme U-verdi.

- Varmemotstanden for isolasjonen som er lektet ut blir etter NS-EN ISO 6946:
 - o Øvre grenseverdi, med 8 % treandel:

$$R_{Trestendere} = \frac{0,073m}{0,13 \frac{W}{mK}} = 0,56 m^2 K/W \quad (4.2.6)$$

$$R_{Isolasjon} = \frac{0,073m}{0,04 \frac{W}{mK}} = 1,83 m^2 K/W \quad (4.2.7)$$

$$R_{\phi} = \frac{1}{\frac{A_{Tre}}{R_{Tre}} + \frac{A_{Iso}}{R_{Iso}}} = \frac{1}{\frac{0,08}{0,56} + \frac{0,92}{1,83}} = 1,55 m^2 K/W \quad (4.2.8)$$

- o Nedre grenseverdi, med 8 % treandel:

$$\lambda_{legering} = \lambda_{tre} \times A_{tre} + \lambda_{iso} \times A_{iso} = 0,047 \frac{W}{mK} \quad (4.2.9)$$

$$R_N = \frac{0,073m}{0,047 \frac{W}{mK}} = 1,55 m^2 K/W \quad (4.2.10)$$

- o Total varmemotstand:

$$R_{Tot2} = \frac{R_{\phi} + R_N}{2} = 1,55 m^2 K/W \quad (4.2.11)$$

- Ny U-verdi for gulvet under indre sone blir:

$$U = \frac{1}{R_{Tot1} + R_{Tot2}} = 0,135 \frac{W}{m^2 K} \quad (4.2.12)$$

4.2.7 Vegger indre sone:

I tidligere simuleringer har det blitt simulert med vegger på mellom 280mm og 350mm tykkelse. Det har blitt isolert med EPS eller polyuretan, noe som er problematisk både sett fra et LCA perspektiv og brannteknisk. U-verdiene som er brukt er regnet ut i ESP-r, og tar ikke hensyn til behovet for bærekonstruksjon og effekten dette får på den totale varmemotstanden.

Det foreslås å benytte en 300mm tykk vegg av I-profiler, isolert med cellulosefiber. Innvendig monteres 9mm gipsplater og dampsperre, mens det utvendig monteres en porøs trefiberplate. En slik vegg vil ifølge Byggforsk (Kristensen, 2003) oppnå en U-verdi på 0,14 W/m²K.

4.2.8 Tak indre sone:

Det foreslås å isolere taket i indre sone ekstra gjennom å lekte ut 73mm innvendig. Siden varmemotstanden i taket før ekstra isolering er lik varmemotstanden i gulvet før ekstra isolering, antas det at total varmemotstand i taket i indre sone blir lik varmemotstanden i gulvet i indre sone. Dette gir en U-verdi for taket i indre sone lik 0,135 W/m²K.

4.2.9 Dør indre sone:

Det foreslås å benytte en løsning med to dører utenpå hverandre in til indre sone. En dør er av normal type og brukes i bebodde perioder, mens den andre kun benyttes når boligen står ubebodd om vinteren. Døren som benyttes i ubebodde perioder bør være utformet for å isolere og tette mest mulig. Dersom den utføres som et prefabrikkert element, med polyuretanskum og fokus på å unngå kuldebroer, bør det være mulig å oppnå en samlet U-verdi som tilsvarende veggen.

Det vil uansett oppstå noen kuldebroer i forbindelse med døråpningen. Det bør undersøkes hvordan dette påvirker muligheten for kondensdannelse i utsatte perioder.

4.2.10 Etasjeskiller

Etasjeskilleren utføres som uisolerte bærebjelker med gulv av 22mm gulvbord. Det antas at dette kan simuleres tilfredsstillende i ESP-r som et massivt 40mm tykt gulv av tre.

4.2.11 Skillevegg

En gjennomsiktig skillevegg mellom sørlige og nordlige sone, som benyttet i tidligere simuleringer, sørger for å bringe lys og varmeenergi fra sola inn til de nordlige delene av bygningen. Fordi den nordlige delen av bygningen er et naturlig område for soverom, inngang og lager anses dette som et lite egna og realistisk tiltak. Store glassarealer som dette er kostbare, de hindrer ikke innsyn og de demper ikke støy særlig godt. Derfor erstattes skilleveggen i glass med en skillevegg i bindingsverk av stendere med dimensjonene 98x36mm isolert med cellulosefiber.

4.2.12 Strategi for frostsikring

I tidligere simuleringer er indre sone varmet opp til 0°C for å oppnå frostsikre forhold. Som det ble diskutert i kapittel 3.3.1 er dette ikke tilstrekkelig. Derfor vil indre sone bli varmet opp til 5°C for å sikre frostsikring.

4.3 Økt termisk tyngde

Tidligere simuleringer av Bratteberg (Bratteberg, 2010) har vist at økt termisk masse bidrar til vesentlig økt utnyttelse av passiv solvarme. Hvor langt inn i en tung konstruksjon temperaturvariasjonene når er uvisst, men det antas at dette er relativt begrenset. Gjennom simulering av fire modeller med ulik termisk masse i gulv og etasjeskiller søkes det å finne en løsning som nyttiggjør den passive solvarmen, men krever minimale konstruksjonsmessige tiltak og utslipp av CO₂.

For simuleringer med ulik termisk masse presenteres det her fire ulike tiltak som kan vurderes opp mot hverandre i simuleringer. Meningen er å benytte tiltakene på gulvet og etasjeskilleren. Det er søkt etter løsninger som trolig vil komme langt bedre ut på en LCA vurdering enn et tykt lag med betong og armeringsjern.

- *Termisk lett gulv*
Gulvet består av 22mm sponplater med 8mm parkett.
- *Termisk middels lett gulv*
Gulvet består av ett lag 22mm sponplater, et lag 12,5mm tykke gulvgipsplater og ett 10mm tykt lag med fliser eller skifer.
- *Termisk middels tungt gulv*
Gulvet består av et lag med 22mm sponplater, 50mm armert betong og 10mm fliser.
- *Termisk tungt gulv*
Først ett lag med 22mm sponplater, deretter 100mm med jord.
- *Termisk veldig tungt gulv*
Gulvet består av ett 22mm tykt lag sponplater og 150mm med jord.

Litt om jordgulv

Jordgulv er en gammel teknikk, også i Norge, som de senere årene har fått en liten renesanse i enkelte miljøer. Spesielt på vestkysten av USA er kulturen rundt ”natural building technic” populær, og den innbefatter bruk av jord både til vegger og gulv. I Norge finnes en entreprenør, Pandabygg, som utfører teknikken.

Det er egentlig ikke snakk om å bruke jord, i norsk forstand, men en blanding av leire, sand og strå. For å oppnå en egnet og vakker overflate impregneres gulvet med linfrøolje og voks.

Ifølge Piet Jensen i Pandabygg (Jensen, 2011) er korrekt utførte jordgulv en solid og egnet løsning som blant annet er benyttet i kafeer med stort hell. Det er lite avgasser forbundet med løsningen og den kan gjerne kombineres med gulvvarme. Jordgulv kan også legges rett på tregulv, så lenge konstruksjonen tåler vekten.

De termiske egenskapene til jordgulv er særdeles gode med spesifikk varmekapasitet på rundt 1500 J/kgK og en egenvekt på ca 2000kg/m³.

4.4 Dører, skillevegger, vinduer og solavskjerming

Tidligere simuleringer har sett bort fra behovet for vinduer, dører og solavskjerming. Det har blitt simulert med ett eneste, stort, vindu i 1 etasje på sørveggen. Ambisjonen her er ikke å gjøre en detaljert simulering av et konkret bygg, men kun å komme nærmere en realistisk simulering enn tidligere.

Dører

Det simuleres med tre ytterdører. Disse blir plassert på øst og vestfasaden som vist i Figur 17.

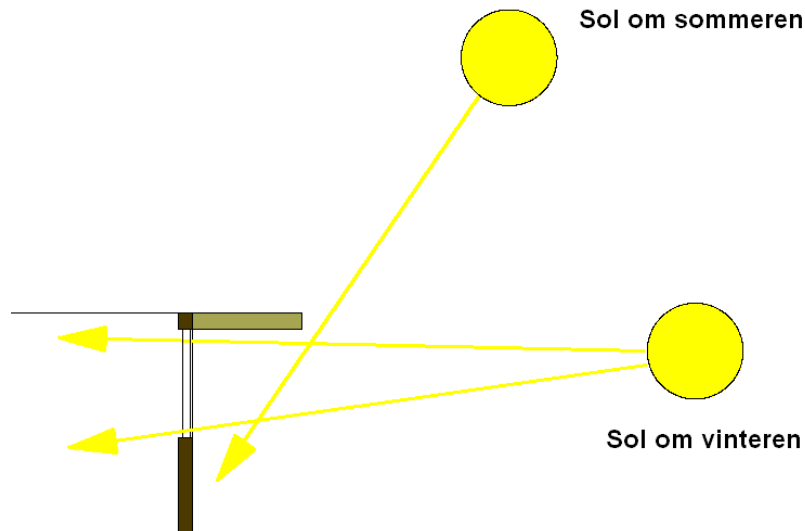
Vinduer

For å tilføre rommet tilstrekkelig med dagslys krever TEK 10 at vindusflaten tilsvarer minimum 10 % av gulvarealet i hvert rom. Dersom vindusflaten er skjermet eller overbygd kreves større vindusflate. Det antas at vinduene ikke er nevneverdig skjermet

Plasseringen av vinduer er viktig for å utnytte passiv solenergi på en god måte.

- Vinduer mot nord gir lite varmetilskudd, men også lite problem med overoppheting i sommerhalvåret.
- Vinduer mot øst og vest gir lite varmetilskudd om vinteren, men kan gi overoppheting om sommeren.
- Vinduer mot sør bidrar best til varmetilskudd om vinteren samtidig som solavskjerming kan begrense varmetilskuddet om sommeren. Prinsippet er vist i Figur 13.

Som en følge av dette velges det å legge hovedmengden av vinduer mot sør, noe vinduer mot nord, og kun fåtall vinduer mot øst og vest.



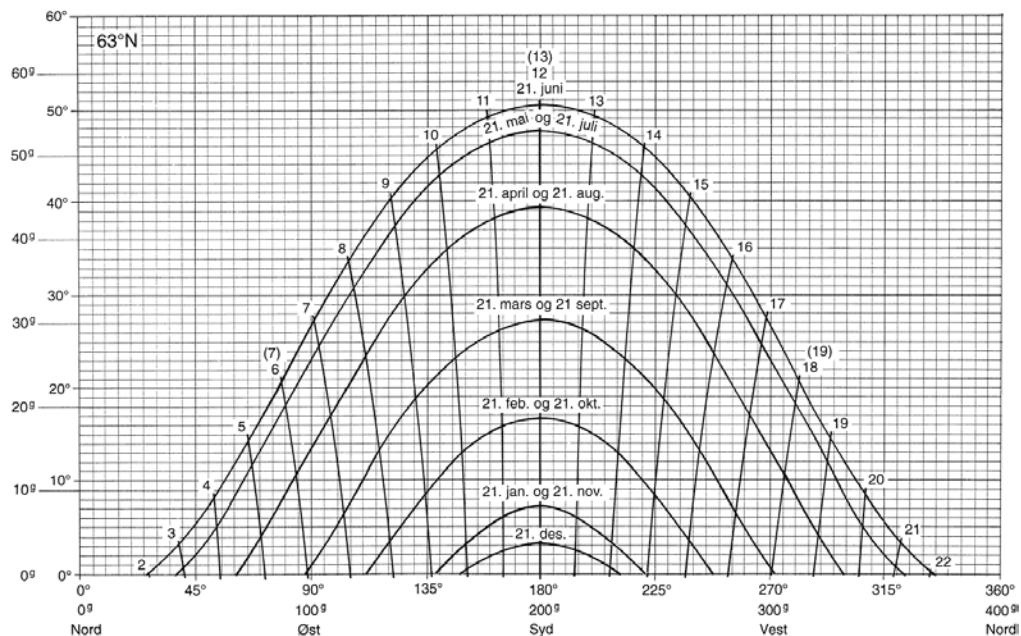
Figur 13: Prinsipp for solavskjerming

Solavskjerming

Mot sør vil vinduene bli skjermet som vist i Figur 13. I praksis kan slik avskjerming oppnås gjennom takutstikk, verandaer eller rene solskjermer. Akkurat hvor langt ut over vinduet solavskjermingen skal stikke vil bli vurdert etter de første simuleringene. Målet er å regulere solinnstrålingen slik at sola fortsatt bidrar med varme når det trengs, men fører til minimal overopphetning i sommerhalvåret. Det antas at en god tilnærming vil være å dimensjonere solskjermingen slik at den tilfredsstillende to ulike kriterier:

- Solskjermingen må ikke føre til økt energibehov for frostsikring av indre sone.
- Behøver ikke å begrense passiv solvarme før temperaturen innvendig passerer 30 °C på de varmeste dagene.

Sammen med resultatene fra en simulering uten solskjerming og data som viser solas posisjon på himmelen gir disse to kriteriene et grunnlag for å dimensjonere solskjermingen. Solas posisjon på himmelen finnes gjennom Figur 14.



Figur 14: Solens posisjon på himmelen(Kirkhus, 1996)

4.5 Geometri og dimensjoner

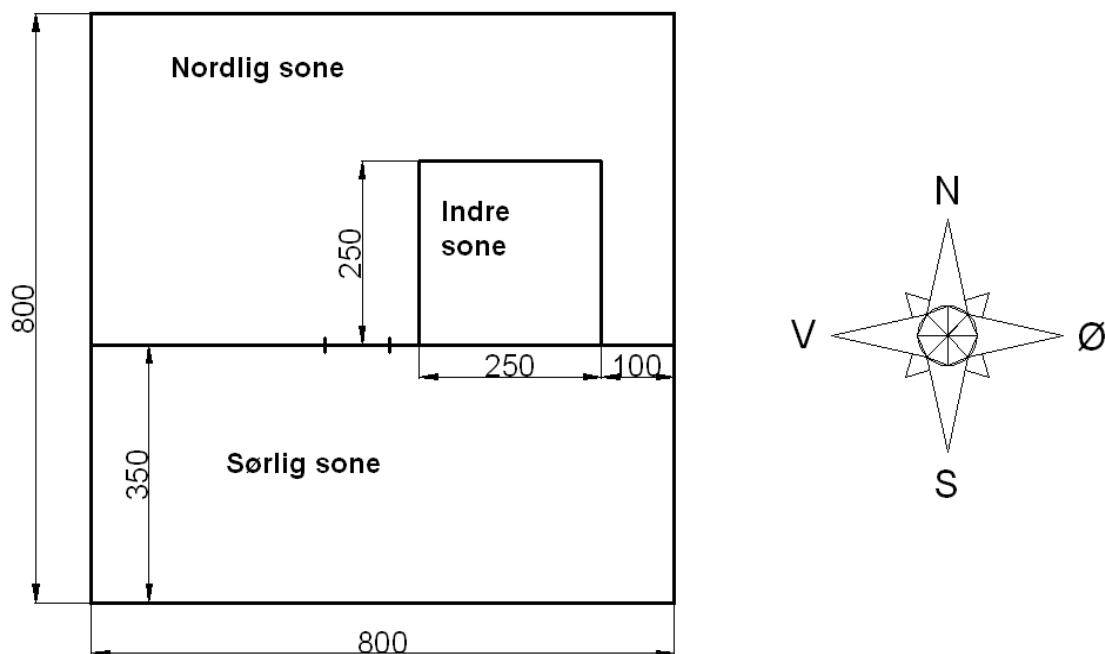
I følge håndboken til ESP-r, kapittel 1.5, er det en vanlig regel at en modell skal utformes slik at volumet av luft blir tilnærmet det man finner i virkeligheten. Videre står det at dersom luftvolumet er stort i forhold til tykkelsen på veggene, og veggene ikke er veldig komplekse, er det vanlig å måle fra innsiden av yttervegger (Hand, 2010).

Vanlig takhøyde i moderne boliger er 2,4m og etasjeskilleren i denne modellen er på maksimalt 400mm.

I lys av dette fremstår dimensjonene fra den tidligere modellen som underlige. Derfor velges det å endre modellens høyde til 5,2m. For sammenligningens skyld beholdes grunnplanet på 8 ganger 8 meter og indre sone vil også simuleres med samme plassering og dimensjoner.

Planskisse

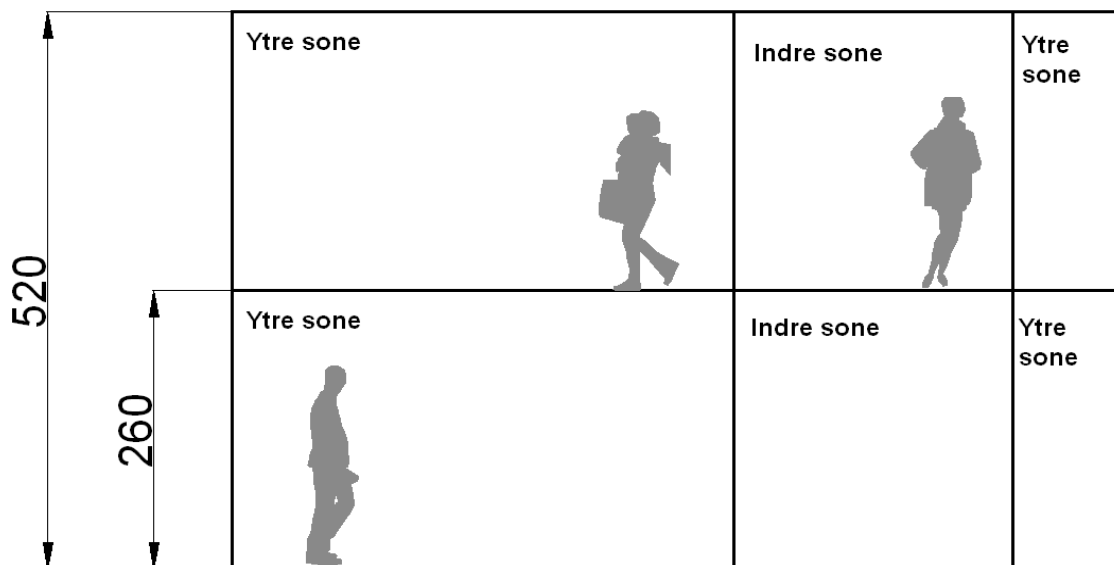
En planskisse med dimensjoner er vist i Figur 15. Dimensjonene er i cm.



Figur 15: Planskisse av modellen

Tverrsnitt

Ett tverrsnitt av modellen er vist i Figur 16. Dimensjonene er i cm.

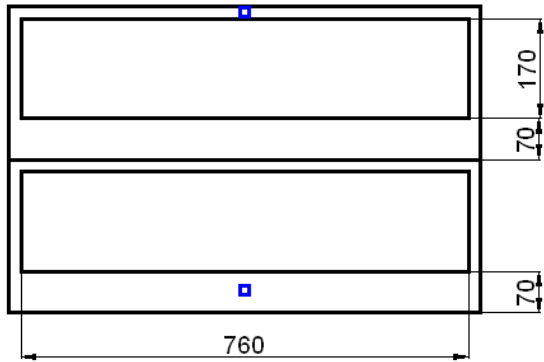


Figur 16: Tverrsnitt av figuren.

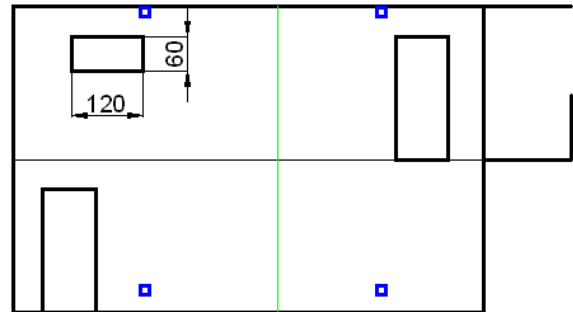
Fasader

Fasadene er vist i Figur 17. Dimensjonene er i cm, og solskjermingen for vinduet i kjelleretasjen er skissert som en veranda. Skilleveggen er skissert i grønt og ventilasjonsåpningene i blått.

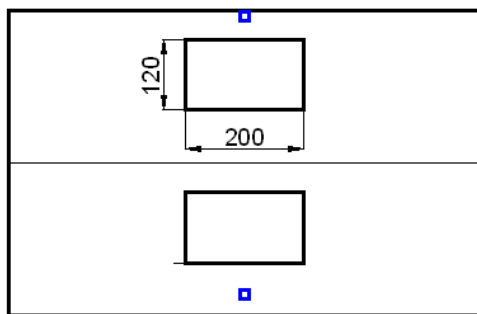
Fasade mot sør



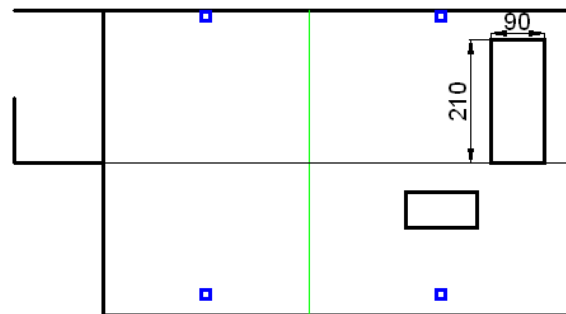
Fasade mot vest



Fasade mot nord



Fasade mot øst



Figur 17: Oversikt over fasadene

4.6 Ventilasjon

4.6.1 Innledende

Ventilasjon av ytre sone foregår stort sett gjennom naturlig ventilasjon med mekanisk avtrekksventilasjon ved behov. Hvordan ventilasjonen i indre sone sikres på best mulig måte er enda ikke bestemt.

I bebodde perioder antas det at oppvarmingen foregår med biobrensel (ved) og siden bebodde perioder om vinteren har begrenset lengde antas det ikke som nødvendig å gjennomføre tiltak for å begrense varmetapet som følger med ventilasjonen i bebodde perioder. Dette er mer utførlig vurdert i forfatterens prosjektoppgave (Bøckman, 2010).

I ubebodde perioder er situasjonen en helt annen og det bør tas omfattende hensyn for å unngå varmetap som følge av ventilasjon.

4.6.2 Ventilasjonsbehov for ytre sone i ubebodde perioder

Tidligere i dette arbeidet har det blitt antatt at et luftskifte på $0,1\text{h}^{-1}$ er tilfredsstillende i ubebodde perioder. Hvorvidt dette stemmer avhenger av faktorer som fuktbelastning, bygningskonstruksjon og materialvalg. Ved for lite ventilasjon i ubebodde perioder kan problemer med lukt, sopp, råte, fukt og heksesot oppstå. Heksesot er et problem som har dukket opp i norske hus de senere årene og som trolig henger sammen med nye, mer miljøvennlige malingstyper. Fenomenet oppstår som en følge av avdampning og kondensering av SVOC (Semi Volatile Organic Compounds) og forekommer spesielt i situasjoner hvor temperaturen varierer mye (Hauer, 2011). Det antas at selve dannelsen av heksesot foregår i perioder hvor rommet varmes opp. I slike perioder vil temperaturen i deler av rommet være høy nok til at SVOC fordamper, mens temperaturen i andre områder er lav nok til at det kondenserer igjen.

Tidligere simuleringer av ubebodde perioder har vist at temperaturen i ytre sone, spesielt den sørlige delen, tidvis kan variere voldsomt i løpet av et døgn. Derfor antas det at det vil være ønskelig med mer ventilasjon enn et luftskifte på $0,1\text{h}^{-1}$. TEK 10 (TEK10, 2010) krever et luftskifte på $0,7\text{ m}^3$ per m^2 gulvareal i rom som ikke er beregnet på varig opphold. Med en takhøyde på $2,4\text{m}$ tilsvarer dette et luftskifte på $0,29\text{ h}^{-1}$. Ventilasjonen i ytre sone vil variere svært mye mellom perioder med lite vind og perioder med mye vind. Dersom kravet skal overholdes hver time gjennom hele året kreves uforholdsmessig store ventilasjonsåpninger som igjen gir svært stor gjennomstrømning når det blåser mye. Som en pragmatisk tilnærming til kravet i TEK10 dimensjoneres derfor ventilasjonsanlegget slik at gjennomsnittlig luftskifte over en 48 timers periode ikke kommer under $0,29\text{ h}^{-1}$.

Det har ikke lyktes å finne konkrete anbefalinger til ventilasjon av uoppvarmede boligbygninger, i verken norske eller internasjonale forum.

Økt ventilasjon i ubebodde perioder fører til økt oppvarmingsbehov i indre sone. Hvorvidt denne økningen er så stor at det er nødvendig med tiltak bør vurderes etter en simulering. Det foreslås likevel tre tiltak for å minke behovet for ventilasjon.

- **Bruke materialer med lite avgassing.** Materialer med lite avgassing gir mulighet for å ventilere mindre.
- **Mer termisk masse.** Økt termisk masse fører til langsommere avkjøling. Det antas at dette vil gi ventilasjonen mer tid til å fjerne fuktig varm luft før fukt kondenserer. Dette kan være etter besøk om vinteren, en kald klar høstnatt etter en varm fuktig dag, eller i overgangen sommer-høst-vinter. Økt termisk masse vil også begrense temperatursvingningene mellom dag og natt, noe som trolig vil begrense problemet med heksesot.
- **Bedre U-verdi på vindu, og unngå kuldebroer.** Kalde vindusflater og kuldebroer i forbindelse med for eksempel ventilasjonskanaler kan føre til kondensasjon av fuktig luft og dermed økt behov for ventilasjon.
- **Bevisst styring av ventilasjonen.** Bevisst styring med hensyn på uteluftas fuktinnhold og temperatur samt temperaturen innendørs kan gi bedre uttørking, mindre varmetap, og mindre temperaturvariasjon innendørs.

4.6.3 Ventilasjonsbehov for ytre sone bebodde perioder

Ventilasjonsbehovet i bebodde perioder er vist i kapittel 3.3.5. En grunnventilasjon på 216 m³/h med muligheten for å styre ventilasjonen slik at forsert avtrekk over komfyr og på bad blir minimum 108 m³/h gir tilfredsstillende ventilasjon i henhold til TEK 10.

4.6.4 Utforming og egenskaper

Drivkreftene i et anlegg for naturlig ventilasjon er termisk oppdrift også kalt ”skorsteinseffekt” og vind. Den termiske oppdriften skyldes at varm luft har lavere densitet enn kald luft. Trykkforskjellen mellom to ventilasjonsåpninger kan uttrykkes gjennom ligning 4.6.1 (Tjellflaat, 2010).

$$\Delta p = \rho \times g \times H \times \frac{(T_i - T_u)}{T_m} \quad (4.6.1)$$

ρ = luftas tetthet 1,2 kg/m³

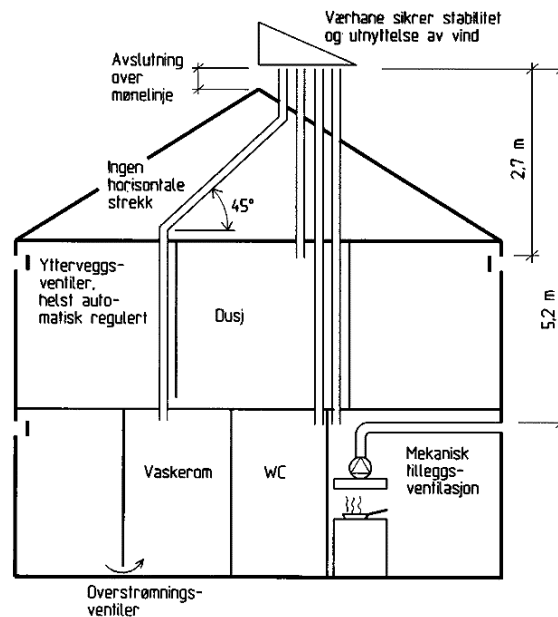
g = gravitasjonskonstanten 9,81 m/s²

H = høydeforskjell i meter

T_i, T_u, T_m , = henholdsvis temperaturen inne, ute og midlere.

For å kunne utnytte den termiske oppdriften på best mulig måte er det viktig med mest mulig høydeforskjell mellom inntaksventiler og avkast. Dersom det benyttes kanaler for å føre luften gjennom kalde loft må disse isoleres. I denne situasjonen knytter det seg stor usikkerhet ved om det er mulig å opprettholde tilstrekkelig høy temperatur i avkastkanalen i ubebodde perioder til å sikre kontinuerlig trekk. Derfor er det kun vurdert en løsning med ventiler monter i ytterveggene.

Figur 18 viser hvordan Byggforsk anbefaler å utforme anlegg for naturlig ventilasjon. Legg merke til "værhanen". Dette er en innretning som sikrer undertrykk uansett hvilken retning vinden kommer fra.



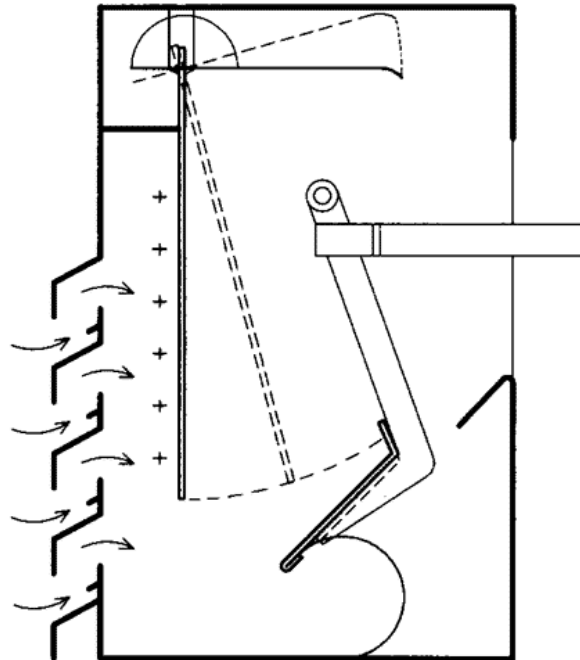
Figur 18: Utforming av anlegg for naturlig ventilasjon (Blom, 1994)

Automatisk regulerbar ventilasjon med hensyn på vind

Varmetapet fra indre sone øker trolig med økt ventilasjon av ytre sone. Derfor antas det å være en fordel å begrense ventilasjonen i ytre sone til det absolutt nødvendige. Med naturlig ventilasjon vil ventilasjonsmengden variere med vinden og temperaturdifferansen mellom inne og ute. Dette medfører perioder med betydelig mer ventilasjon enn nødvendig. Dette kan avhjelpes ved å benytte automatisk regulerbare ventiler.

- Regulert med hensyn på vind

Slike ventiler stenges delvis ved høyt vindtrykk og hindrer derved unødig stort varmetap. Et bilde av en slik ventil er hentet fra Byggforsk sine hjemmesider og vist i Figur 19.



Figur 19: Automatisk ventil for luftinntak(Blom, 1994)

- *Regulert med hensyn på vind, RH, temperatur utendørs og innetemperatur*
Regulering av denne typen kalles "VAV" (Variable Air Volume) og er ikke så vanlig på anlegg med naturlig ventilasjon fordi det vanligvis monteres for å begrense energi- og effektbehov til vifter. Dersom anlegget dimensjoneres riktig, kan det bidra til mindre unødvendig ventilasjon, mindre kondens og bedre uttørking av ytre sone. Ulempen med systemet er at det krever litt strøm og at det er relativt dyrt. En VAV-ventil koster i størrelsesorden 2 100 kroner og oppover. I tillegg kommer styringsenheten og sensorer. På grunn av evnen til å regulere ventilåpningen antas det at det ikke er nødvendig med mer enn mellom 4 og 8 ventiler.

4.6.5 Plassering av ventiler

For å gi best mulig ventilasjon både i perioder med vind, og i perioder med stille vær er det viktig med korrekt plassering av ventiler. For å gi god gjennomstrømning selv ved lite vind plasseres ventiler på alle yttervegger i alle rom. Det vil også bli plassert gjennomstrømningsventiler i skilleveggen mellom sørlig og nordlig sone. I perioder med lite vind vil det være oppdriftskrefter som driver luftstrømmen og for å gi best mulig forhold for oppdriftskreftene plasseres ventilene i

første etasjen nede ved gulvet, mens ventilene i andre etasjen plasseres oppe ved taket. Det vil også være ventiler eller andre åpninger mellom første og andre etasje. Plasseringen av ventiler i yttervegger er skissert med blått i Figur 17.

4.6.6 Infiltrasjon til indre sone:

Veggene inn mot indre sone er uvanlig tykke for innendørs skillevegger. Samtidig vil indre sone bli utsatt for store fuktpåkjenninger i bebodde perioder. Det er også av ytterste viktighet å begrense varmetapet fra indre sone. Derfor anses det som ekstra viktig å hindre infiltrasjon gjennom vegger eller konstruksjoner inn mot indre sone. Det anbefales å legge stor vekt på detaljer som fuktsperre, spesielt ved gjennomgående installasjoner som rør og kanaler, og døråpning.

4.6.7 Ventilasjon av indre sone i bebodde perioder

Ventilasjonen må tilfredsstillere kravene i TEK 10 (TEK10, 2010). Det innebærer grunnventilasjon til vanlig, og forsert ventilasjon på minimum $108 \text{ m}^3/\text{h}$ ved behov. Dette oppnås på samme måte som for resten av fritidsboligen, gjennom hybrid ventilasjon.

4.6.8 Ventilasjon av indre sone i ubebodde perioder

I tidligere simuleringer har modellen vært simulert helt uten ventilasjon av indre sone. Dette er ikke en aktuell løsning. Dersom luften i indre sone tilføres 215 gram vann ved $5 \text{ }^\circ\text{C}$ vil luftfuktigheten nå 100 %. I løpet av en lengre ubebodd periode vil langt mer vann kunne fordampe fra vannet i vannlåser og klosett. Sonen vil også bli utsatt for avgasser fra lim, fuger, fuktsperre og inventar, og uten ventilasjon vil dette skape svært dårlig luft og muligens heshksesot. Derfor må en realistisk modell inkorporere et minimum av ventilasjon. Akkurat hvor store ventilasjonsmengder er usikkert, og spørsmålet utsettes til etter løsningene er simulert. Ulike metoder for å ventilere indre sone med minst mulig varmetap har blitt foreslått men ikke simulert. Disse metodene er:

1. Ventilasjon gjennom en nedgravd duct / jord-luft varmeveksler.

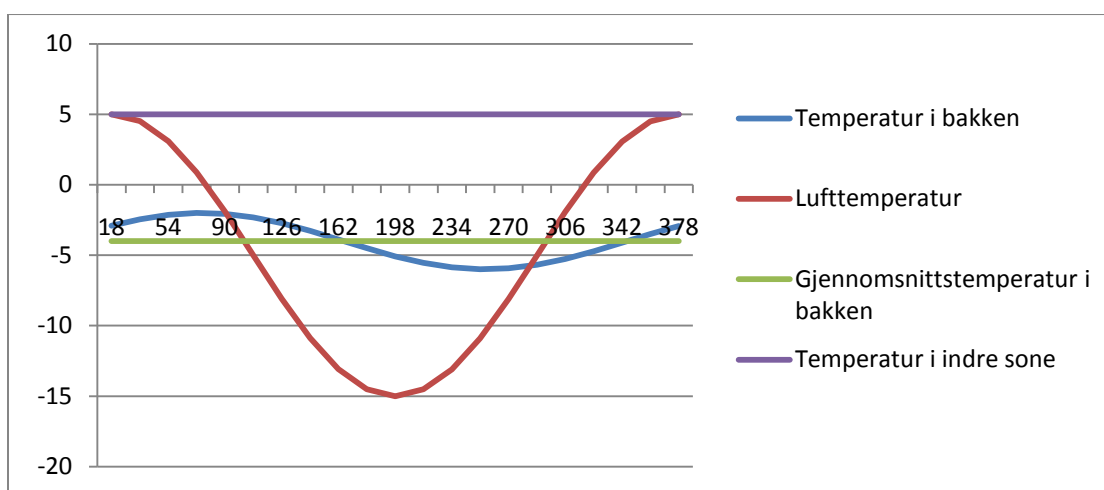
Temperaturen i grunnen varierer rundt en temperatur som gjerne ligger litt høyere enn luftas gjennomsnittstemperatur. Jo lenger ned i grunnen det måles, dess mindre varierer temperaturen med årstidene samtidig som variasjonen blir mer faseforskjøvet (Novacovic, et al., 2007). Ved å føre tilluften gjennom en ventilasjonskanal/duct i bakken kan bakken bidra med varme om vinteren og kjøling om sommeren. For å unngå behovet for å grave veldig dypt er det mulig å isolere jordlaget over ducten. Løsningen er illustrert i Figur 22. I store deler av fjell-Norge er den årlige gjennomsnittstemperaturen lavere enn ønsket temperatur i indre sone, dvs $5 \text{ }^\circ\text{C}$. I slike områder må ventilasjonen hentes fra en annen kilde enn ventilasjonsdukten i perioder med høyere lufttemperatur enn grunntemperatur

for at dukten skal få en netto positiv effekt. Dette er illustrert Figur 20 og Figur 21. Figurene viser kun tenkte temperaturprofiler konstruert for å illustrere problemet og ikke reelle verdier hentet fra virkeligheten. En oversikt over gjennomsnittstemperaturer i Norge er vist i vedlegg A.

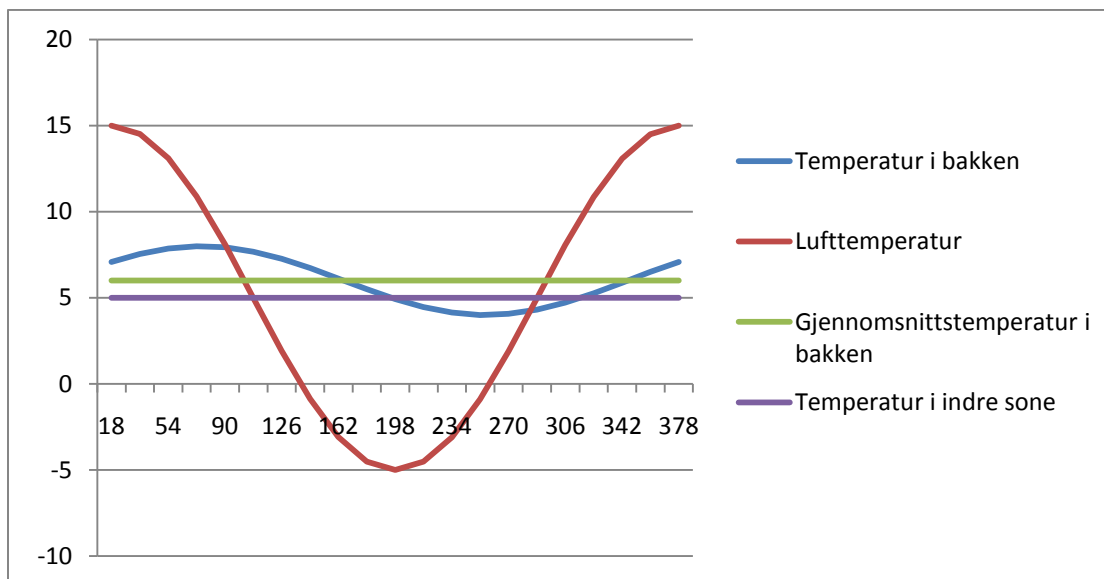
Det er viktig å sørge for god drenering og rengjøring av ventilasjonsdukten for å unngå oppblomstring av mugg.

For å øke effekten til ventilasjonsdukten kan den varmes opp gjennom økt ventilasjon i sommerhalvåret. Dette kan eventuelt gjøres ved hjelp av en "solskorstein" for å unngå stort energiforbruk til vifter.

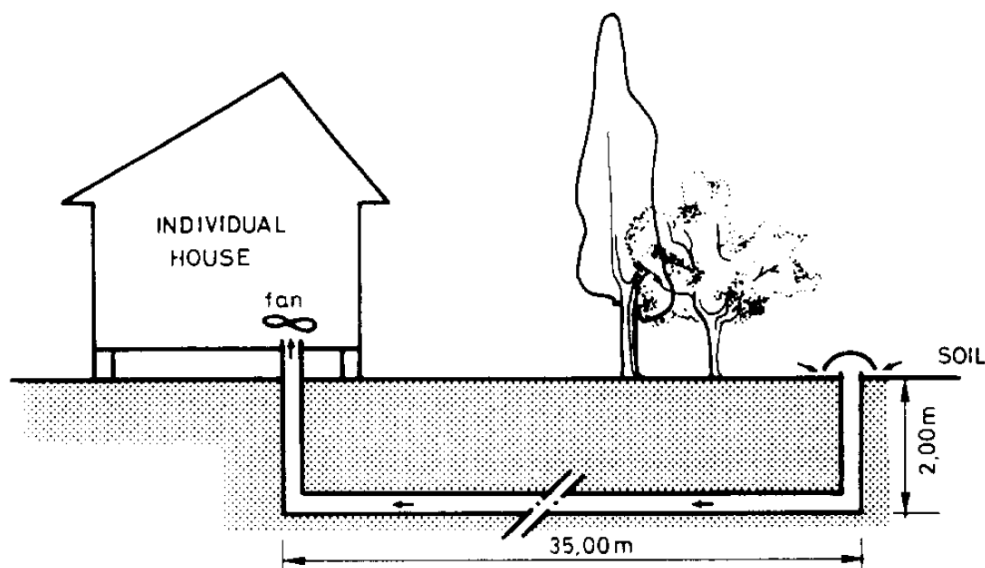
Det finnes omfattende litteratur om bakke-luft varmevekslere, men det har ikke lyktes å finne en metode for å beregne prestasjonen, eller simulere den i ESP-r.



Figur 20: Eksempel på temperaturer i et område med gjennomsnittstemperatur på -5 °C.



Figur 21: Eksempel på temperaturer i et område med gjennomsnittstemperatur på 5 °C.



Figur 22: Løsning med ventilasjon gjennom en nedgravd dukt.(Trombe, et al., 1994)

2. Ventilasjon gjennom en luftsofanger.

Dette er beskrevet og overfladisk vurdert i forfatterens prosjektoppgave (Bøckman, 2010). En luftsofanger overfører energien fra sola til varme i ventilasjonslufta. Virkningsgraden kan komme opp i 60 % selv ved 20 kuldegrader (Mohamad, et al., 2007) og defineres som vist i ligning (4.6.2).

$$\eta = \frac{Q_{luft}}{Q_{sol}} = \frac{\dot{m} \times C_p \times (T_1 - T_2)}{I \times A} \quad (4.6.2)$$

= massestrøm [kg/s]

C_p = Spesifikk varmekapasitet [kJ/kgK]

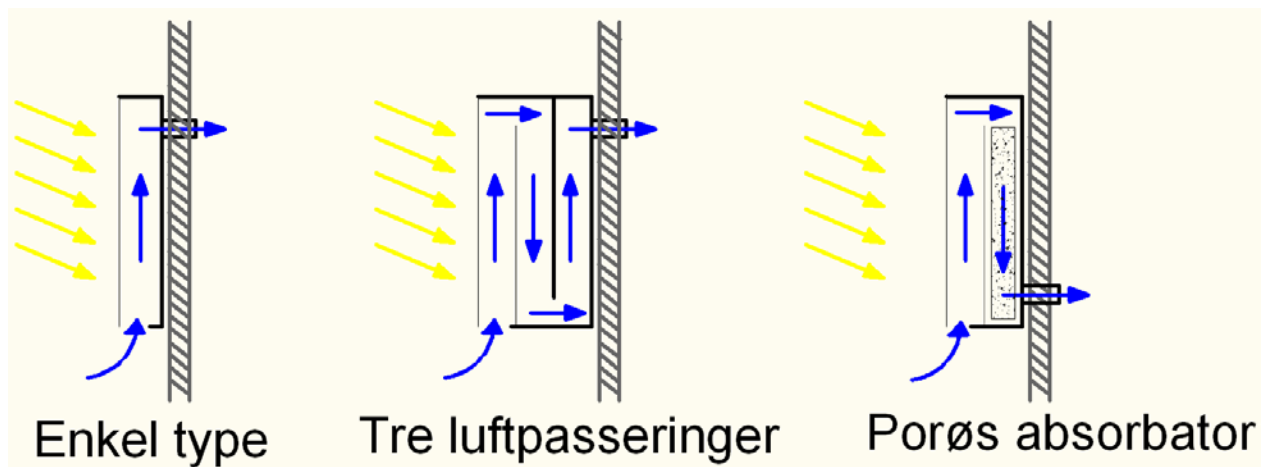
T_1 = temperatur på uteluft som suges inn i luftsofangeren [K]

T_2 = temperatur på luft som pumpes inn i bygningen [K]

I = strålingsenergi fra sol [kW/m²]

A = solfangerens areal [m²]

Solfangere utformes på en rekke ulike måter. Under er de tre vanligste metodene presentert. Løsningen med porøs absorptor har den desidert høyeste virkningsgraden, men krever mer vifteeffekt enn løsningen med tre luftpasseringer.



Figur 23: Ulike systemer for solfangere

3. Ventilasjon gjennom periodisk avtrekk fra ytre sone i perioder hvor temperaturen der er høy.

Takket være god utnyttelse av passiv solvarme får ytre sone periodevis langt høyere temperatur enn utetemperaturen. Gjennom å ventilere indre sone med luft fra ytre sone, og legge største delen av ventilasjonen til den perioden av dagen hvor ytre sone holder høyest temperatur, antas det at det er mulig å redusere behovet for oppvarming av indre sone.

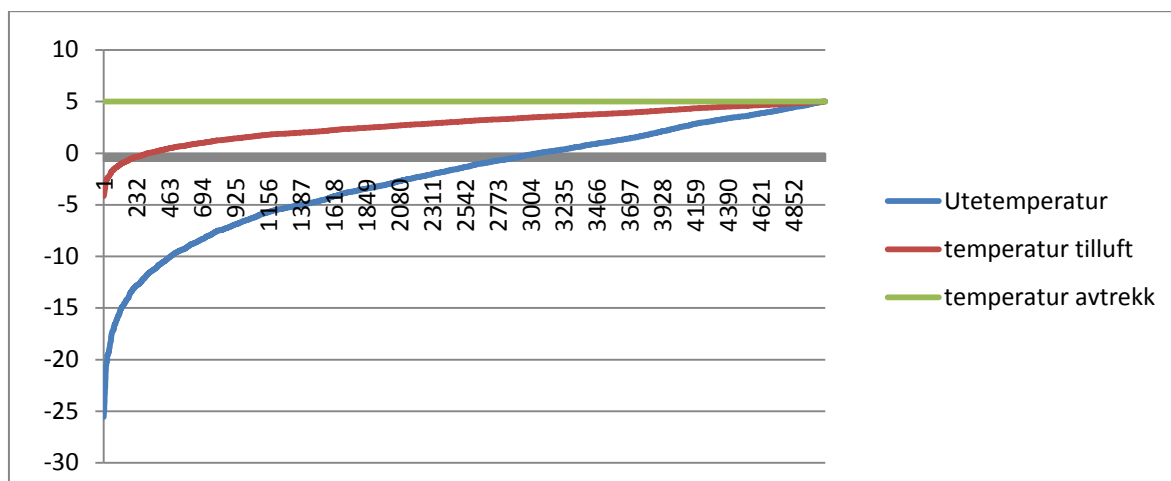
4. Varmegjenvinner.

En varmegjenvinner benytter varmen fra avkastluften for å varme opp inntaksluften. Virkningsgraden defineres som oftest som årsvirkningsgrad og kan for dette tilfelle forenkles til uttrykket i ligning (4.6.3). For elektrisk oppvarming vil mengden spart elektrisitet være proporsjonal med virkningsgraden. For oppvarmingsmetoder som er temperaturavhengige vil bildet bli langt mer kompleks.

$$\eta = \frac{B}{A+B} \quad (4.6.3)$$

A = Arealet mellom temperatur på avtrekk og temperaturen på tilluft i Figur 24.

B = Arealet mellom temperatur på tilluft og temperatur på uteluft i Figur 24.



Figur 24: Varighetskurve for ventilasjon av indre sone med varmegjenvinner.

5. Avfukter.

I forfatterens prosjektoppgave (Bøckman, 2010) ble det konkludert med at en rotasjonsavfukter er for kostbar for å benyttes i fritidsboliger, og at en kondensavfukter ikke oppnår lav nok RF ved lave temperaturer til å være egnet. I den vurderingen ble effekten vurdert ved 0 °C mens det i dette arbeidet vurderes med 5 °C. Ved 5 °C oppnår en god kondensavfukter 70 % RF. Dette er ikke tørt nok, men kan være til god hjelp dersom det ønskes å ventilere minst mulig.

Ikke alle disse metodene kan benyttes overalt, og det er usikkert hvordan de presterer. Det kan tenkes at enkelte løsninger vil tilføre et netto varmebidrag til indre sone, eller det kan hende de bidrar med et netto varmetap. Ventilasjonsmengden bør vurderes etter videre vurderinger.

5 Simuleringer og vurderinger

5.1 Innledende

Kort om arbeidet

Under arbeidet med simuleringene vil resultatene fra enkelte innledende simuleringer danne grunnlaget for senere simuleringer. Derfor er ikke simuleringer og resultater delt i to ulike kapitler men presentert sammen i kronologisk rekkefølge av pedagogiske og strukturmessige hensyn. Ulike temaer vil bli studert i rekkefølgen som er vist under.

- Det konstrueres en ny modell i ESP-r som i størst mulig grad tilsvarende modellen beskrevet i tidligere arbeider. Denne modellen endres steg for steg til en modell som i større grad tar hensyn til de viktigste konklusjonene fra kapittel 3 og 4. Effekten av hver ny endring simuleres og vurderes før neste endring innføres.
- Resultatene fra tidligere simuleringer benyttes for å optimalisere modellen. Effekten av ulike ventilasjonsløsninger, termisk masse og isolasjonsgrad utforskes i en serie simuleringer som har til hensikt å kartlegge bygningsmodellens optimaliseringspotensial.
- Ulike tiltak for å ventilere ytre og indre sone i den mest optimaliserte modellen vurderes gjennom simuleringer og vurderinger.

I vedlegg B presenteres en detaljert beskrivelse av den siste modellen i ESP-r.

Litt om simuleringsprogrammet ESP-r (hentet fra prosjektoppgaven (Bøckman, 2010))

”For simuleringene er programmet ESP-r, *Environmental Systems Performance – research*, blitt benyttet. Programmet er utviklet ved University of Strathclyde i Glasgow og kan lastes ned gratis fra nettet på hjemmesiden <http://www.esru.strath.ac.uk/software.htm>. Kildekoden er åpen og universitetet oppfordrer andre til å bidra med den videre utviklingen av programmet (Strathclyde, 2010).

”ESP-r er et modelleringsverktøy for simulering av termiske, visuelle og akustiske problemstillinger i bygninger. Programmet kan også simulere energiforbruk og forurensningsgrad forbundet med ulike systemer for kontroll av inneklima i en bygning med avgassing fra bygningsmaterialer. Resultatet er en modell av varmetransport, luftstrømmer, fukttransport og behov for elektrisitet i en brukerdefinert oppløsning.” (ESP-r, 2010)

Klima

For simuleringene benyttes en klimafil med data fra Østersund. Den er hentet fra US Department of Energy (U.S., 2011) og er ifølge Børset (Børset, 2009) den mest egnede klimafil tilgjengelig. Se Børsets mastergrad for videre vurdering av klimafilens egnethet.

Generelt om U-verdier på konstruksjoner i ESP-r

ESP-r modellerer med homogene bygningselementer. Derfor har det vært nødvendig å regne ut U-verdien for komplekse bygningskomponenter av bindingsverk for hånd og benytte dette for å simulere veggen som en "legering" av ulike materialer. Metoden som er benyttet er i henhold til NS-EN ISO 6946 (Karlsson, 1998), og har vist seg å gi korrekte U-verdier i ESP-r.

5.2 Første vurdering. Oppbygging av en realistisk modell i ESP-r og innledende arbeider for optimalisering.

5.2.1 Innledende

Gjennom en rekke simuleringer vil veien fra den tidligere modellen til en mer realistisk og optimalisert modell bli utforsket. Den første simuleringen tar for seg en modell som i størst mulig grad tilsvarende den Børset benytter. Deretter endres en side ved modellen for hver ny simulering samtidig som tidligere endringer beholdes. Evalueringen skjer gjennom å vurdere energibehovet til oppvarming av indre sone, og differansen til forrige simulering. Resultatet presenteres i Tabell 16. Gjennomsnittstemperaturen i ytre sone vil også bli sammenlignet og presentert.

Meningen med denne trinnvise endringen er å identifisere hvor den største økningen i energiforbruket skjer. Fordi enkelte endringer påvirker hverandre vil ikke denne tilnærmingen gi en 100 % korrekt vurdering av effekten for hver endring. Dette gjelder spesielt for ventilasjonen. Likevel antas tilnærmingen som mer enn god nok da hensikten kun er å identifisere viktige innsatsområder. Resultatet vil også danne et første grunnlag for å vurdere hvor realistiske tidligere simuleringer har vært.

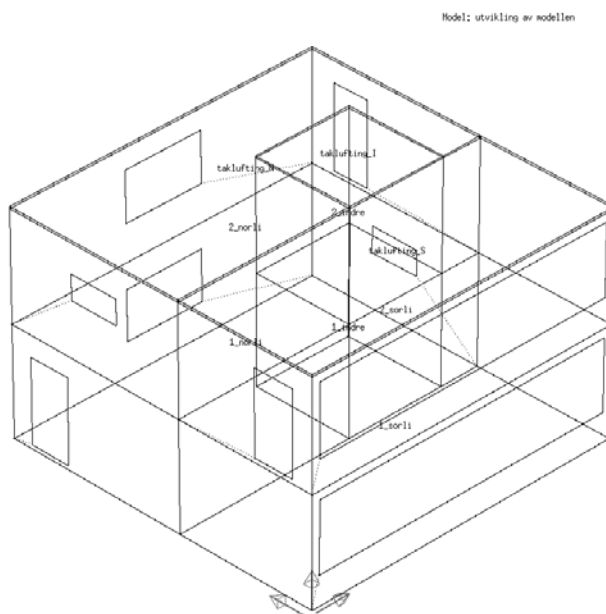
5.2.2 Om modellen.

De fysiske egenskapene som danner grunnlaget for den nye modellen er beskrevet i kapittel 4, men noen sider ved simuleringene må presiseres spesielt. Oppbygging av ventilasjon og infiltrasjon i ESP-r for denne simuleringen er beskrevet i eget avsnitt lenger ned.

- Dør til indre sone antas å ha tilstrekkelig lik U-verdi som veggen, neglisjerbar lekkasje og liten kuldebroverdi. Derfor modelleres den ikke.
- Det simuleres uten ventilasjon i indre sone.
- Det simuleres med termisk lette golv som beskrevet i kapittel 4.3.
- For hvert tiltak som reduserer temperaturen i ytre sone reduseres også minimum infiltrasjon. Dette kommer trolig av reduserte oppdriftskrefter som følger av redusert temperaturforskjell mellom ytre sone og utendørs forhold. Det er denne "pipeeffekten" som sikrer minimum ventilasjon i perioder med lite vind. Det er for mye arbeid å justere ventilasjonsmengden for hver simulering. Derfor utsettes den endelige justeringen til slutt.

Dette gir ikke en helt korrekt fremstilling av effekten fra de ulike tiltakene, men det antas at tilnærmingen er god nok.

Figur 25 viser hvordan modellen ser ut i brukertverrsnittet til ESP_r.

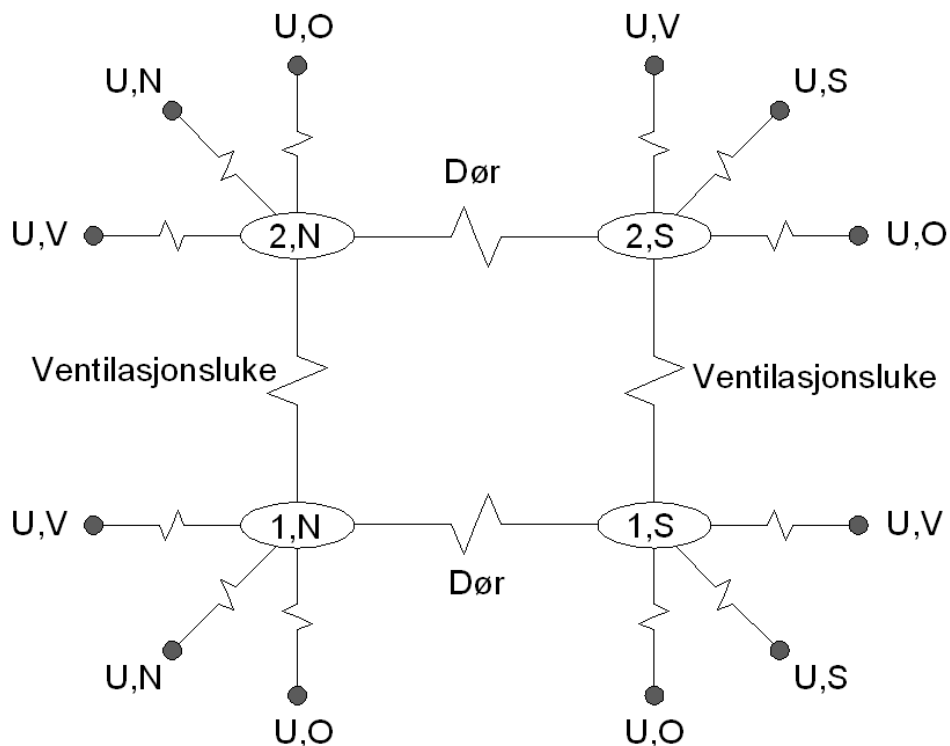


Figur 25: Skjermdump fra ESP-r

Ventilasjon og infiltrasjon

Ytre sone

Ventilasjonen og infiltrasjonen i ytre sone simuleres gjennom et fluidnettverk med utvendige og innvendige noder. Mellom nodene bygges det opp et nettverk med ulike komponenter som simulerer infiltrasjonssprekker, åpninger og ventiler. I henhold til anbefalingen i "The ESP-r Cookbook" (Hand, 2010) antas det at infiltrasjonen kan simuleres som en del av den naturlige ventilasjonen og utelates derfor helt fra simuleringen. En prinsippsskisse av fluidnettverket er vist i Figur 26. Som vist i figuren simuleres det med en dør mellom de to ytre sonene i hver etasje, og ventilasjonsluker mellom etasjene.



Figur 26: Prinsippskisse infiltrasjon ytre sone

U = utvendig
 N = nord
 V = vest
 S = sør
 O = øst
 1 = innvendig første etasje,
 2 = innvendig andre etasje

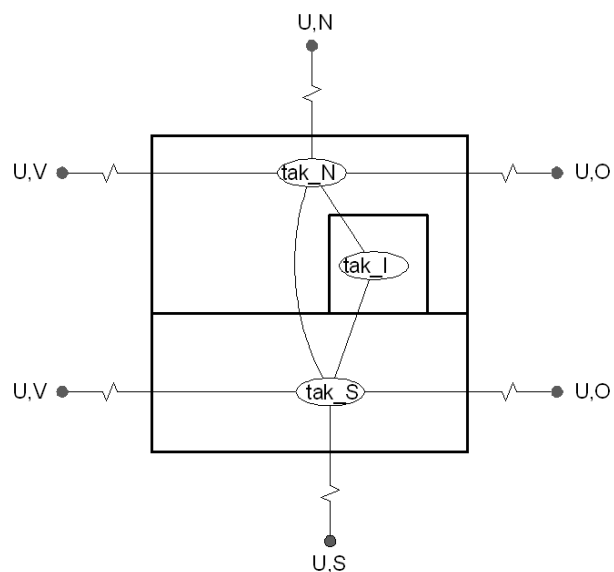
For å vurdere luftskiftet i bygningen benyttes en funksjon i "ESP-r Result Analysis" som kalles "total from ambient". Denne forteller hvor mye luft som trenger inn i bygningen utenifra. For å sikre at ventilasjonen når alle sonene, kontrolleres det at luftstrømningen mellom sonene er på et akseptabelt minimum. Infiltrasjonsmengden justeres som beskrevet i kapittel 4.6.2 gjennom å endre dimensjonene på ventilene mellom indre noder og noder i ytterveggene. I Tabell 15 vises en oversikt over, og dimensjonen til komponentene i fluidnettverket.

Komponent i virkeligheten	Navn i ESP-r	Dimensjon	Reguleringsprinsipp
Dør mellom sørlig og nordlig sone.	Specific air flow door	2x1m	Kompleks, ikke oppgitt.
Ventil mellom indre noder og noder utendørs.	Specific air flow opening	0,0129m ²	Lineært $Q = a \times dP$
Ventil mellom første og andre etasje	Specific air flow opening	0,25m ²	Lineært $Q = a \times dP$

Tabell 15: Komponenter for fluidnettverk

Luftingen av taket

I ESP-r simuleres et kaldt, luftet tak på samme måte som infiltrasjon i resten av bygningen, gjennom et fluidnettverk. Dette er gjort gjennom å konstruere tre 48mm høye soner, en over hver underliggende sone, med tak som tilsvarende taktekkning og vegger som tilsvarende vanlig panel. Deretter ble det konstruert et fluidnettverk som vist i Figur 27. Mellom hver node plasseres en komponent kalt "specific air flow crack" med høyde på 12mm og lengde som tilsvarende perimeteren mellom de to nodene.



Figur 27: Infiltrasjon i tak

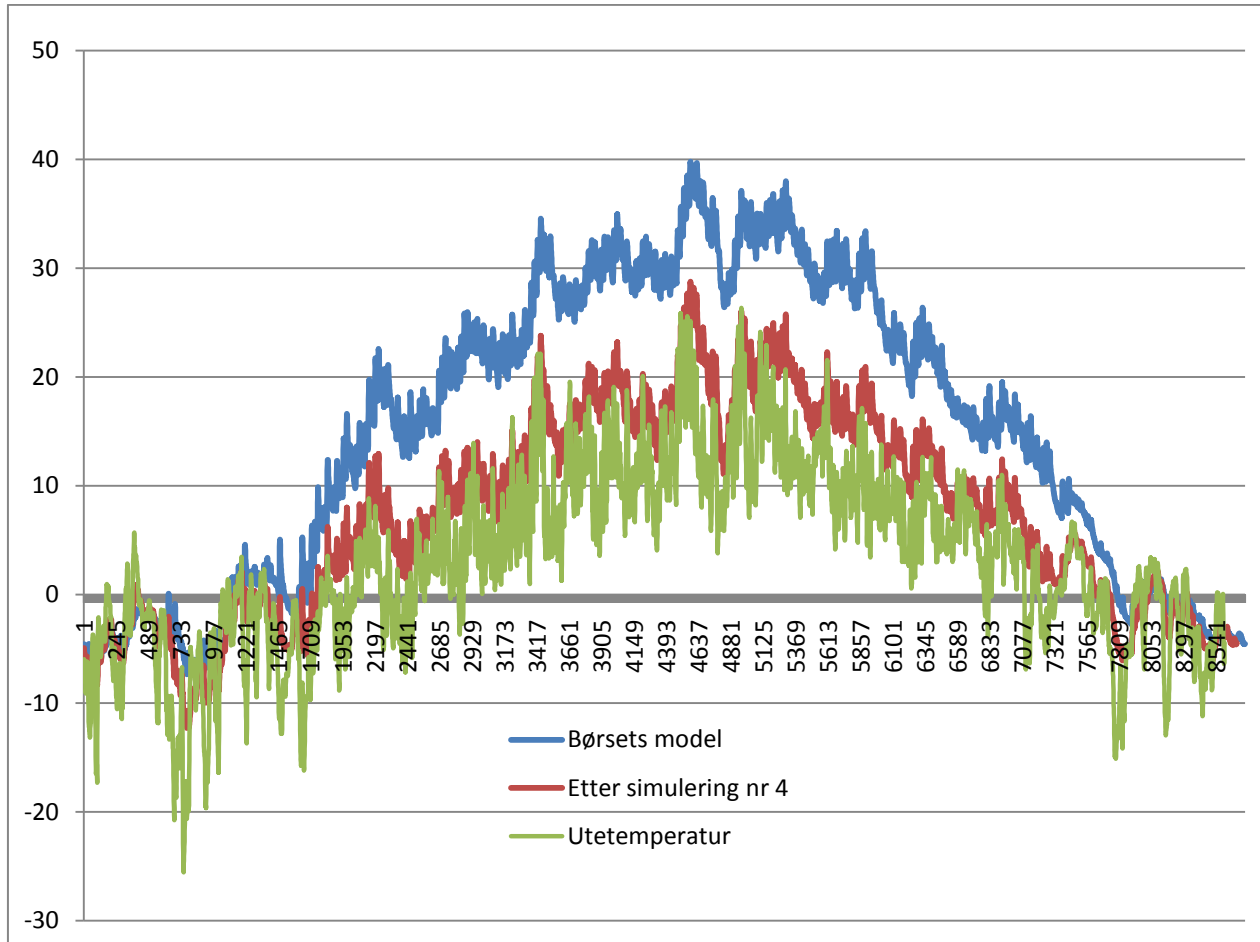
5.2.4 Resultater

Resultatene fra de ulike simuleringene er presentert i Tabell 16. For hver ny simulering endres ett aspekt ved bygningen, det nye energiforbruket finnes gjennom simulering, og differansen til energiforbruket fra forrige simulering regnes ut.

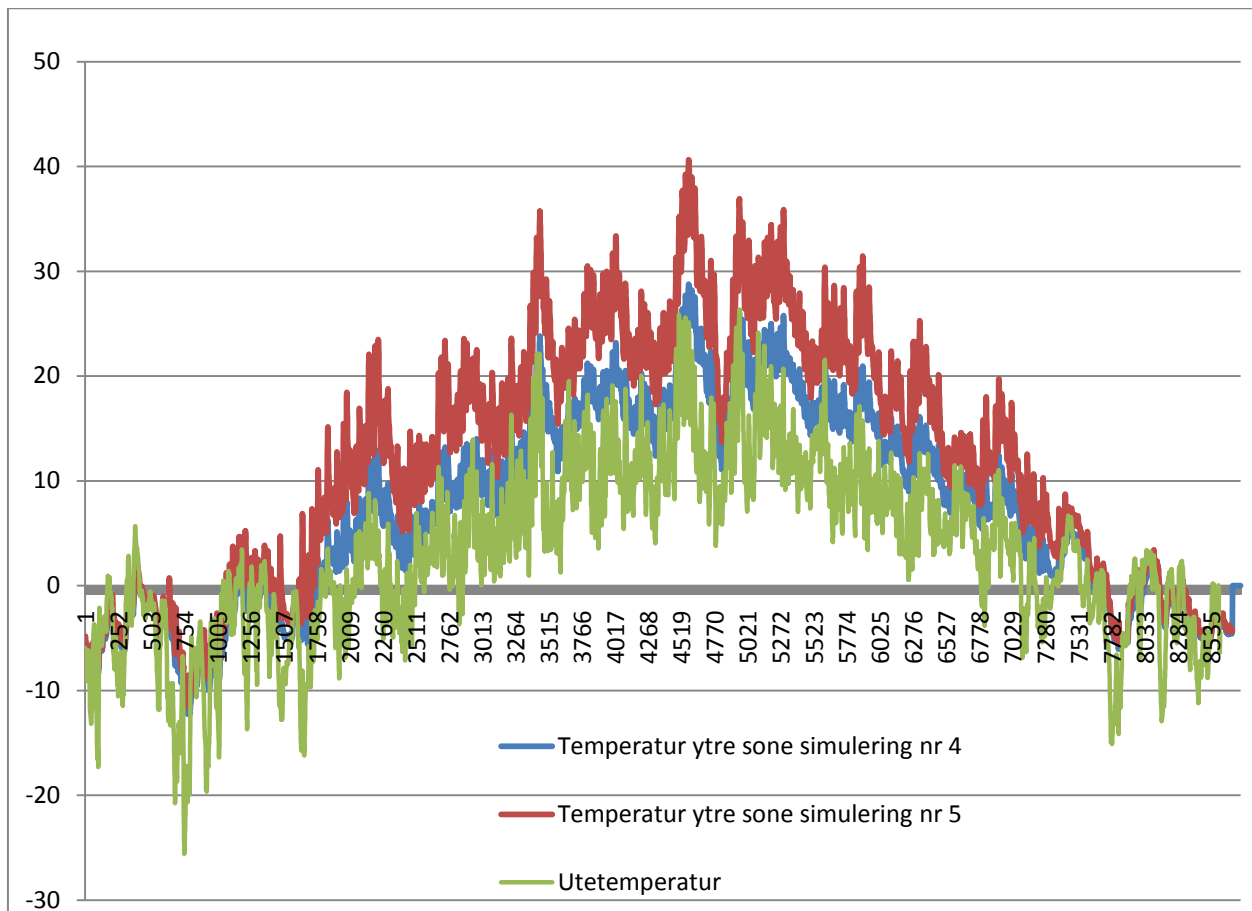
Nr	Beskrivelse av modell og endring:	Energiforbruk til frostsikring [kWh]	Differanse til forrige simulering [kWh]
1.	Børsets modell som beskrevet i hans mastergrad (Børset, 2009).	45	
2.	Ny geometri som beskrevet i kapittel 4,5.	43	-2
3.	Ny ventilasjon på $0,29 \text{ h}^{-1}$ som beskrevet i kapittel 4,6,2.	65	22
4.	Oppvarming av indre sone til 5°C for frostsikring mot 0°C tidligere.	163	98
5.	Legger til nytt vindu mot sør i første etasje sørlig sone. Endrer lysgjennomgangsegenskapene for begge vinduene til slik det er beskrevet i kapittel 4,2,5.	133	-30
6.	Setter inn skillevegg av bindingsverk i stedet for glass som beskrevet i kapittel 4,2,11.	141	8
7.	Setter inn vinduer og dører i nord-, vest- og østveggen slik det er beskrevet i kapittel 4,5.	143	2
8.	Nytt tak, gulv og etasjeskiller i ytre sone som beskrevet i kapittel 4,2. Gulv som for hytte på påler med ”termisk lett” gulv og etasjeskiller som beskrevet i kapittel 4,2 og 4,3.	150	7
9.	Yttervegger i 36x198 bindingsverk. U-verdi: $0,220 \text{ W/m}^2\text{K}$	153	3
10.	Yttervegger i laft. U-verdi: $0,912 \text{ W/m}^2\text{K}$	165	12
11.	Nye vegger, tak og gulv i indre sone som beskrevet i kapittel 4,2.	229	64
12.	Ny korrigerert naturlig ventilasjon på $0,29\text{h}^{-1}$.	234	5

Tabell 16: Utvikling av ny modell

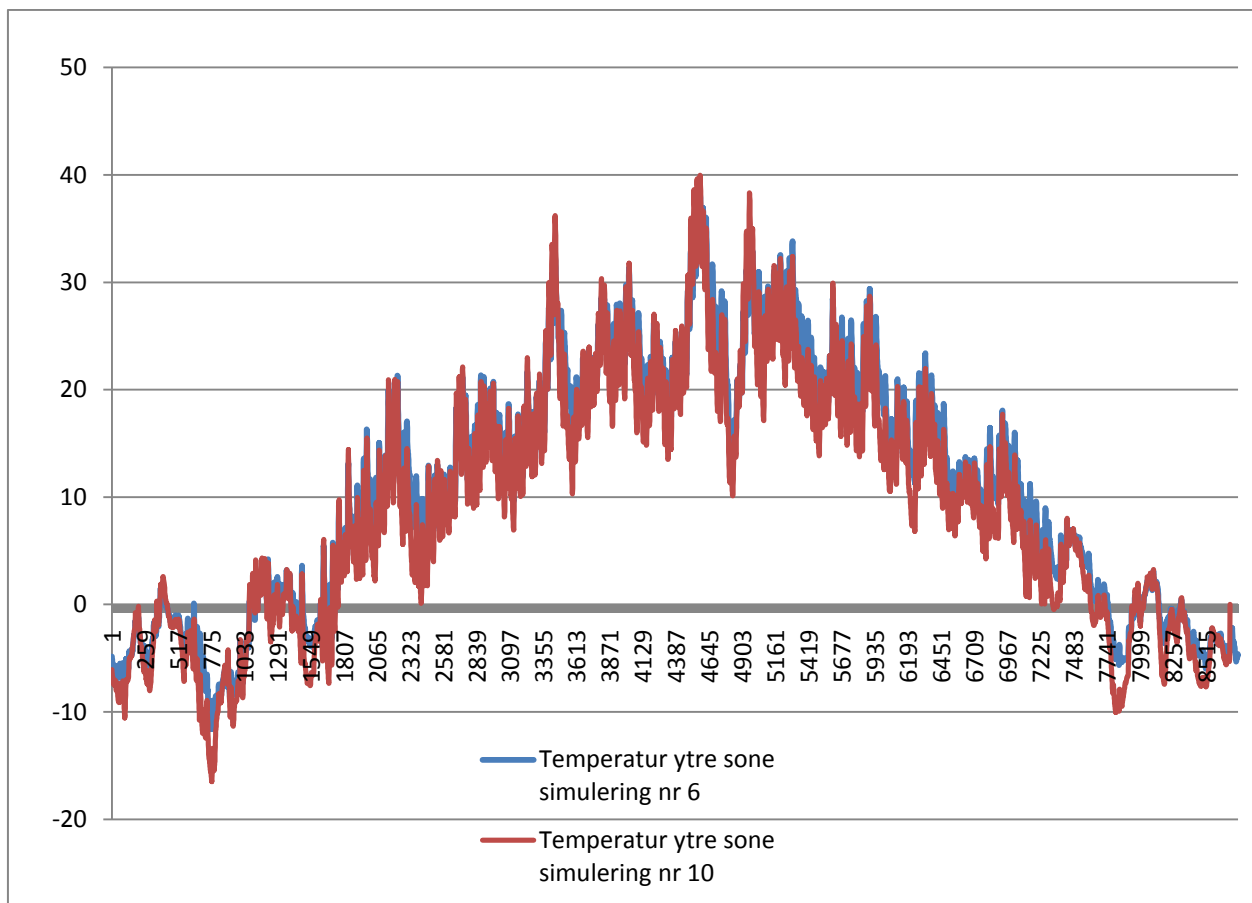
Effekten på gjennomsnittstemperaturen i ytre sone er studert i Figur 28, Figur 29 og Figur 30.



Figur 28: Temperatur i ytre sone for simulering nr 1 og 4 og temperaturen utendørs.



Figur 29: Temperatur i ytre sone for simulering nr 4 og 5 og temperaturen utendørs.



Figur 30: Temperatur i ytre sone for simulering nr 6 og 10.

5.2.4 Diskusjon av resultater

Hva gir størst effekt?

Som det kan leses fra Tabell 16 er det fire endringer i modellen som gir drastiske økninger eller reduksjoner i oppvarmingsbehovet til indre sone.

- Økt oppvarming til 5 °C
- Reduksjon av varmeresistansen til vegger mot indre sone.
- Nytt vindu mot sør i første etasje.
- Økt ventilasjon i ytre sone.

Temperaturen i ytre sone:

Temperaturen i ytre sone er viktig fordi varmetapet fra indre sone til ytre sone er direkte proporsjonalt med temperaturforskjellen sonene i mellom. Økt temperatur i ytre sone vil også

påvirke inneklimaet gjennom større uttørkningspotensial om vinteren og større fare for heksesot i perioder med hurtige temperaturvariasjoner.

Ventilasjonen i ytre sone dimensjoneres etter perioden med minst naturlig ventilasjon. Denne perioden karakteriseres av flere dager med lite vind og liten temperaturredifferanse mellom ytre sone og omgivelsene. Gjennom resten av året vil ventilasjonen være større enn nødvendig, og føre til unødig varmetap. Dersom temperaturen i ytre sone økes, sikrer dette større temperaturredifferanse i perioder med lite vind, og dermed mer ventilasjon som følge av oppdriftskrefter. Dermed kan ventilasjonsåpningene dimensjoneres mindre, noe som igjen gir høyere temperatur i ytre sone.

Som Figur 28 og Figur 29 viser fører økt ventilasjon til en vesentlig redusert temperatur i ytre sone mens økt vindusareal mot sør fører til økt temperatur i ytre sone. Temperaturredifferansen mellom de ulike simuleringene er i lange perioder ikke større enn en grad, men siden temperaturredifferansen mellom indre sone og ytre sone heller ikke er stor blir den relative endringen i energiforbruk vesentlig.

Figur 30 viser differansen mellom simulering nr 6 og simulering nr 10. Forskjellen mellom disse to simuleringene er en vesentlig reduksjon av varmeresistansen i yttervegger, tak og gulv i ytre sone. Som figuren viser fører dette stort sett kun til marginale endringer i temperaturen i ytre sone. Ett unntak er perioden mellom time 7800 og 8600 hvor temperaturen er vesentlig lavere for simulering nummer 10. Dette er også perioden hvor ventilasjonen er på sitt aller laveste, og denne temperaturreduksjonen fører til behov for å dimensjonere ventilasjonslukene større.

Effekten av mer isolasjon i ytterveggene har en lineær sammenheng med temperaturredifferansen mellom ytre sone og temperaturen utendørs. Som det vises i Figur 29 er denne differansen allerede liten ved simulering nr 5 og dette kan forklare den marginale effekten av redusert isolasjon i simulering nr 10.

Sammenligning med tidligere simuleringer

Det er for tidlig å vurdere hvorvidt de endelige resultatene fra tidligere arbeider er realistiske eller ikke. En rekke av endringene i simuleringene over handler om å redusere egenskapene til bygningselementer i forhold til tidligere modeller. Selv om konstruksjonsmåten i tidligere arbeider inneholder feil, betyr det ikke at det er umulig å bygge med tilsvarende ytelse, bare uhensiktsmessig.

To av endringene i den nye modellen skiller seg ut ved å være helt nødvendige for en realistisk simulering. Oppvarming til 5°C og inkorporering av ventilasjon i ytre sone er helt nødvendig for at simuleringen skal reflektere virkelige forhold. Disse to tiltakene fører til over en tredobling av energiforbruket til indre sone. Dermed må det kunne sies at forenklinger i tidligere simuleringer, gjennom å utelate dette, potensielt kan ha ført til grove feil i konklusjonene.

5.2.5 Forslag til og vurdering av mulige tiltak:

Strategi for frostsikring

Å varme opp indre sone til mindre en 5°C anses som uaktuelt da dette gir alt for liten margin mot frost. Dersom det benyttes løsninger med solvarme eller grunnkobling, som beskrevet i arbeidene til Børset og Amble, vil en ekstra kald vinter, lokalt klima som er hardere enn i Østersund, en liten bygningsskade eller konstruksjonsfeil med en gang føre til frost. For en fritidsbolig med elektrisk oppvarming vil i prinsippet selv korte strømbrudd eller små temperaturvariasjoner føre til fare for frostsprengning. Konsekvensen for hytteeier kan bli store vannskader og potensielt enorme kostnader.

Øke vindusarealet mot sør

Å øke vindusarealet mot sør anses som lite realistisk. Det er behov for areal i fasaden til bjelker eller søyler og dette er trolig ikke kompatibelt med større vindusareal uten å benytte uvanlige og til dels ekstreme konstruksjonsløsninger. Det er mulig å endre geometrien til bygget. Dette vil føre til mer solinnstråling men også større overflateareal. Optimalt forhold mellom overflateareal og solinnstråling innebærer trolig en annen utforming enn modellen benyttet her, men dette anses som for omfattende å studere i denne omgang.

Øke temperaturen i ytre sone

Det foreslås å innføre tiltak som øker temperaturen i ytre sone. Dette vil gi et vesentlig bidrag til reduksjon av varmetap fra indre sone, samt mulighet for reduksjon av dimensjonene på ventilasjonslukene. Mulige tiltak er:

- Automatiske ventiler som vist i Figur 19 kan trolig redusere den unødig store ventilasjonen i perioder med mye vind. Dette vil føre til redusert varmetap og økt temperatur.
- Økt termisk masse vil gi bedre utnyttelse av solenergi og jevnere temperaturer. Tidligere simuleringer av Bratteberg (Bratteberg, 2010) tyder på at dette også kan gi lavere oppvarmingsbehov til indre sone. Det vil trolig også bidra til en vesentlig reduksjon av ventilasjonsbehovet i perioder med lite vind. For at termisk masse skal ha en effekt, må den være "tilgjengelig". Det innebærer at temperaturendring i rommet må føre til temperaturendring gjennom store deler av den termiske massen. Termisk masse som ikke endrer temperatur, bidrar ikke til temperaturregulering av rommet. I sin prosjektoppgave viser Amble en teoretisk metode for å regne ut temperaturvariasjonens inntrengingsdybde i et material (Amble, 2008). Her benyttes en annen tilnærming gjennom seks simuleringer:
 - i. Fem simuleringer med termisk masse i gulvet som beskrevet i kapittel 4,3.
 - ii. En simulering med vegg av massivtre men med samme U-verdi som for bindingsverk.

- Redusert U-verdi i ytterveggene, gulvet og taket vil bare hjelpe dersom temperaturen i ytre sone økes gjennom andre tiltak først. Derfor utforskes dette tiltaket helt til slutt.
 - i. Det gjennomføres en simulering hvor U-verdien i ytterveggen reduseres til $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ mens resten holdes konstant.

Bedre isolert indre sone

Det foreslås å redusere U-verdien i alle konstruksjonene inn mot indre sone.

- Tykkelsen på påføringen i tak og gulv i indre sone økes til 200mm. Dette innebærer at takhøyden i indre sone andre etasje reduseres til 2,2 m. De nye U-verdiene blir $0,099 \text{ W/m}^2\text{K}$ for taket og $0,097 \text{ W/m}^2\text{K}$ for gulvet.
- Effekten av isolasjonsmengden i veggene utforskes gjennom to simuleringer:
 - i. Isolasjonen i veggene økes til 400mm. Dette innebærer et tap av gulvareal på cirka 1m^2 i hver etasje. Et tap av indre areal på 2m^2 representerer 1,5 % av boligens totale bra, noe som anses som akseptabelt og et bedre tiltak enn å fokusere på å isolere ytterveggene. Den nye U-verdien i veggen mot indre sone blir: $0,106 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - ii. Isolasjonen i veggene økes til 500mm. Dette innebærer et tap av gulvareal på cirka 2m^2 i hver etasje. Et tap av indre areal på 4m^2 representerer 3 % av boligens totale bra, noe som anses som mye. Likevel anses dette som et bedre tiltak enn å fokusere på å isolere ytterveggene. Den nye U-verdien i veggen mot indre sone blir: $0,086 \text{ W/m}^2\text{K}$

5.3 Optimalisering av modell i ESP-r

5.3.1 Innledende

I forrige kapittel førte innledende simuleringer til et forslag om fire tiltak for å optimalisere modellen. Disse tiltakene vil her bli utforsket gjennom tre parameterstudier som bygger på hverandre. Problemstillingen er kompleks fordi de ulike tiltakene påvirker hverandre. Likevel antas det at resultatet danner grunnlag for en tilstrekkelig optimalisering.

Målet er ikke å designe en modell som er absolutt optimalisert, men å komme nærmere nok en optimalisert modell til å kunne vise potensialet og begrensningene for konseptet samt danne et realistisk grunnlag for vurdering av ventilasjonens funksjon og betydning for energiforbruket i fritidsboligen. Det vil alltid være mulig å benytte bygningskomponenter med mer ekstreme egenskaper, men dette avhenger av veldig mange vurderinger, ikke minst subjektive og estetiske. Selv om veien til valgte bygningskomponenter og utforming i dette arbeidet bygger på løsninger

fra Byggforsk og TEK 10 understrekes det at de endelige valg er resultat av forfatterens subjektive vurdering av hva som er hensiktsmessig og troverdig som en reell løsning.

Til slutt gjennomføres to simuleringer som inkorporerer det som anses som den optimale kombinasjonen av parameterne simulert tidligere for en termisk lett og en termisk tung bygning. Behovet for solskjerming vil bli vurdert og inkorporert i modellene. Disse to modellene danner grunnlaget for videre vurderinger av ventilasjon i indre og ytre sone.

I dette kapittelet anses det som mest hensiktsmessig å vurdere de ulike simuleringene på energiforbruk til indre sone og temperatur i ytre sone i perioder med behov for frostsikring.

5.3.2 Parameterstudie av endret ventilasjon, termisk masse og U-verdier i yttervegger.

Grunnmodell for parameterstudiene 1 og 2

For disse parameterstudiene benyttes en ”grunnmodell 1”, og for hver ny simulering er det kun en egenskap som skiller seg fra denne modellen. Oppbygning av grunnmodellen beskrives under:

- Gulv i ytre sone blir som gulv for hytte på påler beskrevet i kapittel 4.2.2, og som for ”termisk lett gulv” beskrevet i kapittel 4.3.
- Yttervegger i ytre sone blir som for vegger i bindingsverk beskrevet i kapittel 4.2.3.
- Tak i ytre sone blir som beskrevet i kapittel 4.2.4.
- Etasjeskilleren bygges opp som beskrevet i kapittel 4.2.10 og som for ”termisk lett gulv” beskrevet i kapittel 4.3.
- Skilleveggen mellom nordre og søndre sone bygges i bindingsverk som beskrevet i kapittel 4.2.11.
- Indre sone bygges opp som beskrevet i kapittel 4.2.6, 4.2.7 og 4.2.8.
- Indre sone varmes opp til 5°C.
- Ventilasjonen av ytre sone sikres gjennom et fluidnettverk som beskrevet i kapittel 5.2.2. Eneste endring er at ventilen mellom indre noder og noder utendørs vil ha nytt areal på 0,0119 m². For hver ny parametervariasjon vil ventilasjonen endre seg som følge av endret temperatur i ytre sone. Dette vil ikke bli justert for hver simulering da det krever mye arbeid og ikke anses som nødvendig for å oppnå tilstrekkelig presisjon.

1. Parameter: Automatisk justert ventilasjon

Ventilasjonen simuleres med selvregulerende ventiler som beskrevet i kapittel 4.6.4 og Figur 19.

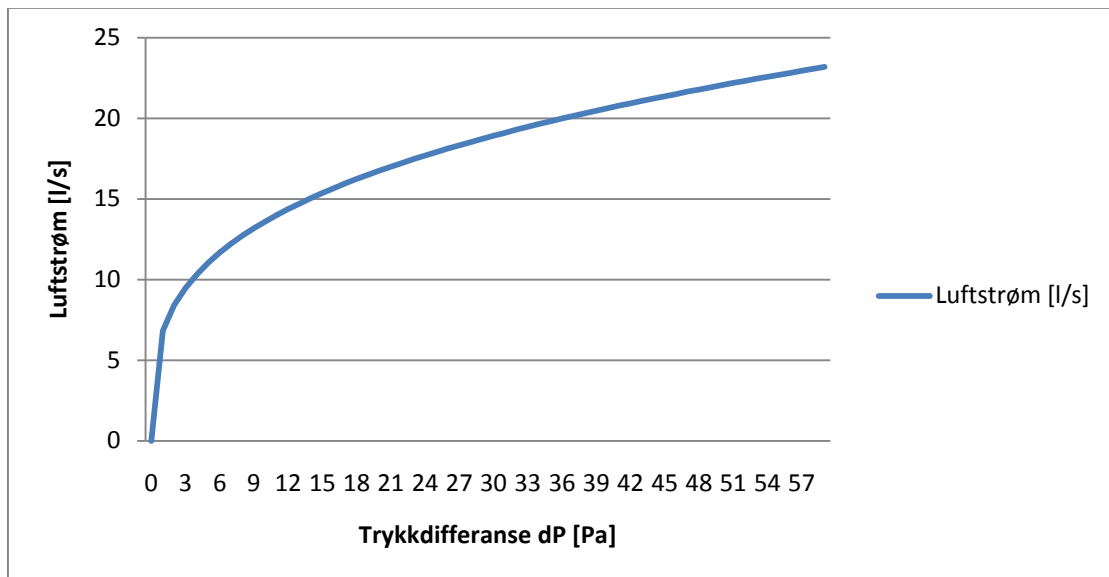
Det ble gjort forsøk med en ventilasjonskomponent i ESP-r kalt ”Self Regulating vent” men med svært lite hell. Trolig er denne komponenten beregnet for situasjoner med større trykkfall som i mekanisk ventilasjon. Derfor ble det i stedet benyttet en funksjon som kalles ”Power law volume flow”. Denne funksjonen baserer seg på ligning 5.3.2.

Konstanten "b" ble satt til 0,3 fordi dette gir en profil som er tilnærmet ønsket profil på ventilene. Konstanten "a" ble funnet gjennom en liten iterasjonsstudie i ESP-r hvor eneste krav var å tilfredsstille minimumsventilasjonen.

(5.3.2)

$$Q = \text{luftstrøm [m}^3\text{]}$$
$$dP = \text{Trykkfall [Pa]}$$
$$a = 0,00682 \text{ m}^3\text{/s/Pa}$$
$$b = 0,3$$

Luftstrømmen gjennom hver ventil som en funksjon av trykkfallet er vist i Figur 31.



Figur 31: Karakteristikk for veggventiler.

Det understrekes at dette er en tenkt ventilkarakteristikk. Det har blitt gjort et kort søk etter en virkelig ventil som ville vært egnet, men ingen er funnet med god nok dokumentasjon for å kunne benyttes.

2. Parameter: Variasjon av termisk masse

I seks simuleringer er effekten av ulike termiske masse i ytre sone studert.

- a. Termisk middels lett gulv består av:
 - 22mm sponplater.
 - 12,5mm gulvsponplater.
 - 10mm tykke fliser
- b. Termisk middels tungt gulv består av:
 - 22mm sponplater

- 50mm armert betong
- 8mm fliser
- c. Termisk tungt gulv består av:
 - 22mm sponplater
 - 100mm jordgulv
- d. Termisk veldig tungt gulv består av:
 - 22mm sponplater
 - 150mm jordgulv
- e. En simulering med termisk lett gulv, men vegger i massivtre som beskrevet i kapittel 4.2.

3. *Parametervariasjon: Variasjon av isolasjon i yttervegger*

Det velges så en optimalisert og rimelig kombinasjon av tiltakene fra parameterstudiene 1 og 2 basert på ytelse og egnethet. Dette simuleres i en ny ”grunnmodell 2” som benyttes for parameterstudier hvor isolasjonen til ytterveggene varieres.

- a. Grunnmodell 2 med U-verdi i ytterveggene lik $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$
- b. U-verdi i ytterveggene lik $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

4. *Parametervariasjon: Variasjon av isolasjon mot indre sone*

Det tas et valg på hvilke egenskaper fra simuleringene over som benyttes videre. Deretter gjennomføres en simulering med disse egenskapene som kalles ”grunnmodell 3”. Denne simuleringen sammenlignes så med to simuleringer hvor U-verdien i tak og vegger mot indre sone reduseres:

- a. Isolasjon i tak og gulv i indre sone som beskrevet i kapittel 5.2.5 kombinert med 400mm isolasjon i vegger mot indre sone.
- b. Isolasjon i tak og gulv i indre sone som beskrevet i kapittel 5.2.5 kombinert med 500mm isolasjon i vegger mot indre sone.

5.3.3 Resultater og valg underveis

Parameterstudier 1 og 2

Resultatene fra parameterstudiene 1 og 2 er vist i Tabell 17. Gjennomsnittstemperaturen i ”ytre sone vinter” er hentet fra perioden mellom september og april, nærmere bestemt time nummer 6700 på høsten og time nummer 2900 på våren. Gjennomsnittstemperaturen ”ytre sone kritisk” er hentet fra den perioden av året med minst ventilasjon. Dette er årets 40 siste dager.

Simulering Nr.	Beskrivelse	Energi forbruk indre sone [kWh]	Gjennomsnittstemperatur ytre sone vinter [°C]	Gjennomsnittstemperatur ytre sone kritisk [°C]
0	Grunnmodell 1	221,1	1,44	-3,05
1	Auto. reg ventilasjon	207,5	2,73	-2,94
2a	Termisk middels lett gulv	220,5	1,47	-3,02
2b	Termisk middels tungt gulv	218,5	1,52	-2,97
2c	Termisk tungt gulv	215,1	1,61	-2,79
2d	Termisk veldig tungt gulv	213,9	1,64	-2,66
2e	Vegger i massivtre	215,9	1,57	-2,88

Tabell 17: Resultater første parameterstudie.

Variasjon av isolasjon i yttervegger

Som det kan leses av tabellen over oppnås kun moderate reduksjoner i energiforbruket til indre sone. Noe av årsaken til dette er at ventilasjonen ikke korrigeres for hver simulering. Fordi det her er snakk om en optimalisering, og løsningene med veldig tungt jordgulv, vegger av massivtre og automatisk regulerbare ventiler innebærer en forbedring, velges disse løsningene for grunnmodell 2. Dette gir en ny parameterstudie gjengitt i Tabell 18 hvor kun U-verdien i ytterveggene endres. Den reduserte U-verdien i ytterveggene av massivtre oppnås gjennom å simulere med tykkere trefiberplater på utsiden.

Simulering Nr.	Beskrivelse	Energiforbruk indre sone [kWh]	Gjennomsnittstemperatur ytre sone vinter [°C]
3a	Grunnmodell 2.	197,8	3,17
3b	U-verdi lik 0,18 W/m ² K	195,1	3,35

Tabell 18: Resultater for variasjon av U-verdi i yttervegger

Endring av U-verdier mot indre sone

Som det vises av Tabell 18 er det kun marginale forbedringer forbundet med reduksjon av U-verdien i ytterveggene. Det antas at tilsvarende gjelder for U-verdien i taket og gulvet i ytre sone siden dette bidrar på samme vis. Siden arbeidet handler om optimalisering innenfor rimelighetens grenser velges det likevel å videreføre simuleringene med en U-verdi på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ i ytterveggene. På den måten danner simulering 3b grunnlaget for ”grunnmodell 3”. Dette innebærer automatisk regulert ventilasjon, veldig tunge golv, yttervegger av massivtre og U-verdi i yttervegger lik $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Parameterne som endres er isolasjonsmengden inn mot indre sone. I begge variantene reduseres U-verdien i tak og gulv i indre sone til $0,099$ og $0,097 \text{ W/m}^2\text{K}$. U-verdien i veggene varieres mellom hver simulering. Resultatet er vist i Tabell 19.

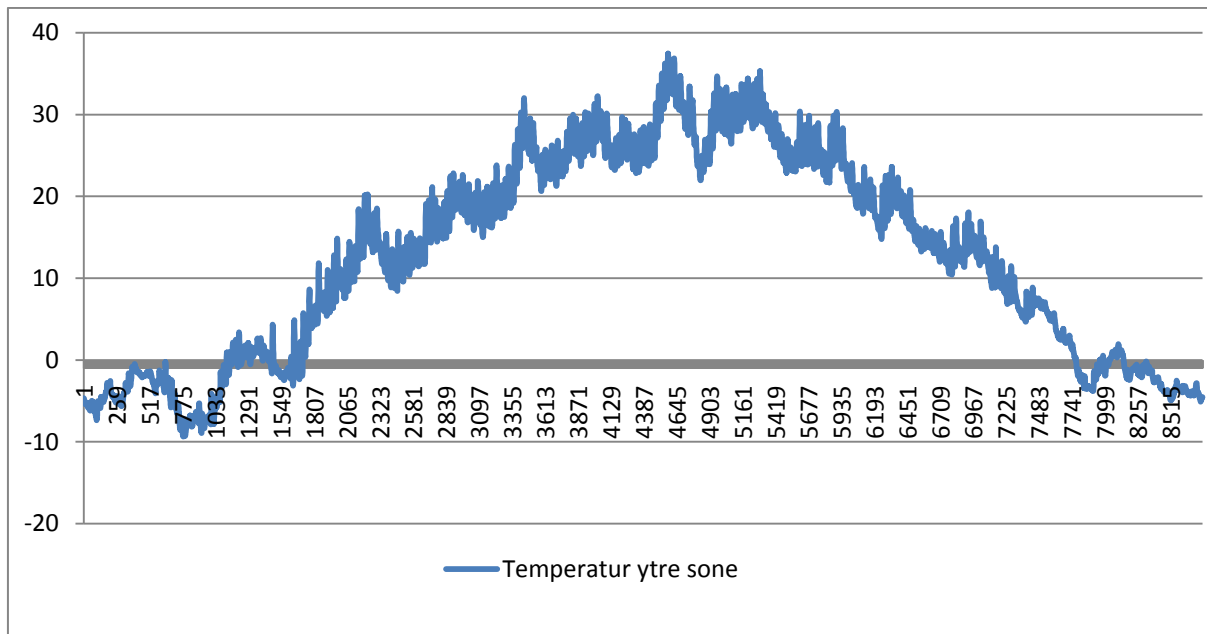
Simuleringe Nr	Beskrivelse	Energiforbruk indre sone [kWh]	Gjennomsnittstemperatur ytre sone vinter [$^{\circ}\text{C}$]
3b	Grunnmodell for sammenligning. Tilsvarende simulering 3b	195,1	3,35
4a	400mm isolasjon, U-verdi: $0,106 \text{ W/m}^2\text{K}$	157,3	3,32
4b	500mm isolasjon, U-verdi: $0,086 \text{ W/m}^2\text{K}$	139,5	3,30

Tabell 19: Parameterstudie 2: endring av U-verdi mot indre sone.

5.3.4 Solskjerming og modeller for videre arbeid

Optimalisert tung

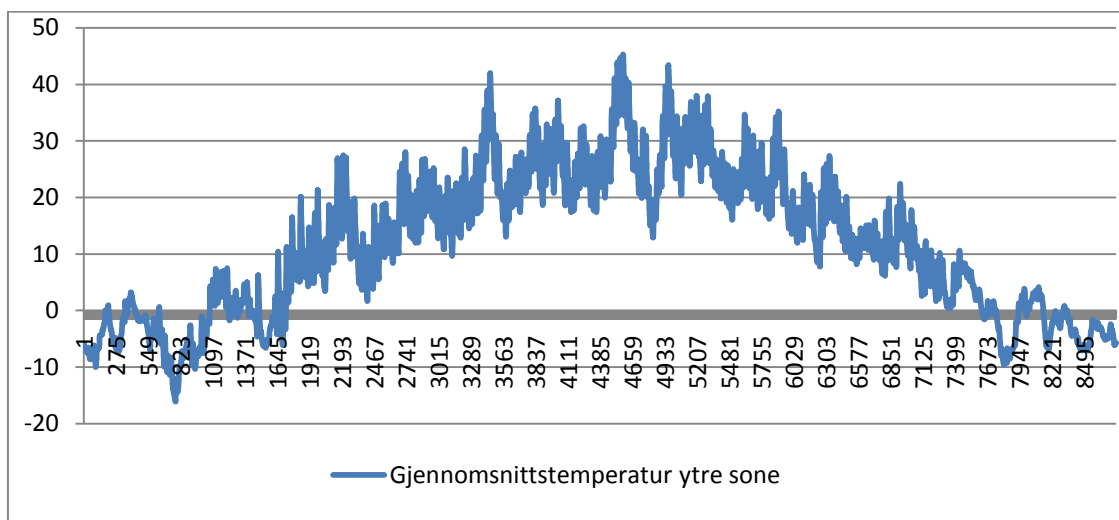
Gjennomsnittstemperaturen i ytre sone for simulering 4b er vist i Figur 32. Som figuren viser er det bare en kort periode om sommeren hvor temperaturen kommer over 30°C . For denne bygningsmodellen antas det derfor som unødvendig med solskjerming. Modellen som benyttes i simulering 4b kalles heretter ”*Optimalisert tung*”, og vil bli benyttet i videre arbeid.



Figur 32: Temperatur i ytre sone for simulering 4b.

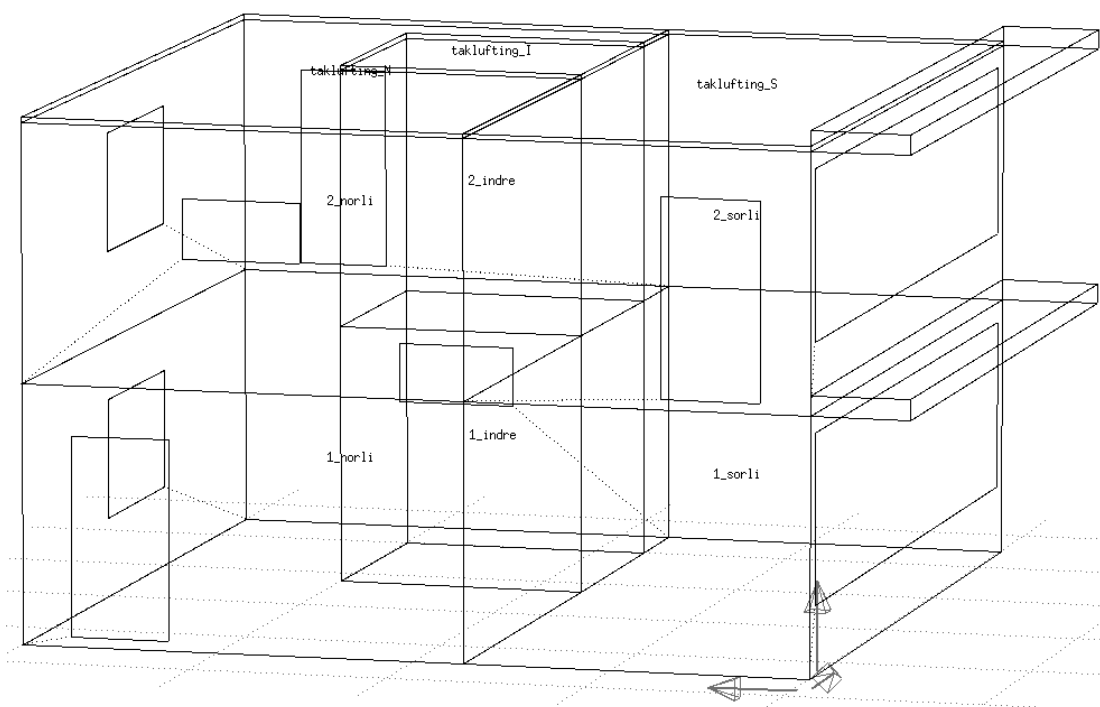
Optimalisert lett

Gjennomsnittstemperaturen i ytre sone for simulering 1 "automatisk regulert ventilasjon" er vist i Figur 33. Som figuren viser kommer temperaturen opp i godt over 40 grader om sommeren og det er behov for solskjerming for å unngå heksesot eller andre skader på panel eller inventar. Dette simuleres gjennom å benytte "solar obstructions" i ESP-r.

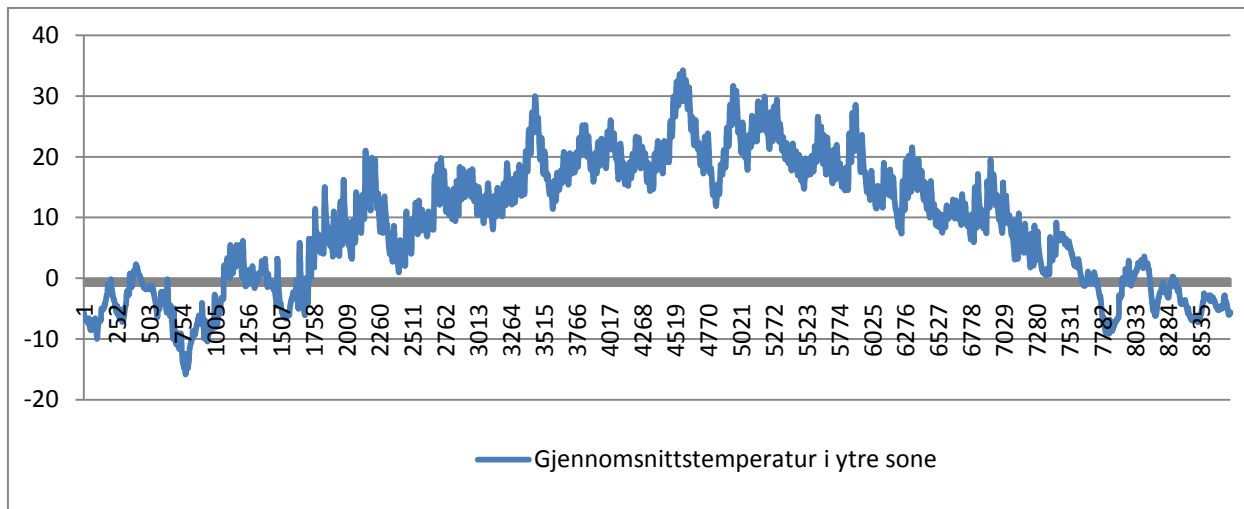


Figur 33: Gjennomsnittstemperatur i ytre sone for simulering 1.

Det konstrueres en ny modell som skal "representere" en optimalisert termisk lett bygning med nødvendig solskjerming i det videre arbeidet. Denne modellen tilsvarer simulering 1, men benytter isolasjon mot indre sone som beskrevet i simulering 4b. For solskjerming bygges en "obstruction" som stikker 1 meter horisontalt ut fra veggen og er plassert 20 cm over hvert av vinduene som vender mot sør. Utformingen er vist i Figur 34. Denne modellen får en temperaturutvikling gjennom året som vist i Figur 35. Som figuren viser sørger solskjermingen for å redusere maksimaltemperaturen om sommeren tilstrekkelig. Samtidig økes ikke energibehovet til indre sone med mer enn ca 9 kWh i året. Simuleringen med solskjerming kalles for "*Optimalisert lett*" og vil bli benyttet senere for å sammenligne en lettere modell med simuleringen i 4b. Energibehovet for frostsikring av indre sone er for denne modellen 161 kWh per år.



Figur 34: Utforming av solskjerming for modell Optimalisert lett.



Figur 35: Gjennomsnittstemperatur i ytre sone for simulering 1 med solskjerming, også kalt simulering "Optimalisert lett"

5.3.4 Diskusjon

Et av usikkerhetsmomentene ved modellen over antas å være utelatelsen av dør, ventilasjon og infiltrasjon til indre sone. Problemet studeres nærmere i kapittel 5,5.

Et annet usikkerhetsmoment antas å være ventillkarakteristikken for inntaksventilene. Teoretisk og praktisk sett er det ingen ting i veien for å lage ventiler som nærmer seg karakteristikken i Figur 31, men spørsmålet blir om ikke det lave trykkfallet krever så høy presisjon at prisen blir uforholdsmessig høy, og ventilen blir for lite robust.

Det er også usikkert om det er nødvendig med så mye ventilasjon av ytre sone i ubebodde perioder. Dette avhenger blant annet av materialvalg og krav til inn klima. Simuleringer har vist at dersom indre sone isoleres godt betyr ikke økt ventilasjon i ubebodde perioder særlig mye for energibehovet til frostsikring. Derfor anses det som viktigere å sikre tilstrekkelig ventilasjon av ytre sone enn å spare noen få kWh.

Som tabellene 17, 18 og 19 viser er det egentlig ingen av de utvidede tiltakene som gjør underverker. Dersom alle tiltakene gjennomføres, reduseres forbruket til frostsikring med 37 %. Likevel er det ikke snakk om mer enn 82 kWh i året, noe som må kunne karakteriseres som forsvinnende lite for en fritidsbolig med nettilknytting.

For en fritidsbolig uten nettilknytting, vil 82 kWh bety mye. Tidligere arbeider av Børset og Amble (Børset, 2009)(Amble, 2008) som har vurdert muligheten for frostsikring gjennom solvarme eller grunnkobling har konkludert med energibehov for frostsikring av indre sone på rundt 50 kWh i året. Energibehovet i simulering 4b er cirka 2,8 ganger større enn dette. Det er

påpekt grove forenklinger i tidligere simuleringer og det må sies å være sådd kraftig tvil om løsningene presentert av Børset og Amble presterer å holde en indre sone frostfri under klimatiske forhold tilsvarende Østersundklima eller strengere uten ytterligere tiltak. Dette blir ytterligere diskutert senere.

Så vidt forfatteren kan vurdere må konklusjonen bli at det eneste tiltaket som virkelig monner er samlingen av sanitæranlegg i en indre sone. Selv med kun 300mm isolasjon i veggene mot indre sone fører dette til en voldsom reduksjon av energiforbruket sammenlignet med oppvarming av hele bygningen. Når først sanitærinstallasjonene er samlet i en indre sone fører ikke andre tiltak til virkelig store reduksjoner av energiforbruket i ubebodde perioder. Det er tvilsomt om hytteeiere med nettilknytting noensinne vil være villige til å gi fra seg kontrollen over utforming av bygningen og materialvalg innvendig for å spare under hundre kWh i året.

5.4 Vurdering av ventilasjon av ytre sone

5.4.1 Innledende

Kapittel 4.6 beskriver krav og forslag til utforming av ventilasjonen av ytre sone.

Først vurderes ventilasjonen i simuleringene fra kapittel 5.3. Er det behov for tiltak for å redusere energiforbruket til indre sone eller forbedre inneklimate i ytre sone? Dersom tiltak er nødvendige/ønskelige vil det bli utarbeidet forslag til slike og disse vil bli simulert.

5.4.2 Ventilasjon av ytre sone

Ventilasjonen i simuleringene fra kapittel 5.3 sikrer et luftskifte på $0,29 \text{ h}^{-1}$. Dette tilsvarer kravet i TEK 10 og anbefalinger i flere håndbøker. I en uoppvarmet bygning antas 0,29 luftskifter i timen å være et konservativt anslag for å hindre problemer med heksesot eller VOC.

Usikkerhetsmomentet er hvordan fukttransporten i bygningen arter seg gjennom vinteren. I en oppvarmet bolig vil luften som kommer inn utenfra og varmes opp få en lav relativ fuktighet, RF. I en uoppvarmet fritidsbolig er ikke dette tilfelle, og resultatet kan bli kondens på kalde flater med resulterende skjolder og i verste fall muggsopp og råte.

Muggsopp

Muggvekst på overflater forekommer stort sett ved relativ fuktighet mellom 80 og 100 %. Optimale vekstbetingelser ligger mellom 20 og 35 °C. Ved temperaturer over 40-50 °C dør de fleste muggsoppene. Ved temperaturer lavere enn 5 °C er det ytterst sjeldent at det forekommer muggsopp, og veksten foregår svært sakte. (Geving, et al., 2002)(Magnussen, et al., 2005).

Råte

Råtesoppangrep kan tidligst starte ved fuktinnhold i treverk på cirka 20 vektprosent og 0 °C. For gran og furu tilsvarer dette en relativ fuktighet i lufta på cirka 80 %. (Geving, et al., 2002).

Kondens

Kondens forekommer når luftfuktigheten stiger over 100 %. I bygningssammenhenger skjer dette i hovedsak som følge av nedkjøling av fuktig luft når den kommer i kontakt med kalde overflater. I oppvarmede bygninger er typiske kalde overflater vinduer, tappevannskraner, gjennomgående ventilasjonskanaler og dørhåndtak. På slike overflater kan kondensmengden bli relativt stor. Kondensert fuktighet kan gi stygge skjolder, kuling av trematerialer og danne grobunn for vekst av muggsopp og råte.

Vurdering av kondensfare i simuleringene

ESP-r har en egen funksjon for å undersøke faren for kondens på overflater. Denne brukes for å vurdere hyppigheten av fare for kondens i simuleringen Optimalisert tung fra kapittel 5.3.3. Resultatet gis som en oversikt for hver overflate hver eneste time gjennom hele året. Sammendraget viser antall timer med kondensfare i hver sone og gjengis i Tabell 20.

Sone	Antall timer med fare for kondens
Første etasje sørlige sone	155
Første etasje nordlige sone	471
Andre etasje sørlige sone	165
Andre etasje nordlige sone	404

Tabell 20: Antall timer med fare for kondensering i simulering 4b.

Det er også mulig å hente ut verdier for når og hvor det er fare for kondens gjennom året. Et sammendrag viser hvor mange timer det er fare for kondens på hvilke flater. Et slikt sammendrag er vist i Tabell 21 og Tabell 22.

Sørlige soner	1 etasje	2 etasje
Sørvegg	120	116
Østvegg	120	119
Vestvegg	119	118
Vegg mot indre sone	51	81
Skillevegg	94	101
Tak	104	97
Gulv	141	151
Vindu	12	46
Ytterdør		56

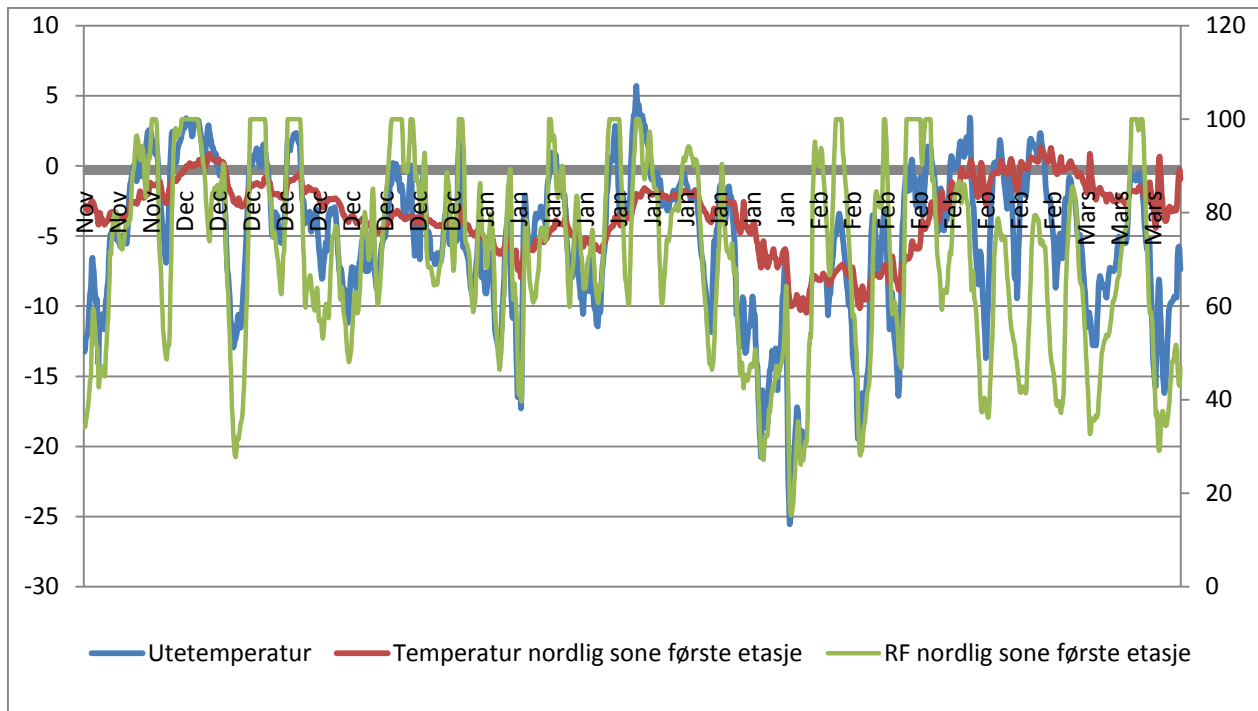
Tabell 21: Oversikt over antall timer med kondensfare på overflater i sørlige soner for simulering 4b.

Nordlige soner	1 etasje	2 etasje
Østvegg	401	327
Nordvegg	399	325
Vestvegg	399	326
Skillevegg	349	271
Vegg mot indre sone	346	273
Tak	379	295
Gulv	466	393
Ytterdør	137	185
Vindu mot nord	68	99
Vindu mot øst/vest	183	115

Tabell 22: Oversikt over antall timer med kondensfare på overflater i nordlige soner for simulering 4b.

Simuleringene belyser tre viktige forhold. For det første er 471 timer med fare for kondens noe som må tas på alvor. For det andre er det vinduene og ytterdørene som er minst utsatt for kondensfare mens gulvet i første etasje nordlig sone er mest utsatt.

Det er en klar sammenheng mellom den relative fuktigheten i lufta og kondensfaren. For å studere forholdene gjennom vinteren er temperatur og RF i nordlig sone første etasje sammenlignet med temperaturen utendørs for perioden november til mars. Resultatet er presentert i Figur 36. Det forekommer ikke kondens i fritidsboligen utenfor denne perioden.



Figur 36: Temperatur og RF for nordlig sone første etasje, sammenlignet med utetemperatur for simulering ”Optimalisert tung”.

Som det går frem av Figur 36 forekommer høy RF i nordlig sone så godt som alltid i forbindelse med at temperaturen er høyere utendørs enn innendørs. I periodene mellom er det stort sett relativt lav RF inne i sonen og gode forhold for uttørking. Dette tyder på at kondens forekommer som en følge av at varmere og fuktig uteluft trenger inn i bygningen gjennom ventilasjonen og kjøles ned når den kommer i kontakt med kalde overflater inne i bygningen. De overflatene som er i kontakt med mest termisk masse, som vegger gulv og tak, vil være de som sist varmes opp til samme temperatur som utelufta og dermed ”motta” mest kondens. Vinduer og dører har ikke bare lite termisk masse men også lav U-verdi. Derfor varmes de tidlig opp, både utenifra og innenfra, til utetemperatur og ”mottar” tilsvarende lite kondens. En viktig faktor å legge merke til er at med unntak av et tilfelle i begynnelsen av desember forekommer kondensen i perioder med kuldegrader. Det innebærer at kondensen forekommer som rim på overflatene, og at faren for muggsopp og råtevekst er minimal i perioden hvor kondensen forekommer. Det er også trolig at kun små mengder fuktighet vil trekke inn i bygningskonstruksjonene. Spørsmålet blir om fuktigheten er tørket ut når temperaturen begynner å stige igjen.

For sammenligningens skyld presenteres også data for simuleringen ”Optimalisert lett” fra kapittel 5.3.4. Denne modellen er som en termisk lett versjon av modellen ”Optimalisert tung” og resultatet er vist i Tabell 23, Tabell 24 og Figur 37. Største forskjellene i forhold til ”Optimalisert tung” er at den termisk lette modellen er mer homogen og varierer hyppigere. Med mer homogen menes at det er mindre forskjell mellom kondensfaren for de ulike bygningselementene og sonene. Dersom det kondenserer på veggen i nordlig sone, er det større sjanse for at det også

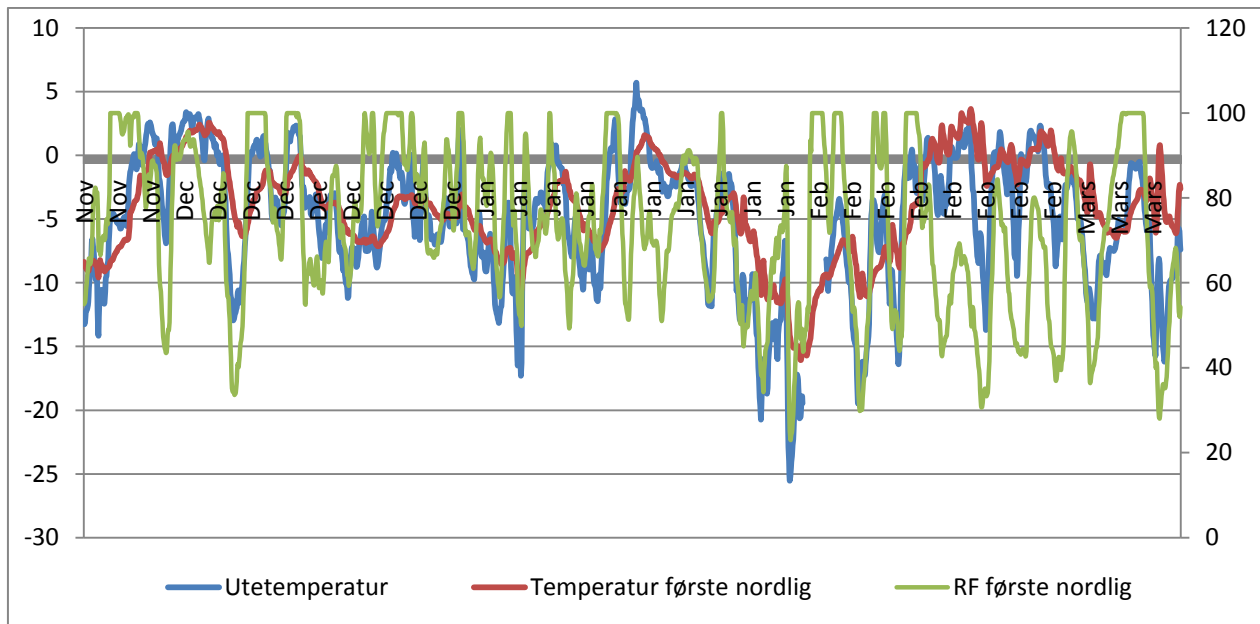
kondenserer på vinduet i sørlig sone enn for den tunge modellen. Oversikt over de tre lengste periodene med sammenhengende kondensfare for de to modellene er vist i Tabell 25.

Nordlige soner	1 etasje	2 etasje
Østvegg	400	377
Nordvegg	398	376
Vestvegg	401	377
Skillevegg	388	360
Vegg mot indre sone	346	323
Tak	404	382
Gulv	430	415
Ytterdør	136	243
Vindu mot nord	95	129
Vindu mot øst/vest	133	243

Tabell 23: Oversikt over antall timer med kondensfare på overflater i nordlige soner for simulering ”Optimalisert lett”.

Sørlige soner	1 etasje	2 etasje
Sørvegg	240	261
Østvegg	242	262
Vestvegg	240	258
Vegg mot indre sone	191	214
Skillevegg	223	252
Tak	237	269
Gulv	272	282
Vindu	39	73
Ytterdør		142

Tabell 24: Oversikt over antall timer med kondensfare på overflater i sørlige soner for simulering ”Optimalisert lett”.



Figur 37: Temperatur og RF for første etasje nordlig sone sammenlignet med utetemperatur for simulering ”Optimalisert lett”.

Modell:	Dato:	Antall timer med sammenhengende kondensfare:
Optimalisert tung	15/2	71
	3/12	69
	18/1	43
Optimalisert lett	7/3	58
	9/12	45
	23/12	42

Tabell 25: Lengste periode med sammenhengende kondensfare på overflater.

Redusere ventilasjonsmengden?

For en fritidsbolig som står ubebodd gjennom vinteren vil det være ventilasjonen som bringer fuktighet inn. Å redusere ventilasjonen er likevel ikke nødvendigvis noen god løsning fordi dette fører til vesentlig dårligere uttørking. Simuleringer viser at dersom ventilasjonen reduseres til 1/3 reduseres antallet ”kondenstimer” med 36,5 %. I perioder med mulighet for uttørking ventileres det derimot kun 1/3 så mye som tidligere. Dermed er det større fare for at fuktigheten som først kommer inn i bygningen forblir lenger i rommet enn for en løsning med luftskifte på $0,29\text{h}^{-1}$. Simuleringen viser også at løsningen med redusert ventilasjon har økt gjennomsnittlig RF gjennom vinteren, noe som også tyder på dårligere muligheter for uttørking.

Øke ventilasjonsmengden?

Det er gjennomført en simulering med dobbelt så stor ventilasjon av ytre sone, det vil si et luftskifte på $0,58\text{h}^{-1}$. Dette ga nesten ingen forandring i antall situasjoner med kondensfare, men en liten økning i gjennomsnittlig RF. Det er trolig at økningen i RF kommer som en følge av lavere temperatur i sonen, og ikke økt innhold av vann.

VAV

En annen løsning er å regulere ventilasjonen av ytre sone med hensyn på RF, og temperaturdifferansen mellom ytre sone og utendørs slik at det ventileres i perioder med gode muligheter for uttørking, og stenges når faren for kondens blir for stor. Et slikt kontrollsystem kan også regulere med hensyn på vind for å sikre jevn ventilasjon. Denne løsningen ble forsøkt simulert i ESP-r uten å lykkes, men antas å være meget egnet til å hindre kondens i ytre sone.

Hvor alvorlig er kondensproblemet ved luftskifte på $0,29\text{h}^{-1}$?

71 sammenhengende timer med kontinuerlig fare for kondensering synes veldig alvorlig. Det er likevel ikke nødvendigvis så ille som det ser ut. ESP-r manualen presiserer at funksjonen som undersøker faren for kondens ikke sier noe om mengden kondensert væske, kun at det er fare for kondens: “The report does not say whether the condensation is a light misting or is severe enough to cause water droplets to form, simply that conditions exist for some degree of condensation.”(Hand, 2010). Derfor vil det gjennomføres en liten kontrollvolumstudie for å vurdere hvor alvorlig kondensproblemet er. Fordi ønsket er å gjennomføre en så konservativ vurdering som mulig, med marginene på den sikre siden, velges den modellen som antas å ha størst problem med kondens.

Modellen ”Optimalisert lett” har desidert flest ”overflatetimer” med fare for kondens, mens ”Optimalisert tung” har den lengste sammenhengende perioden med fare for kondens. Optimalisert tung har også en vesentlig større temperaturdifferanse mellom lufta som trenger inn i bygningen og temperaturen inne i bygningen, noe som gir større fare for utfelling av mye kondens. I periodene mellom kondensering er det gode forhold for opptørking for begge modellene. Det er ingen vesentlig forskjell på mengden ventilasjon i periodene. Derfor antas det at modellen Optimalisert tung har det største kondensproblemet og den benyttes i vurderingen her.

For å gjennomføre kontrollvolumstudien settes kontrollvolumet rundt luften inne i hele hytta. Massebalansen blir da som vist i ligning (5.4.1).

$$\Delta m_{luft} = \dot{m}_{v,inn} - \dot{m}_{v,ut} - \dot{m}_{kondensert} \quad (5.4.1)$$

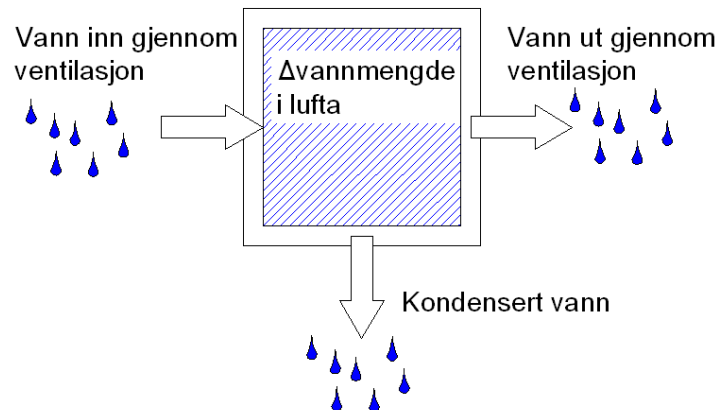
Δm_{luft} = Endringen av mengden fukt i luften inne i bygningen $\left[\frac{kg}{h} \right]$

$\dot{m}_{v,inn}$ = Fukttransport inn i bygningen som følge av ventilasjon $\left[\frac{kg}{h} \right]$

$\dot{m}_{v,ut}$ = Fukttransport ut av bygningen som følge av ventilasjon $\left[\frac{kg}{h} \right]$

$\dot{m}_{kondensert}$ = Mengde vann som kondenserer inne i bygningen $\left[\frac{kg}{h} \right]$

Figur 38 viser en skisse over kontrollvolumet og massebalansen.



Figur 38: Kontrollvolum for undersøkelse av mengde kondensert fuktighet.

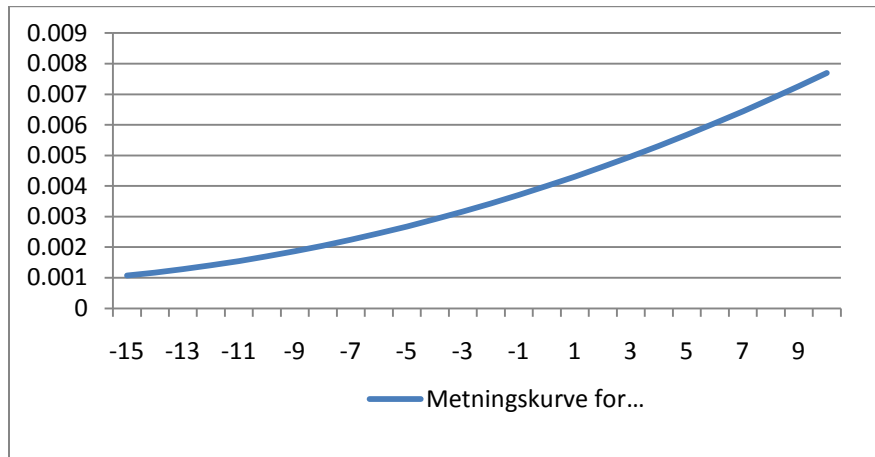
I ESP-r er luftfuktigheten oppgitt i RF og ikke i vektforhold mellom fukt og luft. For å finne dette forholdet benyttes en forenkling. Kurven for metningskonsentrasjon av vann i luft mellom -15 og 10 °C tilnærmes gjennom ligning (5.4.2).

$$v_{sat}(t) = 7 \times 10^{-6} \times t^2 + 0,0003 \times t + 0,004 \quad (5.4.2)$$

$$v_{sat}(t) = \text{metningskonsentrasjonen ved gitt temperatur} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

$t = \text{lufttemperaturen} [^{\circ}\text{C}]$

Funksjonen er vist i Figur 39. Den gir en god tilnærming til verdiene fra et psykrometrisk diagram (Moran, et al., 2004) i temperaturområdet -15 til 10 °C, men utenfor dette området, spesielt ved kaldere temperaturer, blir resultatet til dels veldig dårlig.



Figur 39: Metningskurven for luftfuktighet mellom -15 og 10 °C.

Massekonsentrasjonen av fukt i lufta finnes gjennom ligning (5.4.3).

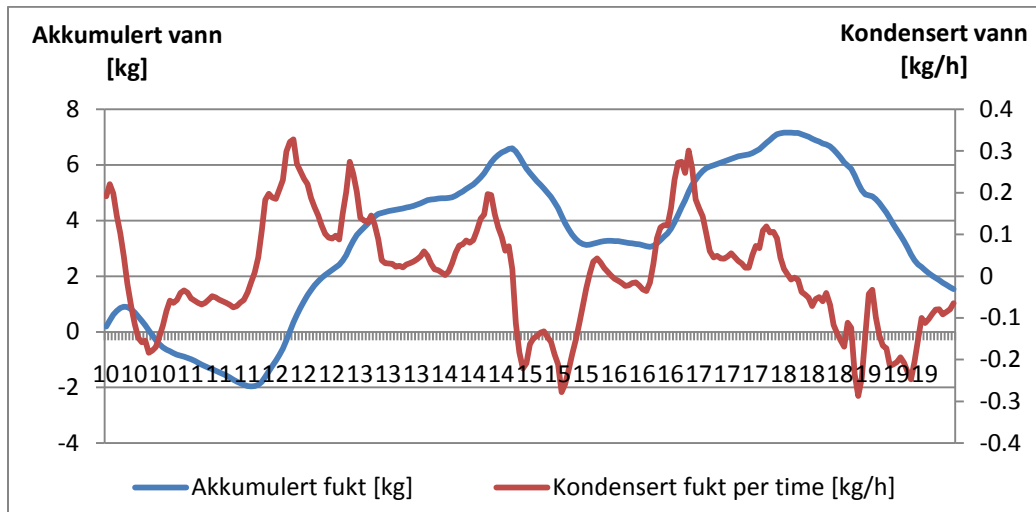
$$v = v_{sat}(t) \times RF \quad (5.4.3)$$

Ligning (5.4.1) skrives om til ligning (5.4.4). Integrrert på en litt grov måte som egner seg for Excel gir dette ligningen (5.4.5). Starverdien for akkumulert fukt settes lik null slik at det kun er akkumulert fukt i perioden som vurderes. Verdier for RF, utvendig og innvendig, luftskifte og temperatur hentes fra ESP-r. Sammen danner dette grunnlag for å vurdere akkumulert kondens på veggene i fritidsboligen.

$$\dot{m}_{kondensert} = \dot{m}_{v,inn} - \dot{m}_{v,ut} - \Delta m_{luft} \quad (5.4.4)$$

$$m_{n,kondensert} = \dot{m}_{n,v,inn} - \dot{m}_{n,v,ut} - \Delta m_{n,luft} + m_{(n-1),kondensert} \quad (5.4.5)$$

Noen forsøk viser at tilnærmingen beskrevet over gir relativt nøyaktige resultater over kortere tidsperioder men at små unøyaktigheter i tilnærmingen til psykrometriske data gir en følgefeil som etter hvert kan bli stor. Dette setter en begrensning på hvilken periode som kan vurderes. Perioden fra 10 til 20 februar inneholder den mest alvorlige perioden med kondensproblemer samtidig som temperaturen ikke kommer under 16 kuldegrader eller over 10 varmegrader. Derfor velges det å vurdere denne perioden. Resultatet er vist i Figur 40.



Figur 40: Akkumulert kondens i ytre sone i perioden 10 til 20 februar.

Som figuren viser er maksimal mengde akkumulert fuktighet ca 7kg. Dersom dette hadde kondensert på vinduer, dørklinker eller andre konsentrerte plasser ville det ført til større ansamlinger av fuktighet og påfølgende skader. Simuleringene tyder på at dette ikke er tilfelle for modellene over. De konstruksjonsdelene som mottar mest fuktighet er gulv og vegger som er i kontakt med mye termisk masse og er godt isolert mot utelufta. Dette tyder på at den kondenserte fuktigheten trolig fordeler seg relativt jevnt over disse flatene. Dersom det antas at all akkumulert fuktighet samler seg på gulvet i ytre sone gir dette en konsentrasjon på 120g/m^2 , eller en vannfilm med tykkelsen 0,12mm. Den kondenserte fukten vil trolig fordele seg over både vegger, gulv, tak og møbler og konsentrasjonen blir derfor langt mindre.

Perioder med uttørking

Som det vises i Figur 36 og Figur 37 er periodene med fare for kondens jevnlig avløst av perioder med gode forhold for uttørking. For å vurdere hvorvidt konstruksjonen evner å tørke ut er det to kriterier som må vurderes. Det ene er hvorvidt ventilasjonen evner å transportere fuktigheten ut av bygningen. Den andre er hvorvidt vann som er bundet opp i konstruksjonen tørker ut og tas opp av lufta i rommet. Overslaget som presenteres i Figur 40 viser at ventilasjonen evner å transportere ut fuktigheten. Det er bestemt å gjennomføre en særdeles konservativ beregning for å

vurdere hvorvidt fukt som er tatt opp i konstruksjoner har potensialet for å tørke ut. Metoden som benyttes er hentet fra kapittel 12,5 i ”Håndbok 50” fra Byggforsk (Geving, et al., 2002).

Tidligere beregninger anslår at den antatt mest alvorlige perioden med kondensering innebærer på det verste 0,34 kg kondensert vann i timen og totalt 7 kg akkumulert fukt. Kondenseringen foregår også stort sett i perioder med kuldegrader i sonen som er berørt, noe som innebærer rim og ikke vann. Frosset vann i form av rim trekker inn i treverk, men mye langsommere.

For en konservativ vurdering vurderes en situasjon hvor all fuktighet kondenserer som vann og ikke rim, maks mengde kondensert vann i timen er 0,5 kg og maksimalt akkumulert fuktighet er 10 kg. Det antas også at all fuktigheten kondenserer jevnt på gulv og yttervegger i nordlige soner men ingen andre steder. Dette gir:

- Maks mengde kondensert vann i timen per kvadratmeter: $k = \frac{0,5 \text{ kg/h}}{147 \text{ m}^2} = 0,0034 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$
- Maks mengde akkumulert fukt per kvadratmeter: $K = \frac{10 \text{ kg}}{147 \text{ m}^2} = 0,068 \text{ kg/m}^2$
- Maks vektprosent i treverket dersom yttervegg består av 0,12 mm panel og dampsperre:

$$p_v = \frac{0,068 \text{ kg/m}^2}{460 \text{ kg/m}^3 \times 0,12 \text{ m}^3/\text{m}^2} = 0,12 \text{ kg/kg}$$

Den delen av konstruksjonen som har vanskeligst for å suge opp vannet som kondenseres på overflaten er innsiden av ytterveggene. Kledning av furupanel har evnen til å suge opp 240 gram vann på tvers av fiberretningen den første timen med mindre panelet når kapilær metning. Dette er langt mer enn 68 gram og det antas derfor at alt kondensert vann suges opp i konstruksjonene.

For perioden med uttørking antas det 5 kuldegrader både for luften og veggen samt 90 % RF. Ifølge ”Håndbok 50” er fordampningshastigheten fra en overflate tilnærmet konstant og kan uttrykkes gjennom ligning (5.4.6) (Geving, et al., 2002).

$$g = \beta(v_s(T_s) - v_a) \tag{5.4.6}$$

$$\beta = \text{masseovergangstall} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$v_s(T_s) = \text{metningsinnholdet til lufta ved overflatetemperaturen } T_s \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$v_a = \text{fuktinnholdet i omgivelseslufta} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Masseovergangstallet ved lufthastighet 0 m/s er $3,3 \times 10^{-3}$ m/s (Geving, et al., 2002) mens $v_s(T_s) = 0,003 \text{ kg/m}^3$ og $v_a = 0,0027 \text{ kg/m}^3$ (Moran, et al., 2004). Dette gir en uttørkningsrate på $g = 9,9 \times 10^{-4} \text{ g/m}^2\text{s}$. Dersom den tidligere antagelsen, om at 68 g/m^2 er maks mengde akkumulert fukt i veggen legges til grunn, gir dette en uttørkningstid på ca 19 timer.

Det er usikkert hvor mye fuktighet som finnes i treverket før og etter perioden med kondens og uttørking, og det er ikke usannsynlig at vektprosenten i treverket kommer over 200 g vann per kg treverk og dermed oppfyller fuktkriteriene for råte. Likevel foregår dette i perioder med lav temperatur og overslagene over tyder på at periodene er av veldig begrenset lengde. For å redusere faren for råte hjelper det muligens å benytte vegger av massivtre i stedet for bindingsverk. Det antas at slike vegger fordeler fuktigheten lenger inn i veggen, men fortsatt har evnen til å tørke ut i perioder med lav RF.

5.4.3 Diskusjon

Det må sies at dette resultatet ikke kan brukes som dimensjonerende for andre områder enn målepunktet for klimadataene i Østersund. Lokale forhold vil spille en stor rolle i fuktbelastningen på ytre sone og det antas at en fritidsbolig ved sjøen på vestlandet er langt mer utsatt enn en fjellhytte på Røros. Ulik mengde solskinn i vinterhalvåret vil også påvirke temperaturen i ytre sone. Derfor antas det at hytter i Sør-Norge vil være mindre utsatt for kondens enn hytter lenger nord. Det er stort sett vurdert med relativt konservative anslag, og kondensfaren er trolig akseptabel i områder med Østersundklima eller tørrere.

Vurderingen av akkumulert fuktighet består av en rekke mindre vurderinger som suksessivt bygger på hverandre. Fordi dette innebærer at usikkerheten til vurderingen består av summen av usikkerhet til hver enkelt delvurdering gir dette større usikkerhet enn hvis det hadde vært en rekke parallelle vurderinger. Det er vurdert med konservative anslag i hvert enkelt ledd, og derfor antas det likevel at den endelige vurderingen ikke er mer optimistisk enn hva som er reelt.

En løsning på problemet er oppvarming. Ytre sone kan varmes opp noen grader gjennom hele vinteren eller oppvarmingen kan styres som en funksjon av RF. Selv om det ikke er nødvendig å heve temperaturen mye, vil dette føre til en vesentlig, og uønsket økning i energiforbruket til fritidsboligen.

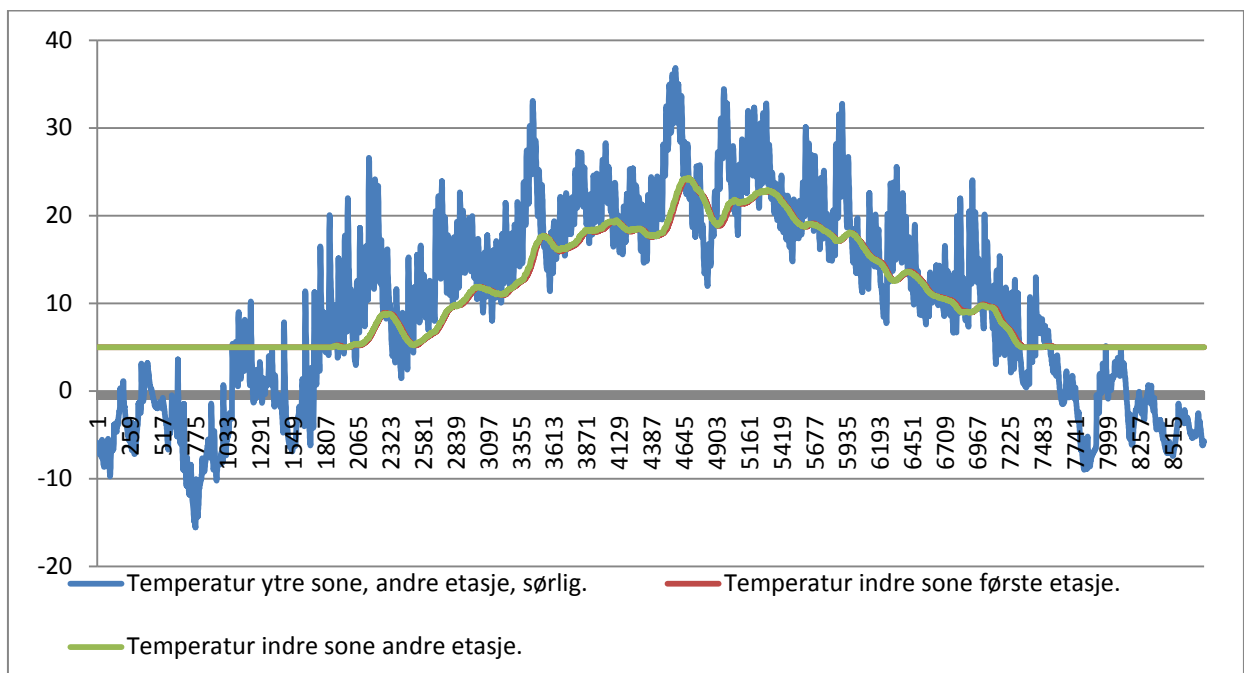
5.5 Ventilasjon av indre sone.

5.5.1 Innledende

Ventilasjon av indre sone er kritisk av to grunner. Sonen bygges tett og med mye isolasjon samtidig som den utsettes for stor fuktbelastning. Dette stiller særlig strenge krav til ventilasjonsmengden. Samtidig er det vanskelig å unngå at ventilering av indre sone fører til en økning i energiforbruket til frostsikring. Seks ulike løsninger vil bli vurdert gjennom håndregning og simulering.

Krav til fjerning av avgasser

Temperaturen i indre sone varierer langt mindre enn temperaturen i ytre sone noe som fører til redusert fare for heksesot. Temperaturforløpet gjennom året for Optimalisert lett er vist i Figur 41. Dersom det fokuseres sterkt på å benytte materialer med lite avgassing antas det at det er tilstrekkelig med et luftskifte på $0,1 \text{ h}^{-1}$ for å fjerne avgassing og lukt.



Figur 41: Temperaturen i indre sone for Optimalisert lett.

5.5.2 Vurdering av forslag til løsninger for ventilasjon av indre sone

Seks ulike løsninger for ventilasjon av indre sone vurderes. De fleste metodene er beskrevet i kapittel 4.6.8. Naturlig ventilasjon antas ikke å være aktuelt da det trolig fører til for stort oppvarmingsbehov som følge av at ventilasjonen må dimensjoneres etter de mest ekstreme periodene, og derfor ventilerer alt for mye resten av perioden. Følgende tiltak vil bli vurdert.

- Mekanisk avtrekksventilasjon** sikrer et luftskifte på $0,1 \text{ h}^{-1}$. Luften tilføres fra første etasje, ytre sørlige sone og kastes ut over tak. Det søkes å oppnå

fortrengningsventilasjon i hele indre sone gjennom å trekke den kalde luften inn gjennom en ventil ved gulvet i første etasje og trekke den ut gjennom taket i andre etasje. Prestasjonen til løsningen vurderes gjennom en simulering i ESP-r. Det er usikkert hvor godt ESP-r klarer å simulere den termodynamiske effekten av fortrengningsventilasjon uten at indre sone deles opp i flere soner. Løsningen er illustrert i Figur 42, og bygningsmodellen ”Optimalisert tung” blir benyttet i simuleringen.

Som en kontroll av simuleringen vil det bli gjennomført en kjapp håndregning som tar utgangspunkt i ligning (5.5.1). Siden ventilasjonsmengden er konstant burde tilnærmingen bli relativt presis dersom gjennomsnittstemperaturen for den aktuelle perioden i ytre sørlig sone første etasje benyttes for å finne temperaturdifferansen.

$$E = Q \times \rho \times c \times t \times \Delta T \times \frac{1kWh}{3600kJ} \quad (5.5.1)$$

Q = ventilasjonsmengde per time = 3,25 m³/h

ρ = luftas tetthet = 1,2kg/m³

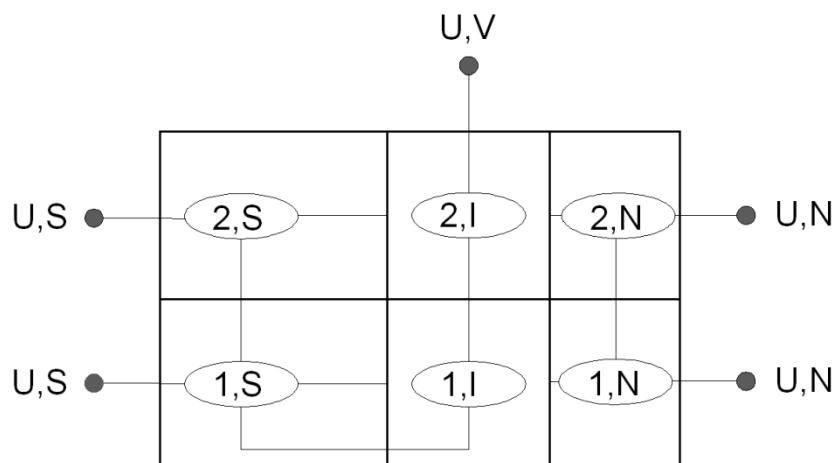
c = spesifikk varmekapasitet = 1,0035 kJ/kgK

t = tiden i timer

ΔT = Temperaturdifferanse

Energibehovet for å drive viftene rapporteres ikke i ESP-r og dette vurderes gjennom å anta en SFP lik 1,5 kW/(m³/s) i perioden med behov for oppvarming. I perioder uten behov for oppvarming antas det at indre sone ventileres gjennom naturlig ventilasjon for å spare energi til viftene.

Det understrekes at det er nødvendig med ytterligere ventilasjon under og umiddelbart etter bebodde perioder.



Figur 42: Ventilasjon indre sone

- b. **Nedgravd dukt / jord-luft varmeveksler.** Simulering av problemstillingen har vist seg å være særdeles vanskelig. Kombinasjonen av mangel på kunnskap om grunnforholdene og gode løsninger for å simulere varmestrøm i grunnen i ESP-r gjør at et forsøk på simulering antas å bli alt for upresist til å være verdifullt. Hvordan løsningen presterer avhenger i veldig stor grad av grunnforholdene i området, noe som kan variere voldsomt innenfor korte avstander (Trombe, et al., 1994). Vannsig, snøforhold og sammensetting av grunnen er faktorene som i størst grad påvirker ytelsen. Løsninger med varmetilskudd fra bakken er benyttet i mange hundre år og ventilasjon gjennom nedgravde dukter er godt utforsket både i Norge og utlandet (Trombe, et al., 1994) (Bansal, et al., 2009). Konklusjonen er at riktig dimensjonert og utformet kan løsningen gi varmetilskudd til ventilasjonsluft gjennom vinteren. Derfor antas det, på tross av problemene med simulering, at ventilasjon gjennom en nedgravd dukt potensielt kan bidra til å redusere eller helt fjerne varmetapet som følger av ventilasjon. Dersom bakken rundt ventilasjonskanalen varmes opp tilstrekkelig gjennom sommeren er det ikke utenkelig at løsningen til og med kan bidra med oppvarming av indre sone.
- c. **Luftsofanger.** En luftsofanger benytter varmen fra sola for å varme opp ventilasjonsluft. Dette simuleres i ESP-r gjennom å plassere to nye soner utenpå den sørlige vegg mellom vinduene i første og andre etasje. Disse sonene er 10 cm tykke, 50cm høye og 3m lange. Sammen dekker de et areal av vegg på 3 m². 90% av overflaten som vender mot sør, det vil si 2,9 m², består av glass med samme egenskaper som vinduene i bygningen, men med U-verdi lik 0,8W/m²K.

Resten av veggene i "luftsolfangersonen" konstrueres med en U-verdi lik 0,25 W/m²K.

Luft fra ytre sørlige sone trekkes inn i vestre solfangersonen, forvarmes av sola før den trekkes inn i den østre solfangersonen for ytterligere oppvarming før den benyttes for å ventilere indre sone.

Ventilasjonen reguleres etter to ulike prinsipper som avhenger av årstiden:

- I perioden 5 desember til 10 februar ventileres indre sone med 30 m³/h, gjennom luftsolfangeren, dersom lufttemperaturen i solfangeren er over 0 °C. Ellers er det ingen ventilering.
- I perioden 10 februar til 5 desember ventileres indre sone med 30 m³/h, gjennom luftsolfangeren, dersom lufttemperaturen i solfangeren er over 7 °C. Ellers er det ingen ventilering.

Energibehov til vifter antas å være 50 % høyere enn for "mekanisk avtrekksventilasjon".

Modellen som benyttes i simuleringen er "Optimalisert tung" fra kapittel 5.3.

Løsningen vurderes på energibehov til indre sone og evne til å forsyne indre sone med ventilasjonsluft.

- d. Periodisk avtrekk fra ytre sone.** Dette simuleres gjennom å ventilere indre sone med luft fra ytre sørlig sone første etasje i perioden av dagen hvor temperaturen her er høyest. Derfor ventileres indre sone med 26 m³/h i perioden mellom klokka 1200 og 1500 hver dag. Ellers er simuleringen bygd opp på samme måte som for simuleringen i a) og energibehovet til vifter antas å være det samme
- e. Varmegjenvinner.** Varmegjenvinneren vurderes gjennom en utregning hvor det antas at virkningsgraden ligger på 60 %. Økt trykktap i ventilasjonsanlegget antas å føre til 50 % mer energibehov for å drive viftene. Ellers er simuleringen som for "Mekanisk avtrekksventilasjon".
- f. Luftavfukter.** Behovet for / nytten av en luftavfukter i indre sone vurderes etter at resultatet fra tidligere simuleringer er klart.

5.5.3 Resultater

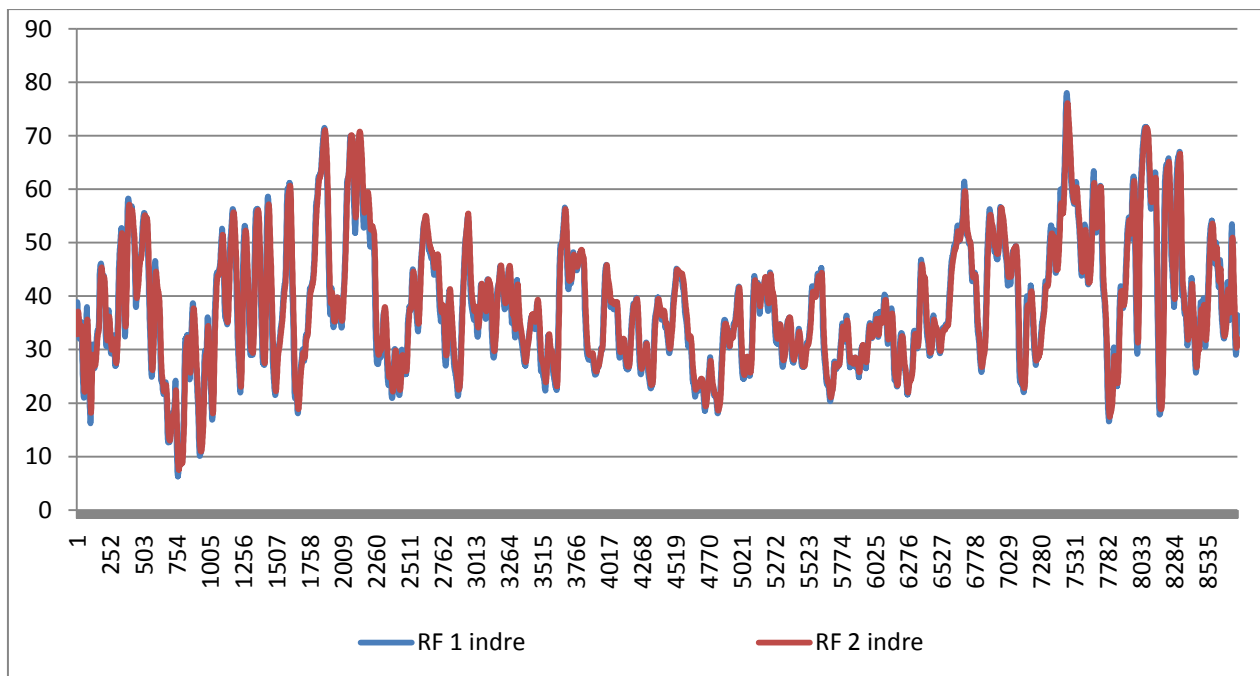
a. Mekanisk avtrekksventilasjon

Resultatet er presenteret i Tabell 26.

Utregning	Økt energibehov [kWh/år]
Økt oppvarmingsbehov i ESP-r	23,4
Økt oppvarmingsbehov i håndregning	22,7
Økt energibehov til vifter	11,8

Tabell 26: Resultat for mekanisk ventilasjon av indre sone.

Dette innebærer totalt energiforbruk på cirka 174,7 kWh/år. I følge simuleringen i ESP-r er det ingen perioder med fare for kondens i indre sone. RF i indre sone gjennom året er vist i Figur 43.



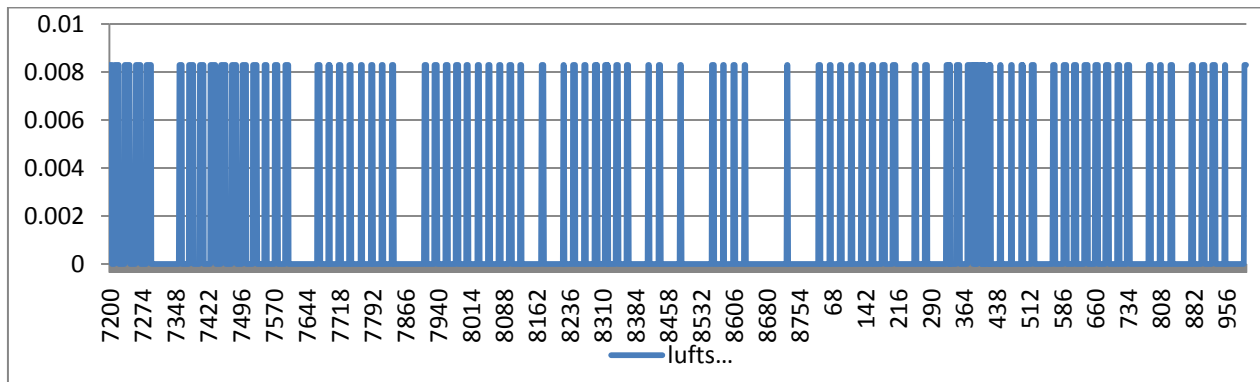
Figur 43: RF i indre sone ved mekanisk ventilasjon.

c. Luftsolfanger

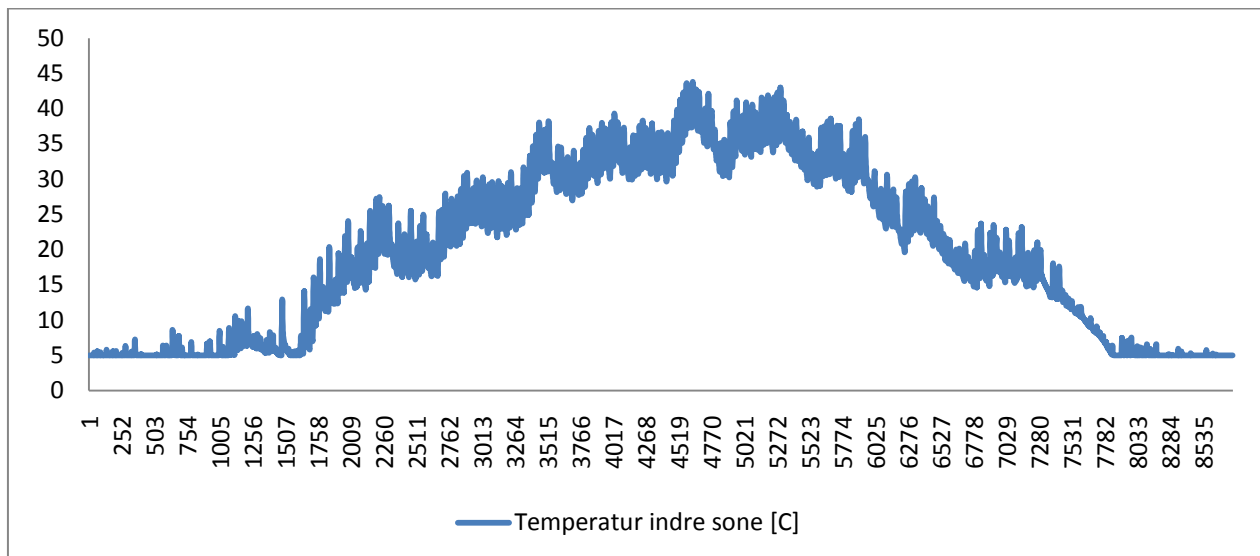
En luftsolfanger av typen skissert i kapittel 5.5.2 senker behovet for oppvarming av indre sone til 89,9 kWh/år samtidig som den bidrar til ventilasjon av indre sone gjennom hele vinteren. I Figur 44 vises den mest kritiske perioden med tanke på ventilasjon. Absolutt verst er en periode i slutten av desember med 4 sammenhengende dager med kun litt ventilasjon. Om sommeren

kommer temperaturen i indre sone fort opp i over 40 °C på grunn av solfangeren. Derfor er det nødvendig med mer omfattende kontroll og styring av ventilasjonen om sommeren. Dette kan gjøres gjennom at ventilasjonsmengden økes, eller tillufta må hentes fra et annet sted enn luftsol-fangeren for å unngå overopphetning. Temperaturen gjennom året er vist i Figur 45.

Totalt energibehov for løsningen antas å bli 107 kWh/år, noe som gir en innsparing på 67,7kWh/år i forhold til ”mekanisk avtrekksventilasjon”.



Figur 44: Ventilasjon av indre sone i perioden 27 oktober til 11 februar



Figur 45: Temperatur i indre sone ved ventilering med luftsol-fanger [°C].

d. *Periodisk avtrekk*

Resultatet gir et totalt energiforbruk på 171,8 kWh/år, noe som kun er en marginal forbedring (2,9 kWh) fra resultatet for ”mekanisk avtrekksventilasjon”.

e. *Varmegjenvinner*

Med forutsetningene gitt i kapittel 5.5.2 fører installeringen av en varmegjenvinner til et energibehov på 166,5 kWh/år noe som er en innsparing på 8,2 kWh/år sammenlignet med ”mekanisk avtrekksventilasjon”.

f. *Luftavfukter.*

Som vurderingene over viser, innebærer ikke ventilering av indre sone et stort varmetap. Snarere er det slik at løsningen med luftsolfanger og luft-jord varmeveksler har potensialet til å bidra med varme til indre sone. Samtidig viser ikke simuleringen noen tegn til alvorlige fuktproblemer i indre sone. Derfor antas det at det ikke er noen hensikt i å inkorporere en luftavfukter i denne modellen.

5.5.4 Diskusjon

Ventilering av indre sone fører til en veldig begrenset økning av energibehovet til oppvarming. For en fritidsbolig med nettilknytning er en økning på 35,2 kWh/år nærmest for ingenting å regne. Ved en løsning med solceller og strømmettet som ”batteri”, kreves det 0,4 m² ekstra solceller.

For løsningene som Børset og Amble foreslår i sine arbeider derimot, er et årlig energiforbruk på 174,7 kWh problematisk. Resultatene tyder på at dette vil være langt bedre dersom det benyttes en luftsolvarmer eller en nedgravd dukt. I områder med mye sol anbefales det å benytte en luftsolvarmer fremfor en nedgravd dukt fordi dette er et langt rimeligere tiltak.

Luftsolfangeren som benyttes i simuleringen over er på langt nær optimalisert og bidrar trolig med mindre varme enn det som er mulig. En mer nøyaktig simulering i ESP-r burde inkorporere flere soner i luftsolfangeren og en høyere U-verdi i frontglasset for å ta høyde for effekten av flere luftpassinger. Det finnes trolig også mer egnede måter å styre luftstrømmen fra luftsolfangeren slik at indre sone utnytter solvarmen bedre når den er der.

Periodisk avtrekk fra ytre sone, varmeveksler og luftavfukter kommer alle tre dårlig ut i vurderingen her. Det er trolig et relevant resultat og disse løsningene burde det ikke jobbes særlig mye videre med.

Tidligere i kapittelet har det sett svært mørkt ut for løsningene med frostsikring av indre sone ved hjelp av solvarme og akkumulatortank eller grunnkobling. Ved hjelp av en solfanger eller nedgravd dukt vil det kanskje være mulig å benytte løsningene likevel.

6 Avsluttende diskusjon

Universell modell?

Gjennom arbeidet er det hele tiden gjort moderat konservative valg. Dette innebærer likevel ikke at det er utviklet en universell modell. Det er viktig å understreke at modellen er dimensjonert for et område med middels kalde temperaturer, ikke Rørosklima, og god tilgang på sol. For områder med mildere klima vil modellen trolig fungere bra. Det er usikkerhet knyttet til hvordan kondensfaren i ytre sone vil arte seg i et fuktig kystklima.

Økonomi, relevans og valgfrihet

Konklusjonen i arbeidet over er at mange av tiltakene for å redusere energibehovet til indre sone har begrenset effekt for en fritidsbolig med nettilknytning. Samtidig innebærer kompakt utforming av ytre klimaskjerm og ekstreme vindusarealer mot sør en voldsom diktering av hytteeieres utforming av egne bygninger. Så vidt forfatteren kan vurdere er det lite trolig at dette vil bli akseptert av annet enn entusiaster. I denne sammenhengen skiller tiltaket med å samle sanitærinstallasjonene i en indre seg klart ut. Børset viser i sin Mastergrad (Børset, 2009) at dette tiltaket trolig er lønnsomt samtidig som det innebærer moderate restriksjoner på utformingen. Det antas også at tiltaket fører til økt robusthet.

For en løsning med nettilknytning og solceller, som i kapittel 3.3.3, innebærer en økning av energibehovet et økt behov for solcelleareal. I praksis kreves det ca en kvadratmeter solceller per 100 kWh økt energibehov. Som både Bratteberg og Børset viser vil ikke strøm fra solceller bli en lønnsom løsning før strømprisen kommer opp i 3-5 kr/kWh.

Løsningene med frostsikring ved hjelp av solfangere og akkumulatortank eller grunnkobling er relativt marginale. Derfor vil ethvert tiltak som reduserer energibehovet være nødvendig og ønskelig. Lønnsomheten i disse løsningene er ikke vurdert her.

Utslipp av klimagasser

I forbindelse med oppbygningen av en ny bygningsmodell i kapittel 4 tas det hensyn til erfaringene fra Bratteberg sitt arbeid med tanke på utslipp i forbindelse med byggefasen. Det antas at den nye bygningsmodellen presterer tilnærmet like bra som konseptene 1, 2 og 3 i Bratteberg sin mastergrad (Bratteberg, 2010). Se kapittel 3.3.3 for nærmere detaljer. Dette innebærer en besparelse på rundt 28 tonn CO₂ uten vesentlig reduksjon i prestasjon når det gjelder energisparing.

7 Konklusjon

Dagens situasjonen i hyttemarkedet

Energiforbruket til hyttesektoren har de senere årene hatt en dramatisk økning. Prognoser anslår at dersom ingenting gjøres, vil denne utviklingen bare fortsette. Mye tyder på at det ikke først og fremst er økningen i antallet fritidsboliger som fører til utviklingen, men økningen i standarden. Innleggelse av vann og strøm i eksisterende hytter og tilnærmet boligstandard i nybygg gir både økt tilgang på og behov for strøm. Økt behov for oppvarming på grunn av frostsikring antas å bidra vesentlig til energiforbruket, men et raskt overslag antyder at fordelingen av energiforbruk mellom bebodde og ubebodde perioder ligger på 68 % i bebodde perioder og 32 % i ubebodde perioder. I dagens situasjon antas fordelingen av utslipp mellom bruksfasen og byggefasen å bli fullstendig dominert av bruksfasen. Det antas at det er mulig å redusere CO₂ utslippene forbundet med byggefasen med ca 28 tonn uten å øke energiforbruket vesentlig. Selv om dette er lite sammenlignet med utslippene forbundet med bruksfasen i dagens hytter, må det sies å være verdt å ta med videre.

Tidligere arbeid

Det er gjort mye bra arbeid så langt og mange gode tiltak har blitt foreslått og vurdert. Slik undertegnede ser det er de viktigste resultatene fra tidligere arbeid:

- Klarlagt den store betydningen av en indre, ekstra isolert og frostfri sone(Børset, 2009)
- Vist muligheten for utnyttelse av energitilførsel fra sola:
 - o Passiv soloppvarming (Amble, 2008)(Bratteberg, 2009)
 - o Solfangere og luftsolfangere (Børset, 2009)(Bøckman, 2010)
 - o Solcellepanel (Børset, 2009)(Bratteberg, 2009)
- Potensialet for frostsikring gjennom grunnkobling er utforsket (Amble, 2008)
- Bratteberg sin mastergrad (Bratteberg, 2010) illustrerer viktigheten av først og fremst å redusere strømforbruket. Videre viser studien at LCA vurderinger kan være nyttige for å oppnå utslippsreduksjoner.
- Hybrid ventilasjon av ytre sone er optimalt for en fritidsbolig (Bøckman, 2010)

I denne oppgaven er det gjort store anstrengelser for å gjennomføre mer realistiske simuleringer enn det som har blitt gjennomført tidligere. Dette har ført til en dramatisk økning i energibehovet til indre sone i forhold til tidligere arbeid. Det er i hovedsak to tiltak som fører til økt energibehov: økt ventilering og økt temperatur i indre sone. Begge tiltakene anses som absolutt nødvendige for å oppfylle kriteriene om driftsikkerhet og robusthet. Dermed sås det kraftig tvil om relevansen/realismen ved tidligere simuleringer med mindre de inkorporerer nye tiltak.

Optimalisert bygning

Ved å ta hensyn til vurderingene i Bratteberg sitt arbeid (Bratteberg, 2010), har det lyktes å konstruere en bygningsmodell som både reduserer CO₂ utslippene forbundet med byggefasen og presterer godt med tanke på energibehov til frostsikring. Viktige tiltak har vært isolering med cellulosefiber og jordgulv kombinert med yttervegger i massivtre for å oppnå tilstrekkelig termisk masse. Resultatet blir trolig en reduksjon av CO₂ utslipp forbundet med byggefasen på 28 tonn.

Ventilering av ytre sone

Simuleringer viser at dersom indre sone isoleres godt, noe som anbefales, vil ikke endring av ventilasjonsmengden i ytre sone bety nevneverdig mye for energibehovet til frostsikring. Samtidig antas det at ventilering av ytre sone er viktig for å unngå problemer med heksesot eller VOC. Det er gjort simuleringer som antyder at det ikke er et stort problem med kondens i ytre sone, men resultatene er noe usikre, spesielt for områder med fuktigere klima enn Østersund. Problemet med kondens antas å kunne løses gjennom å benytte et VAV anlegg som styrer ventilasjonsmengden med hensyn på RF og temperatur i ytre sone og utendørs, men det har ikke lyktes å simulere dette i ESP-r.

Ventilering av indre sone

Med mekanisk avtrekksventilasjon øker energibehovet til frostsikring av indre sone med ca 35 kWh/år. Likevel anbefales det å benytte en løsning med luftsolfanger eller jord-luft varmeveksler. Simuleringer antyder at en simpel luftsolfanger på 3m² kan redusere energibehovet til frostsikring og ventilering av indre sone med ca 67 kWh/år uten store økonomiske kostnader. En mer optimalisert luftsolfanger kan trolig prestere langt bedre. Det har ikke lyktes å simulere en løsning med jord-luft varmeveksler. Likevel har litteraturstudier gitt stor tro på at løsningen kan bidra svært positivt til reduksjon av energibehovet i indre sone.

Energibehov til frostsikring og ventilering av indre sone

Simuleringer i ESP-r, med klimadata for Østersund, antyder at for den mest optimaliserte modellen utviklet her blir energiforbruket som presentert i Figur 46.

Modell og ventilasjonsløsning	Energiforbruk [kWh/år]
"Optimalisert tung" med mekanisk avtrekksventilasjon av indre sone uten andre tiltak.	174.7
"Optimalisert tung" med ventilering av indre sone ved hjelp av en simpel luftsolfanger på 3m ² .	107

Figur 46: Energibehov for frostsikring av indre sone med optimalisert bygningsmodell.

8 Anbefalinger til videre arbeid

Energiforbruk i bebodde perioder

Innledende undersøkelser antyder at en stor andel av energiforbruket til fritidsboligsektoren kommer som en følge av bebodde perioder. Dersom ønsket er å oppnå en nullutslippsbygning, må dette energiforbruket adresseres. Inspirasjon til tiltak kan i stor grad finnes i løsninger rundt bygging av passivhus, men komfortkravene og investeringsviljen i forbindelse med fritidsboliger er en ganske annen situasjon en for bolighus.

Lite eller mye sol

Det anbefales å arbeide videre med to konsepter:

- Det ene konseptet er beregnet på områder med mye sol og innbefatter vakuumsolfangere og akkumulatortank for frostsikring av indre sone og en optimalisert luftsolfanger for ventilasjon. Bygningskroppen fortsetter å være optimalisert for utnyttning av passiv solvarme.
- Det andre konseptet er beregnet for områder med lite sol, spesielt i vinterhalvåret. Frostsikringen gjøres her gjennom utnyttelse av grunnvarme. Grunnkobling ved hjelp av uisolerte gulv burde utforskes nærmere men også systemer som bidrar med grunnvarme på en mer indirekte måte anbefales. Ventilasjon av indre sone burde trolig gjøres gjennom en nedgravd dukt. Gulvet burde utformes slik det er beskrevet i kapittel 4.2.2. For å kunne gi en god vurdering av denne løsningen er det helt nødvendig med en metode for å simulere termiske forhold i grunnen. Dette burde etter forfatterens mening prioriteres.

Referanser

Amble, Anne Kristine. 2008. *Analyse av energibruk for bygning med passiv soloppvarming og varmeutveksling med grunnen.* Trondheim : Institutt for energi- og prosessteknikk, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU, 2008.

—. **2008.** *Analyse av energibruk for bygning med passiv soloppvarming og varmeutveksling med grunnen.* Trondheim : Institutt for energi- og prosessteknikk, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU, 2008.

ASHRAE. 93-2003. s.l. : ASHRAE 93-2003, 93-2003.

Bansal, Vikas, et al. 2009. *Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for winter heating.* Malaviya : Energy and Buildings, 2009. Vol. 41.

Baumann, H. og Brunklaus, B. 2006. *"Vad innebär ett ökat träbyggande i Sverige för miljön? Granskning av jämförande LCA - studier av stombyggnadsmaterial i hus" ESA - rapport 2002:6.* Göteborg : Chalmers Tekniska Högskola, 2006.

BE. 2011. *Veiledning om tekniske krav til byggverk.* s.l. : Statens Bygningstekniske Etat, be.no, 2011.

Blom, Peter. 1994. 552.302 Naturlig og mekanisk avtrekksventilasjon i småhus.

bks.byggforsk.no. [Internett] Sintef Byggforsk, 1994.

<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=552302#i271>.

Brantenberg, Kim. *Enova.no. Fornybar energi 2007,* . [Internett]

<http://www.enova.no/file.axd?fileID=11>.

Bratteberg, Torbjørn. 2009. *Analysis of Energy Use in Frost-free and CO2-free Leisure Home Building with Active Solar Energy.* Trondheim : Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, 2009.

—. **2010.** *LCA vurdering av konsepter for fritidsbolig med frostsikre sanitærinstallasjoner.* Trondheim : Institutt for energi- og prosessteknikk, NTNU, 2010.

Bøckman, Rasmus. 2010. *Design av ventilasjonsløsning for frostsikker og CO2-fri fritidsbolig.* Trondheim : Institutt for energi- og prosessteknikk, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU, 2010.

Børset, Are Siljan. 2009. *Utvikling av konsept for en nullutslipp fritidsbolig med en isolert frostfri indre sone og soloppvarmet vannmagasin.* Trondheim : Institutt for energi- og prosteknikk, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU, 2009.

Cole, Raymond J. og Kernan, C. Paul. 1996. *Life-Cycle Energy Use in Office Buildings.* s.l. : Elsevier Science Ltd., 1996.

Dalaker, Margrete. 1994. *700.100 Innemiljø i eksisterende bygninger. Problemer og utbedring, 224 Forholdsregler mot sopp og mugg.* s.l. : SINTEF Byggforsk, 1994.

Edwardsen, Knut Ivar og Ramstad, Trond. 2007. *Trehus.* Oslo : Sintef Byggforsk, 2007. Håndbok 53.

Ericsson, Birgitta og Grefsrud, Reidun. 2005. *Fritidshus i innlandet.* Lillehammer : Østlandsforskning, 2005.

ESP-r. **Strathclyde, University of. 2010.** Glasgow : ESRU, Energy Systems Research Unit, 2010.

Geving, Stig og Thue, Jan Vincent. 2002. *Fukt i bygninger, håndbok 50.* s.l. : Byggforsk, 2002.

Gundersen, Per og Edwardsen, Knut I. 2006. 521.111 Golv på grunnen med ringmur. Utførelse. <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=328#i56>. [Internett] Sintef, 2006.

Hand, Jon William. 2010. *The ESP-r Cookbook.* Glasgow, UK : Energy System Research Unit, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, 2010.

Hauer, David. 2011. 740.112 Heksesot. Årsaker, påvisning og tiltak. bks.byggforsk.no. [Internett] Sintef, mars 2011. <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=4013#i02>.

Holz100. Holz100norge. [Internett] Holz100. [Sitert: 10 Mars 2011.] <http://www.holz100norge.com/nedlasting/index.htm>.

Høseggen, Rasmus. 2011. *Førsteamanuensis.* 22 mars 2011.

Jensen, Piet. 2011. *Korrespondanse per mail med Rasmus Bøckman.* 2011.

Karlsson, Nan. 1998. 471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946. Trondheim : Sintef Byggforsk, 1998. 471.008.

Kirkhus, Anders. 1996. bks.byggforsk.no. 311.315 *Beregning av sol-, skygge- og horisontforhold.* [Internett] 1996.

<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=49>.

Kristensen, Tor. 2003. 471.010 *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer.* Trondheim : Sintef Byggforsk, 2003. 471.010.

—. 2003. 471.011 U-verdier. Etasjeskillere. *bks.byggforsk.no.* [Internett] Sintef, 2003.

—. 2003. 471.012 U-verdier. Vegger over terreng. *bks.byggforsk.no.* [Internett] Sintef, 2003.

—. 2003. 471.013 U-verdier. Tak. *www.bks.byggforsk.no.* [Internett] Sintef, 2003.

Kvande, Tore, Lisø, Kim Robert og Hygen, Olav Hans. 2009. Sintef Byggforsk kunnskapssystemer. 451.021 *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring.* [Internett] Sintef Byggforsk , 2009.

<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=451021>.

Magnussen, Kariann og Mattsson, Johan. 2005. Sintef Byggforsk kunnskapssystemer. 701.401 *Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for inneklimateet.* [Internett] Sintef Byggforsk, 2005.

Mohamad, A.A. og Qenawy, Ahmed M. 2007. *ANALYSIS OG HIGH EFFICIENCY SOLAR AIR HEATER FOR COLD CLIMATES.* s.l. : University of Calgary, 2007.

Moran, Michael J. og Shapiro, Howard N. 2004. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 5 th edition.* USA : John Wiley & Sons, Inc, 2004. 0-471-27471-2.

Novacovic, Vojislav, et al. 2007. [bokforf.] Sintef og NTNU. *ENØK I BYGNINGER.* Oslo : Gyldendal undervisning, 2007.

Pilkington. Pilkington. *Pilkington Spectrum On-line.* [Internett]

<http://pilkington.com/products/bp/default1.htm>.

Selvig, Civita AS, Eivind, et al. 2007. *Klimagassregnskap for utbyggingsprosjekter.* s.l. : Statsbygg, 2007.

SSB. 2009. 24 *Tilgang og forbruk av elektrisitet 1998-2009. GWh,* <http://www.ssb.no/emner/01/03/10/energiregn/tab-2010-11-25-24.html>. Oslo : Statistisk Sentralbyrå, 2009.

—. 2008. *Mer peiskos på hytta enn hjemme,* <http://www.ssb.no/magasinet/miljo/art-2009-06-25-02.html>. Oslo : Statistisk sentralbyrå, 2008.

—. 2011. *Tabell: 06952: Byggeareal. Fritidsbygninger. (K)*. Oslo : Statistisk Sentralbyrå, 2011.

StandardNorge. 2007. *NS 3031*. Lysaker : Standard Norge, 2007.

Strathclyde, University of. 2010. *ESP-r*. Glasgow : University of Strathclyde, Energy Systems Research Unit, <http://www.strath.ac.uk/esru/>, 2010.

TEK10. 2010. *TEK10*. Oslo : Statens bygningstekniske etat, 2010.

Tjellflaat, Per Olaf. 2010. *Professor*. Trondheim, September 2010.

—. 2011. *Professor*. mars 2011.

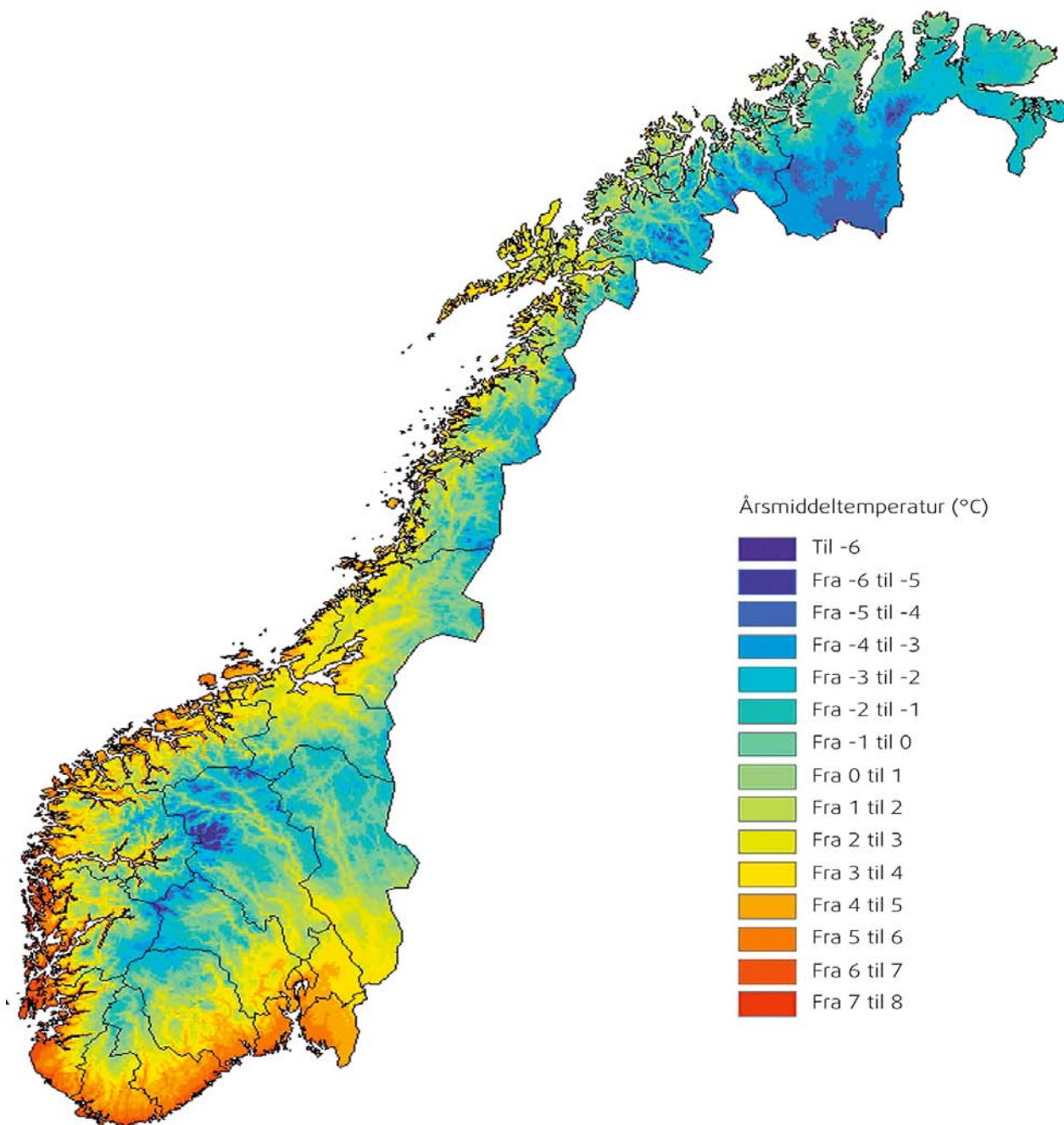
Tjellflaat, Per O. 2010. TBA 4175 Brannteknikk 2007, Undervisning i ventilasjonsteknikk. Trondheim : NTNU, 2010.

Trombe, A. og Serres, L. 1994. *Air-earth exchanger study in real site experimentation and simulation*. Toulouse : Elsevier Science, 1994.

U.S., Department of Energy. 2011. EnergyPlus Energy Simulation Software. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=SWE/cname=Sweden. [Internett] 2011.

Vedlegg:

A. Gjennomsnittstemperaturer i Norge



(Kvande, et al., 2009)

B. Detaljert beskrivelse av modell i ESP-r

Oppvarming

The sensor for function 1 senses the temperature of the current zone.

The actuator for function 1 is air point of the current zone

There have been 1 day types defined.

Day type 1 is valid Sun-01-Jan to Sun-31-Dec, 1995 with 1 periods.

Per|Start|Sensing |Actuating | Control law | Data

1 0.00 db temp > flux basic control 1000.0 0.0 0.0 0.0 5.0 100.0 0.0

basic control: max heating capacity 1000.0W min heating capacity 0.0W max cooling capacity 0.0W min cooling capacity 0.0W. Heating setpoint 5.00C cooling setpoint 100.00C.

The sensor for function 2 senses the temperature of the current zone.

The actuator for function 2 is air point of the current zone

There have been 1 day types defined.

Day type 1 is valid Sun-01-Jan to Sun-31-Dec, 1995 with 1 periods.

Per|Start|Sensing |Actuating | Control law | Data

1 0.00 db temp > flux basic control 1000.0 0.0 0.0 0.0 5.0 100.0 0.0

basic control: max heating capacity 1000.0W min heating capacity 0.0W max cooling capacity 0.0W min cooling capacity 0.0W. Heating setpoint 5.00C cooling setpoint 100.00C.

The sensor for function 3 senses the temperature of the current zone.

The actuator for function 3 is air point of the current zone

There have been 1 day types defined.

Day type 1 is valid Sun-01-Jan to Sun-31-Dec, 1995 with 1 periods.

Per|Start|Sensing |Actuating | Control law | Data

1 0.00 db temp > flux free floating

Zone to control loop linkages:

zone (1) 1_sorli << control 3

zone (2) 1_norli << control 3

zone (3) 2_sorli << control 3

zone (4) 2_norli << control 3

zone (5) 1_indre << control 1

zone (6) 2_indre << control 2

zone (7) taklufting_S << control 3

zone (8) taklufting_N << control 3

zone (9) taklufting_I << control 3

zone (10) luftsofang << control 0

zone (11) luftsol2 << control 0

Nettverk for luftstrømning

Noder:

30 nodes,		10 components,		30 connections		wind reduction = 1	
#	Node	Fluid	Node type	Height	Temp	Volume	Azim
	11_nor	air	internal	1.3	0	72.8	
	22_sor	air	internal	3.9	0	72.801	
	32_nor	air	internal	3.9	0	77.352	
	41_SV	air	boundary wind	0.2			270
	51_SS	air	boundary wind	0.2			180
	61_SO	air	boundary wind	0.2			90
	71_NO	air	boundary wind	0.2			90
	81_NN	air	boundary wind	0.2			0
	91_NV	air	boundary wind	0.2			270
	102_SV	air	boundary wind	5.1			270
	112_SS	air	boundary wind	5.1			180
	122_SO	air	boundary wind	5.1			90
	132_NO	air	boundary wind	5.1			90
	142_NN	air	boundary wind	5.1			0
	152_NV	air	boundary wind	5.1			270
	16tak_sor	air	internal	5.224	0	1.344	
	17tak_nord	air	internal	5.224	0	1.428	
	18tak_SV	air	boundary wind	5.224			270
	19tak_SS	air	boundary wind	5.224			180
	20tak_SO	air	boundary wind	5.224			90
	21tak_NO	air	boundary wind	5.224			90
	22tak_NN	air	boundary wind	5.224			0
	23tak_NV	air	boundary wind	5.224			270
	24tak_l	air	internal	5.224	0	0.3	
	251_sor	air	internal	1.3	0	72.8	
	261_indre	air	internal	1.3	5	16.25	
	272_indre	air	internal	3.9	5	16.25	
	28avkast_luft	air	boundary wind	5.248			0
	29Luftsofange	air	internal	4.156	0	0.15	
	30luftsol_2	air	internal	2.85	0	0.15	

Komponenter

Component Type C+ L+ Description

dor_innv 130 5 0 Specific air flow door $m = \rho \cdot f(W, H, dP)$
Fluid 1.0 width 0.900 height 1.000 ref ht 0.000 discharge factor 0.600

ventil_m1o2 110 2 0 Specific air flow opening $m = \rho \cdot f(A, dP)$
Fluid 1.0 opening area (m) 0.250

ventil_utv 10 3 0 Power law vol. flow component $m = \rho \cdot a \cdot dP^b$
Fluid 1.0 coef a 0.13600E-01 exponent b 0.30000

taksprekk_8 120 3 0 Specific air flow crack $m = \rho \cdot f(W, L, dP)$
Fluid 1.0 crack width (m) 0.0120 crack length (m) 8.000

taksprekk4.5 120 3 0 Specific air flow crack $m = \rho \cdot f(W, L, dP)$
Fluid 1.0 crack width (m) 0.0120 crack length (m) 4.500

taksprekk2.5 120 3 0 Specific air flow crack $m = \rho \cdot f(W, L, dP)$
Fluid 1.0 crack width (m) 0.0120 crack length (m) 2.500

taksprekk5.5 120 3 0 Specific air flow crack $m = \rho \cdot f(W, L, dP)$
Fluid 1.0 crack width (m) 0.0120 crack length (m) 5.500

taksprekk3.5 120 3 0 Specific air flow crack $m = \rho \cdot f(W, L, dP)$
Fluid 1.0 crack width (m) 0.0120 crack length (m) 3.500

vent_indre 110 2 0 Specific air flow opening $m = \rho \cdot f(A, dP)$
Fluid 1.0 opening area (m) 0.007

Vifte_indre 30 2 0 Constant vol. flow rate component $m = \rho \cdot a$
Fluid 1.0 flow rate (m³/s) 0.83333E-02

Koblinger

#	#NAME?	dHght	#NAME?	dHght	Component	Z@+	Z@-
11_sor		0	1_sor	0	dor_innv	1.3	1.3
22_sor		0	2_nor	0	dor_innv	3.9	3.9
31_nor		1.3	2_nor	-1.3	ventil_m1o2	2.6	2.6
41_sor		1.3	2_sor	-1.3	ventil_m1o2	2.6	2.6
51_sor		-1.1	1_SV	0	ventil_utv	0.2	0.2
61_sor		-1.1	1_SS	0	ventil_utv	0.2	0.2
71_sor		-1.1	1_SO	0	ventil_utv	0.2	0.2
81_nor		-1.1	1_NO	0	ventil_utv	0.2	0.2
91_nor		-1.1	1_NN	0	ventil_utv	0.2	0.2
101_nor		-1.1	1_NV	0	ventil_utv	0.2	0.2
112_sor		1.1	2_SV	0	ventil_utv	5	5.1
122_sor		1.1	2_SS	0	ventil_utv	5	5.1
132_sor		1.1	2_SO	0	ventil_utv	5	5.1
142_nor		1.1	2_NO	0	ventil_utv	5	5.1
152_nor		1.1	2_NN	0	ventil_utv	5	5.1
162_nor		1.1	2_NV	0	ventil_utv	5	5.1
17tak_sor		0	tak_nord	0	taksprekk5.5	5.224	5.224
18tak_sor		0	tak_I	0	taksprekk2.5	5.224	5.224
19tak_I		0	tak_nord	0	taksprekk_8	5.224	5.224
20tak_nord		0	tak_NO	0	taksprekk5.5	5.224	5.224
21tak_nord		0	tak_NN	0	taksprekk_8	5.224	5.224
22tak_nord		0	tak_NV	0	taksprekk5.5	5.224	5.224
23tak_sor		0	tak_SV	0	taksprekk3.5	5.224	5.224
24tak_sor		0	tak_SS	0	taksprekk_8	5.224	5.224
25tak_sor		0	tak_SO	0	taksprekk3.5	5.224	5.224
261_sor		1.55	Luftsofange	0	vent_indre	2.85	4.156
271_indre		1.3	2_indre	-1.3	vent_indre	2.6	2.6
282_indre		1.348	avkast_luft	0	Vifte_indre	5.248	5.248
29Luftsofange		0	luftsol_2	0	vent_indre	4.156	2.85
30luftsol_2		-0.775	1_indre	0.775	vent_indre	2.075	2.075

Beskrivelse av soner

Zone 1_sorli (1) is composed of 9 surfaces and 16 vertices.

It encloses a volume of 72.8m³ of space, with a total surface area of 116.m² & approx floor area of 28.0m²

1_sorli beskriver forste etasje sorlig sone

There is 67.000m² of exposed surface area, 39.000m² of which is vertical.

Outside walls are 193.14 % of floor area & avg U of 0.170 & UA of 9.1870

Glazing is 46.143 % of floor & 33.128 % facade with avg U of 1.500 & UA of 19.376

A summary of the surfaces in 1_sorli(1) follows:

Sur	Area m ²	Azim deg	Elev deg	surface name	optical	locat	construction name	environment other side
1	7.88	180	0	Wall-1	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
2	9.1	90	0	Wall-2	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
3	2.6	360	0	Wall-3	OPAQUE	VERT	skillevegg	Wall-5:1_norli
4	6.5	360	0	Wall-4	OPAQUE	VERT	vegg_indre_u	Wall-1:1_indre
5	11.7	360	0	Wall-5	OPAQUE	VERT	skillevegg	Wall-1:1_norli
6	9.1	270	0	Wall-6	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
7	28	0	90	Top-7	OPAQUE	CEIL	et_skill_u	Base-8:2_sorli
8	28	0	-90	Base-8	OPAQUE	FLOR	Gulv_ytre	external
9	12.9	180	0	vindu_1_mot	DCF7365_	VERT	vindu	external

Zone 1_norli (2) is composed of 13 surfaces and 28 vertices.

It encloses a volume of 77.4m³ of space, with a total surface area of 138.m² & approx floor area of 29.8m²

1_norli beskriver forste etasje nordlig sone

There is 73.950m² of exposed surface area, 44.200m² of which is vertical.

Outside walls are 238.08 % of floor area & avg U of 0.209 & UA of 14.796

Glazing is 10.487 % of floor & 7.0588 % facade with avg U of 1.500 & UA of 4.6791

A summary of the surfaces in 1_norli(2) follows:

Sur	Area m ²	Azim deg	Elev deg	surface name	optical	locat	construction name	other side
1	11.7	180	0	Wall-1	OPAQUE	VERT	skillevegg	Wall-5:1_sorli
2	6.5	90	0	Wall-2	OPAQUE	VERT	vegg_indre_u	Wall-4:1_indre
3	6.5	180	0	Wall-3	OPAQUE	VERT	vegg_indre_u	Wall-3:1_indre
4	6.5	270	0	Wall-4	OPAQUE	VERT	vegg_indre_u	Wall-2:1_indre
5	2.6	180	0	Wall-5	OPAQUE	VERT	skillevegg	Wall-3:1_sorli
6	11	90	0	Wall-6	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external

7	18.4	0	0Wall-7	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
8	9.7	270	0Wall-8	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
9	29.8	0	90Top-9	OPAQUE	CEIL	et_skill_u	Base-10:2_norli
10	29.8	0	-90Base-10	OPAQUE	FLOR	Gulv_ytre	external
11	2	270	0dor_1_NV	OPAQUE	VERT	ytterdor	external
12	2.4	0	0vindu_1_NN	DCF7365_	VERT	vindu	external
13	0.72	90	0vindu_1_NO	DCF7365_	VERT	vindu	external

Zone 2_sorli (3) is composed of 10 surfaces and 20 vertices.

It encloses a volume of 72.8m³ of space, with a total surface area of 116.m² & approx floor area of 28.0m²

2_sorli beskriver andre etasje sorlig sone

There is 39.000m² of exposed surface area, 39.000m² of which is vertical.

Outside walls are 93.143 % of floor area & avg U of 0.281 & UA of 7.3272

Glazing is 46.143 % of floor & 33.128 % facade with avg U of 1.500 & UA of 19.376

A summary of the surfaces in 2_sorli(3) follows:

Sur	Area m ²	Azim deg	Elev deg	surface name	optical	locat	construction name	environment other side
1	7.88	180		0Wall-1	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
2	9.1	90		0Wall-2	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
3	2.6	360		0Wall-3	OPAQUE	VERT	skillevegg	Wall-5:2_norli
4	6.5	360		0Wall-4	OPAQUE	VERT	vegg_indre_u	Wall-1:2_indre
5	11.7	360		0Wall-5	OPAQUE	VERT	skillevegg	Wall-1:2_norli
6	7.1	270		0Wall-6	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
7	28	0		90Top-7	OPAQUE	CEIL	tak_ytre	Base-8:takluffting_S
8	28	0		-90Base-8	OPAQUE	FLOR	et_skill_o	Top-7:1_sorli
9	12.9	180		0vindu_bor	DCF7365_	VERT	vindu	external
10	2	270		0dor_2_SV	OPAQUE	VERT	ytterdor	external

Zone 2_norli (4) is composed of 13 surfaces and 28 vertices.

It encloses a volume of 77.4m³ of space, with a total surface area of 138.m² & approx floor area of 29.8m²

2_norli beskriver andre etasje nordlig sone

There is 44.200m² of exposed surface area, 44.200m² of which is vertical.

Outside walls are 138.08 % of floor area & avg U of 0.238 & UA of 9.7695

Glazing is 10.487 % of floor & 7.0588 % facade with avg U of 1.500 & UA of 4.6791

A summary of the surfaces in 2 norli(4) follows:

Sur	Area m ²	Azim deg	Elev deg	surface name	optical	geometry locat	construction name	environment other side
1	11.7	180		0Wall-1	OPAQUE	VERT	skillevegg	Wall-5:2_sorli
2	6.5	90		0Wall-2	OPAQUE	VERT	vegg_indre_u	Wall-4:2_indre
3	6.5	180		0Wall-3	OPAQUE	VERT	vegg_indre_u	Wall-3:2_indre
4	6.5	270		0Wall-4	OPAQUE	VERT	vegg_indre_u	Wall-2:2_indre
5	2.6	180		0Wall-5	OPAQUE	VERT	skillevegg	Wall-3:2_sorli
6	9.9	90		0Wall-6	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
7	18.4	0		0Wall-7	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
8	11	270		0Wall-8	OPAQUE	VERT	yvegg_massiv	external
9	29.8	0		90Top-9	OPAQUE	CEIL	tak_ytre	Base-10:taklufting_N
10	29.8	0		-90Base-10	OPAQUE	FLOR	et_skill_o	Top-9:1_norli
11	0.72	270		0vindu_2_NV	DCF7365_	VERT	vindu	external
12	2.4	0		0vindu_2_NN	DCF7365_	VERT	vindu	external
13	1.8	90		0dor_2_NO	OPAQUE	VERT	ytterdor	external

Zone 1_indre (5) is composed of 6 surfaces and 8 vertices.

It encloses a volume of 16.3m³ of space, with a total surface area of 38.5m² & approx floor area of 6.25m²

1_indre beskriver forste etasje indre sone

There is 6.2500m² of exposed surface area.

Outside walls are 100.00 % of floor area & avg U of 0.096 & UA of 0.60099

A summary of the surfaces in 1_indre(5) follows:

Sur	Area m ²	Azim deg	Elev deg	surface name	optical	locat	construction name	environment other side
1	6.5	180		0Wall-1	OPAQUE	VERT	vegg_indre_i	Wall-4:1_sorli
2	6.5	90		0Wall-2	OPAQUE	VERT	vegg_indre_i	Wall-4:1_norli
3	6.5	0		0Wall-3	OPAQUE	VERT	vegg_indre_i	Wall-3:1_norli
4	6.5	270		0Wall-4	OPAQUE	VERT	vegg_indre_i	Wall-2:1_norli
5	6.25	0		90Top-5	OPAQUE	CEIL	et_skill_u	Base-6:2_indre
6	6.25	0		-90Base-6	OPAQUE	FLOR	Gulv_indre	external

Zone 2_indre (6) is composed of 6 surfaces and 8 vertices.
 It encloses a volume of 16.3m³ of space, with a total surface area of 38.5m² & approx floor area of 6.25m²
 2_indre beskriver indre sone andre etasje

A summary of the surfaces in 2_indre(6) follows:

Sur	Area m ²	Azim deg	Elev deg	surface name	optical	locat	construction name	environment other side
1	6.5	180		0Wall-1	OPAQUE	VERT	vegg_indre_i	Wall-4:2_sorli
2	6.5	90		0Wall-2	OPAQUE	VERT	vegg_indre_i	Wall-4:2_norli
3	6.5	0		0Wall-3	OPAQUE	VERT	vegg_indre_i	Wall-3:2_norli
4	6.5	270		0Wall-4	OPAQUE	VERT	vegg_indre_i	Wall-2:2_norli
5	6.25	0		90Top-5	OPAQUE	CEIL	tak_ytre	Base-6:taklufting_I
6	6.25	0		-90Base-6	OPAQUE	FLOR	et_skill_o	Top-5:1_indre

Konstruksjoner

Details of opaque construction: **ytterdor** and overall thickness 0.065

Layer	Matr	Thick db (mm)	Conduc- tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
1	14	65	0.13	500	2000	0.9	0.65	12	0.5	Ytterpanel

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 1.493 1.563 1.408 (partition) 1.316
 Total area of ytterdor is 5.80

Details of transparent construction: **vindu** with DCF7365_10nb optics and overall thickness 0.028

Layer	Matr	Thick db (mm)	Conduc- tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
Ext	242	6	0.76	2710	837	0.83	0.05	19200	0.01	plate glass
2	0	16	0	0	0	0.99	0.99	1	0.48	air
Int	242	6	0.76	2710	837	0.83	0.05	19200	0.01	plate glass

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 1.500 1.570 1.415 (partition) 1.321

Clear float 73/66, 10mm, no blind: with id of: DCF7365_10nb
with 3 layers [including air gaps] and visible trn: 0.73

Direct transmission @ 0, 40, 55, 70, 80 deg

0.560 0.533 0.488 0.352 0.159

Layer| absorption @ 0, 40, 55, 70, 80 deg

1 0.239 0.258 0.271 0.280 0.258

2 0.001 0.002 0.003 0.004 0.005

3 0.094 0.098 0.099 0.084 0.054

Total area of vindu is 32.08

Details of opaque construction: **Gulv_ytre** and overall thickness 0.435

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
Ext	18	12.5	0.052	267	1900	0.9	0.3	10	0.24	trefiberplate
2	12	250	0.045	70	1900	0.9	0.3	10	5.56	Iso_lprofil
3	13	1	1.5	1500	1900	0.9	0.3	1900	0	dampsperre
4	75	22	0.16	950	2093	0.91	0.65	11	0.14	floorboards
Int	268	150	1.5	1500	2085	0.9	0.7	5	0.1	Clay underfloor

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.161 0.162 0.160 (partition) 0.159

Total area of Gulv_ytre is 57.75

Details of opaque construction: **tak_ytre** and overall thickness 0.266

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
Ext	19	1	0.052	267	1900	0.9	0.3	10	0.02	vindsperre
2	12	250	0.045	70	1900	0.9	0.3	10	5.56	Iso_lprofil
3	13	1	1.5	1500	1900	0.9	0.3	1900	0	dampsperre
Int	64	14	0.14	419	2720	0.9	0.65	12	0.1	fir

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.171 0.172 0.170 (partition) 0.168

Total area of tak_ytre is 64.00

Details of opaque construction: **taktekking** and overall thickness 0.025

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
Ext	85	10	2	2700	753	0.9	0.6	48	0	slate
2	163	6	1.15	2325	837	0.9	0.9	19200	0.01	mastic
Int	79	9	0.13	650	1700	0.9	0.7	1200	0.07	OSB

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 4.009 4.557 3.455 (partition) 2.946
 Total area of taktekking is 64.00

Details of opaque construction: **tak_side** and overall thickness 0.022

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
1	64	22	0.14	419	2720	0.9	0.65	12	0.16	fir

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 3.057 3.365 2.724 (partition) 2.397
 Total area of tak_side is 3.02

Details of opaque construction: **yvegg_massiv** and overall thickness 0.352

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
Ext	50	167	0.046	267	1900	0.9	0.3	10	3.63	trefiberplate
Int	52	185	0.106	500	2000	0.9	0.65	12	1.75	massivtre

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.180 0.181 0.179 (partition) 0.177
 Total area of yvegg_massiv is 128.52

Details of opaque construction: **vegg_indre_i** and overall thickness 0.528

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m^2K/W	Descr
Ext	18	18	0.052	267	1900	0.9	0.3	10	0.35	trefiberplate
2	17	250	0.045	80	1900	0.9	0.3	10	5.56	iso_veg_in
3	17	250	0.045	80	1900	0.9	0.3	10	5.56	iso_veg_in
4	104	9	0.42	1200	837	0.91	0.5	11	0.02	gypsum
Int	13	1	1.5	1500	1900	0.9	0.3	1900	0	dampsperre

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.086 0.086 0.086 (partition) 0.085
 Total area of vegg_indre_i is 52.00

Details of opaque construction: **vegg_indre_u** and overall thickness 0.528

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m^2K/W	Descr
Ext	13	1	1.5	1500	1900	0.9	0.3	1900	0	dampsperre
2	104	9	0.42	1200	837	0.91	0.5	11	0.02	gypsum
3	17	250	0.045	80	1900	0.9	0.3	10	5.56	iso_veg_in
4	17	250	0.045	80	1900	0.9	0.3	10	5.56	iso_veg_in
Int	18	18	0.052	267	1900	0.9	0.3	10	0.35	trefiberplate

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.086 0.086 0.086 (partition) 0.085
 Total area of vegg_indre_u is 52.00

Details of opaque construction: **Gulv_indre** and overall thickness 0.485

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m^2K/W	Descr
Ext	18	12.5	0.052	267	1900	0.9	0.3	10	0.24	trefiberplate
2	16	200	0.047	104	1900	0.9	0.3	12	4.26	paaforing
3	12	250	0.045	70	1900	0.9	0.3	10	5.56	Iso_lprofil
4	13	1	1.5	1500	1900	0.9	0.3	1900	0	dampsperre
Int	75	22	0.16	950	2093	0.91	0.65	11	0.14	floorboards

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.097 0.097 0.096 (partition) 0.096
 Total area of Gulv_indre is 6.25

Details of opaque construction: **tak_indre** and overall thickness 0.266

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m^2K/W	Descr
Ext	64	14	0.14	419	2720	0.9	0.65	12	0.1	fir
2	13	1	1.5	1500	1900	0.9	0.3	1900	0	dampsperre
3	16	200	0.047	104	1900	0.9	0.3	10	4.26	paaforing
4	12	250	0.045	70	1900	0.9	0.3	10	5.56	Iso_lprofil
Int	19	1	0.052	267	1900	0.9	0.3	10	0.02	vindsperre

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.099 0.099 0.099 (partition) 0.099
 Total area of tak_ytre_inv is 64.00

Details of opaque construction: **skillevegg** and overall thickness 0.122

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m^2K/W	Descr
Ext	64	12	0.14	419	2720	0.9	0.65	12	0.09	fir
2	16	98	0.047	104	1900	0.9	0.3	12	2.09	paaforing
Int	64	12	0.14	419	2720	0.9	0.65	12	0.09	fir

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.412 0.417 0.405 (partition) 0.397
 Total area of skillevegg is 57.20

Details of opaque construction: **et_skill_o** (etasjeskiller) and overall thickness 0.212

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m^2K/W	Descr
Ext	64	40	0.14	419	2720	0.9	0.65	12	0.29	fir
2	75	22	0.16	950	2093	0.91	0.65	11	0.14	floorboards
Int	268	150	1.5	1500	2085	0.9	0.7	5	0.1	Clay underfloor

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 1.443 1.508 1.364 (partition) 1.277
 Total area of et_skill_o is 64.00

Details of opaque construction: **et_skill_u** (etasjeskiller) and overall thickness 0.212

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
Ext	268	150	1.5	1500	2085	0.9	0.7	5	0.1	Clay underfloor
2	75	22	0.16	950	2093	0.91	0.65	11	0.14	floorboards
Int	64	40	0.14	419	2720	0.9	0.65	12	0.29	fir

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 1.443 1.508 1.364 (partition) 1.277
 Total area of et_skill_u is 64.00

Details of opaque construction: **Vegg_luftsol** and overall thickness 0.113

Layer	Matr db	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density	Specif heat	IR emis	Solr abs	Diffu resis	R m ² K/W	Descr
Ext	18	12.5	0.052	267	1900	0.9	0.3	10	0.24	trefiberplate
Int	54	35	0.01	50	2000	0.9	0.9	12	3.5	Iso luftsol

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.256 0.258 0.253 (partition) 0.250
 Total area of Vegg_luftsol is 4.70