Moltemyrmodellen - Oppgradering av 70-talls bolig mot passivhus standard

av

Jo Hylje Rasmussen, Bjørn Linde Pedersen, Audun Hammerseth og Kristian Matre

Veileder: Magne Mikal Våge

Prosjektrapport for ENE304 i 6 semester Våren 2013

Fakultet for teknologi og realfag
Universitetet i Agder

Grimstad

Status: Ferdig.

Nøkkelord: Oppgradering av 70-talls bolig mot passivhus standard

Forord

Denne rapporten er arbeidet våres fra bacheloroppgaven våren 2012 som en del av vårt siste semester som studenter innen Ingeniørfag - Elektro: Fornybar energi ved Universitetet i Agder (UIA). Oppgaven med prosjektnavn: ”Moltemyrmodellen - Oppgradering av 70-talls bolig mot passivhus standard” tilsvarer 20 studiepoeng over et semester.

Oppgaven er utført under veiledning fra Universitetslektor ved Universitetet i Agder Magne Mikal Våge og arkitekt Bengt Michalsen fra BGM arkitekter. Oppgaven er i samarbeid med Husbanken og Arendal kommune, vår prosjektleder fra Arendal Kommune har vært Terje Aasbø. Vi retter en takk til Magne Mikal Våge for hans hjelp under hele prosessen. En stor takk til Bengt Michalsen, for hans engasjement og for hans verdifulle råd og kunnskap.

Oppgaven vår omfatter en del emner som ikke er tidligere dekket i studiet vårt, men som vi i løpet av oppgaven har lært utrolig mye om. Det har vært en krevende, lærerik og spennende oppgave. Det er utrolig hvor mye vi har lært på 1.semester. Vi er veldig fornøyd og stolte av resultatene vi nå kan levere.

Grimstad
28. Mai 2013
Kristian Matre, Audun Hammerseth, Jo Hylje Rasmussen og Bjørn Anders Linde Pedersen

Sammendrag

Oppgaven omhandler en eldre bolig ved Moltemyrsvingen 17 i Arendal som skal oppgraderes. Huset er bygget i 1967, og er et typisk hus fra denne perioden. Bakgrunnen for oppgaven er at Kommunaldepartementet i Arendal ønsker at rehabilitering av eksisterende boligmasse blir et prioritert tema i Husbanken sitt arbeid i 2013. Husbanken har derfor initiert prosjektet hvor Arendal Kommune har stilt en av sine boliger til disposisjon. Arkitekt Bengt G. Michalsen har vært en mentor i arbeidet og holdt kurs for studentene om passivhus og bygningsfysikk.

Problemstillingen var i hovedsak finne de mest lønnsomme tiltakene av en total oppgradering mot passivhus standarden. For at dette kunne bli gjort var det nødvendig å se på enkelttiltak ved bygningsfysikk, ventilasjon og oppvarming. En annen målsetning var å formidle kunnskap og erfaringer gjort underveis i prosjektet til bygge bransjen og eiere av eldre boliger. Dette ble formidlet gjennom tre frokostmøter i regi av Husbanken, hvor studentene la frem sitt arbeid. Resultatene ble deretter kommentert og diskutert av deltakerne. Husbanken har også hatt en del oppslag i media.[12]

Tilstandsanalysen viser at boligen lider av store varmetap gjennom kuldebroer, lekkasjer og lite isolasjon. Oppgaven ble derfor først og fremst å redusere varmetapet, deretter å jobbe seg oppover kyotopyramiden. Det er evaluert tiltak som kan gjøres med klimaskallet, ventilasjonen og oppvarmingssystemet. Når det gjelder klimaskallet er tetthet, fuktvandring og kuldebroer et sentralt tema.

Tiltakene må tilfredsstille minstekravene i TEK10 da dette blir betraktet som en større oppgradering. Lønnsomheten av de ulike tiltakene er basert på investeringskostnaden, salgsverdien, støtte fra Enova og økning i inflasjon Lønnsomhetsanalysen gir et enkelt og oversiktlig bilde av tilbakebetalingstid og nåverdi for vanlige huseiere.

Det endelige resultatet er en bolig som er bedre enn minstekravene i TEK10, med unntak av U-verdien til gulvet. Oppvarmingen av tappevann fra solfangere kombinert med en varmtvannsbereder vil være en lønnsom løsning. Et balansert ventilasjonssystem med en roterende varmegjenvinner vil være nødvendig for å oppfylle minstekravet til luftskifte og for

å få et behagelig inneklima. De bygningstekniske løsningene som er valgt skal sikre en tett konstruksjon med mindre kuldebroer. Oppvarmingsbehovet etter oppgraderingen vil være 5188kWh, sammenlignet med 36 720kWh som var oppvarmingsbehovet før. Den største økonomiske besparelsen kommer av å redusere varmetapet, Men det spares også en del med varmegjenvinning i ventilasjonen og solenergi til oppvarming av tappevann.

Enova gir opptil 125 000,- NOK til støtte for oppgradering av boliger. Etter kontakt med Enova vil våre løsninger mest trolig motta 110 000,- NOK i støtte. Om det derimot skulle vise seg at løsningen ikke er tilfredsstillende nok for å motta støtte, vil det være lønnsomt å etterisolere mer i taket, deretter i yttervegg for å motta støtten.

Det er vanskelig å finne en fasit eller bruksanvisning som passer for alle boliger, ettersom det er avhengig av en del variabler som vil endre seg i fremtiden. Vår konklusjon trekkes utfra vår oppdragsgivers ønske om en lønnsom investering.

Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING 7
1.1. BAKGRUNN FOR ARBEIDET 7
1.2 PROBLEMSTILLING 9
1.3 OMFANG OG BEGRENSINGER 9
1.4 DEFINISJONER OG BEGREPER 10

2. METODE 12
2.1 PASSIV ENERGIDESIGN KYOTO-PYRAMIDEN 12
2.2 ENERGIBEREGNINGER MED SIMIEN 13
2.3 TRYKKTEST 15
2.4 TERMOGRAFERING 17
2.5 AUTOCAD 18
2.6 LØNNSOMHETSANALYSE 18
2.7 LITERATURSTUDIE 21
2.8 MØTER OG VEILEDNING 22

3. TILSTANDSANALYSE 23
3.1 HUSET I MOLTEMYRSVINGEN 23
3.2 TERMOGRAFERING 26
3.3 TRYKKTEST 27
3.4 ENERGIBEREGNINGER MED SIMIEN 28
3.5 OPPSUMERING AV TILSTANDSANALYSEN 32

4. BAKGRUNNS TEORI 33
4.1 ISOLASJONSMATERIALER 33
4.1.1 Rockwool Flex Systemvegg: 33
4.1.2 Glava – Glassull 34
4.1.3 SPU -Isolasjon 35
4.1.4 Vakuum Isolasjon: 37
4.2 KONSEKVENSER VED OPPGRADERING 38
4.2.1 Inneklima 38
4.2.2 Materialers Miljøpåvirkning 40
4.3 NORSKE FORSKRIFTER 40
4.3.1 Teknisk Forskrift 2010 (TEK10) 40
4.3.2 Passivhus og Lavenergi standarden (NS:3700) 41
4.4 UNIVERSELL UTFORMING 43
4.5 OPPVARMINGSSYSTEMER 44
4.5.1 Varmepumpe 44
4.5.2 Gråvannsgjenvinner 44
4.5.3 Utnytte solenergi 45
4.6 VENTILASJON 47
4.7 STØTTE FRA ENOVA 48
4.8 ENERGIMERKING 49

5. PROBLEMSTILLINGER VED OPPGRADERING AV EKSISTERENDE BOLIGER 50
5.1 BYGNINGSFYSIKK 50
5.1.1 Tetthet 50
5.1.2 Fuktvandring 52
5.1.3 Kuldebroer 54
5.1.4 0-punktproblematikken 55
5.2 ETTERISOLERING AV GULV 55
5.2.1 Kantisolering 56

5.3 KALDT LOFT 56
5.4 LYD OG BRANN 56
5.5 MATERIALVALG 56
5.6 VENTILASJON 57
5.7 OPPVARMINGSSYSTEMER 57

6. VURDERING AV TILTAKENE 59
6.1 BYGNINGSFYSIKK 61
6.1.1 Tetthet 62
6.1.2 Fuktvandring 68
6.1.3 Kuldebroer 70
6.1.4 0-punkt problematikken 73
6.2 ETTERISOLERING GULV 74
6.2.1 Kantisolering 76
6.3 LOFT 77
6.4 LYD OG BRANNKRAV 79
6.5 VENTILASJON 79
6.6 OPPVARMING 80
6.6.1 Romoppvarming 81
6.6.2 Tappevannsoppvarming 82

7. RESULTAT 83
7.1 REDUSERE VARMETAPET 84
7.2 REDUSERE EL FORBRUKET 89
7.3 UTNYTTE SOLENERGI 89
7.4 VIS OG REGULER ENERGIFORBRUKET 90
7.5 VELGE ENERGIKILDE 91
7.6 ANDRE TILTAK 91
7.7 OPPSUMMERING AV RESULTATER 93

8. DISKUSJON 95

9. KONKLUSJON 99

10. FORSLAG TIL VIDERE ARBEID 101

1. Innledning

1.1. Bakgrunn for arbeidet

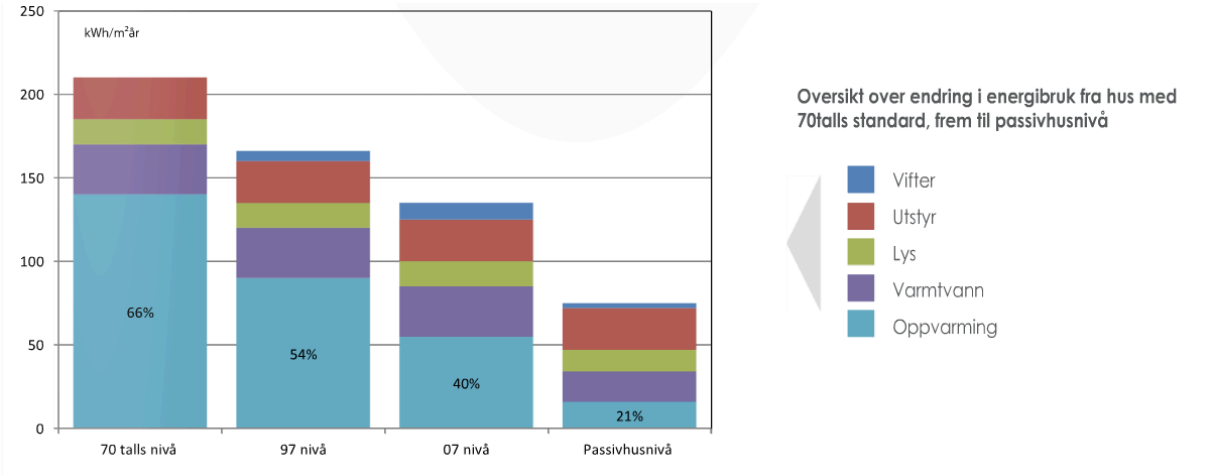
Tabell 1: Utviklingen av forskriftskrav

Utvikling av	Tak	Gulv	Yttervegg
Passivhus standarden	**0,13** W/m2K	**0,15** W/m2K	**0,15** W/m2K
TEK 2010	**0,13** W/m2K	**0,15** W/m2K	**0,18** W/m2K
TEK 1969	**0,41** W/m2K	**0,58** W/m2K	**0,36** W/m2K

Det jobbes i dag hardt for å minske utslipp av klimagasser som CO_2. Den siste hovedrapporten til FNs klimapanel konkluderer med at bygg står for omtrent en tredjedel av de globale utslippene av CO_2. [3] Strømforbruket i byggsektoren tilsvarer 40 prosent av Norges totale strømforbruk. I Norge produseres 99 prosent[4] av all strømproduksjon fra vannkraft som er en fornybar energiressurs. Men selv om nesten all strømproduksjon er fra en fornybar energiressurs, er Norge en del av et internasjonalt kraftmarked som i dag henter det meste av sin strøm fra fossilt brensel. Det brukes nå mer strøm enn det produseres i Norge.[5] For å minske utslippene må det enten produseres mer strøm fra fornybare energikilder, eller minske det totale strømforbruket. 30 prosent av utslippene som kommer fra bygg kan reduseres med lønnsomme tiltak, det er både raskt og kostnadseffektivt.[6] Kunnskapen og teknologien er tilgjengelig og utprøvd, men ikke kjent for folk flest.

Mellom 1946-2001 ble over 1,54 millioner boliger bygd i Norge, det tilsvarer i dag 78 prosent av den totale boligmassen her til lands. På 70-tallet ble det produsert flest boliger, i gjennomsnitt ble 40 000 nye boliger bygd hvert år.[7] Som vist i tabell 1 har det siden 60-70 tallet blitt satt strengere krav til U-verdier i boliger. Kravene gjelder for nye boliger som blir bygget, og ved større oppgraderinger. Det vil si at det i dag er mange eldre boliger som er langt under dagens krav til isolering for nye bygg. Ifølge Enova har boliger bygd på 60-90 tallet vesentlig mindre isolasjon enn dagens krav, husene laget i denne tidsperioden ble typisk isolert med 10 centimeter veggisolasjon. Til sammenligning er isolasjonen brukt på passivhus i dag typisk rundt 40 centimeter. Dessuten kan gammel isolasjon være deformert, sammentrykt eller preget av byggefeil.[8] I følge SINTEF er bygninger fra 60-, 70- og 80-tallet modne for oppgradering. Det regnes med at 80 prosent av dagens bygningsmasse fortsatt vil

være i bruk i 2050.[9] Det er dermed aktuelt å se nærmere på oppgradering av eldre boliger. Figur 1, viser at det meste av energien i eldre boliger går til oppvarming. I et passivhus er kun 21 prosent av energibruken i en gjennomsnittlig bolig brukt til oppvarming, i tillegg er den totale energibruken i et passivhus nesten tre ganger mindre. Det er i hovedsak energi til romoppvarming hvor det er mest å spare.



Figur 1: Oversikt over endringer i energibruk fra 70-talls boliger frem til passivhusnivå. Hentet fra BGM's brosjyre om energieffektive boliger.

Den økende strømprisen er også noe som spiller inn ved en oppgradering av boliger. Tradisjonelt sett har Norge hatt noen av de billigste strømprisene i Europa, men i dag er Norge omtrent på samme nivå som andre europeiske land. Strømprisen er stadig stigende, og har steget spesielt mye etter 2000.

Boligen i dette prosjektet er bygget i 1967, og er lokalisert i Moltemyrsvingen 17, Arendal. Det kan kategoriseres som et klassisk 70-talls hus, tiltak her vil derfor være relevant for de fleste andre boliger fra perioden.

Det er Husbanken som har initiert Moltemyrmodellen og Arendal kommune som har stilt en av sine boliger til disposisjon. Husbankens mål innen bolig og bygningspolitikken er at "Alle skal bo godt og trygt og at boliger og bygg skal være av god kvalitet." Kommunaldepartementet i Arendal her bedt om at oppgradering av eksisterende bygningsmasse skal være et prioritert tema for Husbanken. Videre er viktige verdier for husbanken å forbedre klima og miljø, samt å tilfredsstille kravene til universell utforming i

sitt arbeid med oppgradering av eksisterende boliger. Kommunaldepartementet har videre bedt Husbanken komme med forslag til oppgraderingstiltak på eksisterende boligmasse som er i harmoni med Husbankens verdier. Det er i departementets hensikt at Husbanken skal gå frem som et forbilde med et pilotprosjekt som styrker arbeidet med å innhente, systematisere og spre kunnskap. Moltemyrmodellen er i den sammenheng et relevant prosjekt for Husbanken for å tilfredsstille departementets bestilling. Oppgraderingen vil føre til energieffektivisering, universell utforming og at antall boenheter øker. Arendal kommunes motivasjon er å stå frem som en miljøkommune, og ser dermed nytten av dette prosjektet. De stiller derfor en kommunal bolig til disposisjon og investerer ressurser, både personalmessig og økonomisk i Moltemyrmodellen.

1.2 Problemstilling

Vårt oppdrag for Husbanken og Arendal kommune er å prosjektere en oppgradering av 70-talls boligen på Moltemyr, med vekt på investeringskostnad og energibesparelse.
Oppgaven har mer detaljerte problemstillingene:

- Utføre en tilstandsanalyse av boligen, og angi forbedringspotensialet.
- Finne de mest lønnsomme tiltakene av en totaloppgradering mot passivhus standarden.
- Hvilke løsninger bør velges for å tilfredsstille kravene om tetthet, varmetap og energibesparelse?
- Formidle prosjektets erfaringer og resultater gjennom frokostmøter.

1.3 Omfang og begrensinger

Denne oppgaven vil omhandle tiltak spesifikt for dette prosjektet, men det er ønsket å finne en konklusjon som også kan gjelde andre boliger fra samme tidsperiode. Konklusjonen og arbeidet i dette prosjektet vil derfor kun omhandle boligen i Moltemyrsvingen 17. Erfaringene gjort i dette prosjektet vil bli formidlet videre gjennom frokostmøter og medier. Det var i dette prosjektet nødvendig å gå inn på detaljer rundt bygningsfysikk for å kunne svare på problemstillingen angående tetthet, varmetap og energibesparelse.

1.4 Definisjoner og begreper

U-verdi – Varmegjennomgangskoeffisient:

U-verdi er et mål på en bygningsdel, som for eksempel en vegg, sin varmeisolerende evne. Lavere U-verdi gir høyere varmeisolerende evne. Betegnelsen for U-verdi er W/(m2K). [10]

Varmeledningsevne (Lambdaverdi):

Skrives som λ, og er et mål på hvor god varmeisolerende evne et materiale har. Mens U-verdien beskriver den samlede varmeisoleringsevnen til en flate, sier varmeledningsevne kun noe om den varmeisolerende evnen til selve materialet. Betegnelsen for varmeledningsevnen er W/mK.[11]

Varmetapstall:

Varmetapstall er et mål for bygningers varmetap til omgivelsene, varmetapstallet beregnes i W/m2.

TEK10:

Byggteknisk forskrift fra 2010, som stiller tekniske krav til byggverk. TEK10 stiller minimumskrav til nybygg og større oppgraderinger.[12]

BTA:

Bruttoareal (BTA) som etter Norsk Standard 3940:2012 er arealet som er summen av bruttoarealene for alle plan i en bygning. [13]

BRA:

Bruksareal (BRA) som etter Norsk Standard 3940:2012 er arealet av en bolig som boligen ligger innenfor omsluttende vegger.[14]

Netto energibehov:

Netto energibehov er total energi som bygningen forbruker, uten hensyn til virkningsgrad for komponentene som bruker energien.[15]

Passivhus:

Passivhus er hus som er konstruert for å gi et vesentlig lavere energibehov enn dagens standard. Passivhus har et energibehov som er omtrent 1/4 av energibehovet for tradisjonelle boliger.[16]

Lekkasjetall, (n50)[h-1]: Hvor ofte luftvolumet i bygget skiftes ut per time ved et under- eller overtrykk på 50Pa.[17]

Bygningsfysikk:

Bygningsfysikk er de fysiske prosessene knyttet til varme-, luft- og fukttransport i en bygning.[18]

Realrente:

Realrente måles som differansen mellom nominell rente og inflasjonsraten. Realrenten er et mål på reell lånekostnad eller realavkastning av finanskapital.[19]

Inflasjon:

Inflasjon er et fall i verdi av penger. Det vil si at man får mindre varer for samme sum av penger.[20]

Nominell rente:

Nominell rente angir det årlige rentebeløpet som en prosentandel av et lån.[21]

As-is:

Med As-is menes dagens tilstand på boligen.

2. Metode

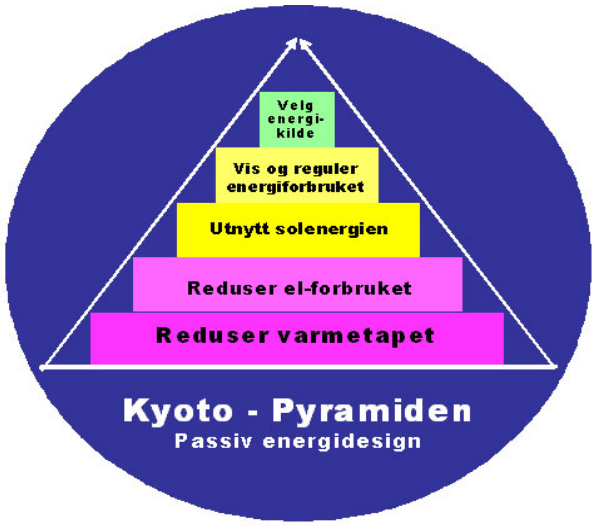
Det vil i dette kapittelet bli forklart hvilke verktøy og metoder som er blitt brukt for å bidra til å løse prosjektets problemstillinger. AutoCAD er brukt for å lage digitale tegninger av boligen. Energiberegninger er gjort i SIMIEN for å simuler nytt og gammelt energiforbruk. Det er uført trykktest og termografering for å undersøke lekkasje og kuldebroer i boligen.

2.1 Passiv Energidesign Kyoto-pyramiden

For å redusere det totale energibehovet til en bolig brukes prinsippene angitt i kyoto-pyramiden. Kyoto-pyramiden består av fem forskjellige trinn, der de nederste og største trinnene bør fokuseres mest på ved en rehabilitering, siden det her er mest energi å spare. Pyramiden spisser seg så inn mot toppen med mindre energibesparende tiltak. Det er nødvendig å følge alle trinnene fra bunn til topp, og oppfylle alle trinnene for at kyoto-pyramiden skal ønsket effekt. Ikke bare må vi fokusere mest på trinn 1, men gjøre det i den rekkefølge, ettersom det ikke er relevant å se på videre trinn før du vet hvor mye du kan redusere varmetapene. Moltemyrmodellen har brukt kyoto-pyramiden som en prinsippskisse for å lokalisere energibesparende tiltak. Prosjektet har tatt hensyn til at alle trinnene i pyramiden er gjort. Om et trinn ikke blir gjort som å utnytte solenergi vil de andre trinnene være mer essensielle, som å velge energikilde vil da ha større betydning enn før.

Trinn 1. Redusere varmetapet

Redusere varmetapet er det første og det viktigste tiltaket, her er det mest energi som kan spares, og derfor et noe som bør vektlegges ved oppgradering av boliger. For å redusere varmetapet gjelder det å få et lufttett klimaskall som også er fri for kuldebroer, dette bidrar også til en energieffektiv ventilasjon. Energieffektiv ventilasjon, ofte med varmegjenvinner, er viktig siden det bidrar til redusert varmetap. Etterisolering av tak, gulv, vegger og bytte ut gamle vinduer er en kostbar, men nødvendig investering for å



Figur 2: Kyotopyramiden – Passivt Energidesign

redusere varmetapet ved rehabilitering av bolig. [22]

Trinn 2. Redusere el-forbruket

For å redusere elektrisitetsforbruket er det viktig å være bevisst på forbruket til alle elektriske komponenter i huset. Det er mye å spare på mer energieffektive hvitevarer og belysning, som ikke er veldig kostbart.

Trinn 3. Utnytt solenergi

Solenergi kan utnyttes både passivt og aktivt, og er en miljøvennlig og gratis energikilde. Passiv solenergi utnyttes ved at husets vinduer og plassering er orientert slik at de kan utnytte den passive solenergien, ved behov. Det er viktig å ha tilstrekkelig solavskjerming spesielt om sommeren for å hindre at det blir for mye solvarme. Solfangeranlegg utnytter solenergien aktivt for å produsere varme til tappevann og/eller romoppvarming. For å produsere elektrisitet kan solceller brukes.

Trinn 4. Vis og reguler energiforbruket

Ved å vise og regulere energiforbruket gir en brukeren oversikt over energiforbruket i boligen. Ved å vise og regulere energiforbruket underveis kan en også redusere energibruken ved å hindre overforbruk.

Trinn 5. Velg energikilde

Til slutt skal oppvarmingskilde velges. Det må ofte tas hensyn til eksisterende infrastruktur og lokal tilgjengelighet. Det kan for eksempel være fjernvarme eller annen biobrensel som er tilgjengelig. Det er her ønskelig med en energieffektiv oppvarming, men ettersom oppvarmingsbehov nå er lavt er det ofte supplert med tradisjonell elektrisk oppvarming.[23]

2.2 Energiberegninger med SIMIEN

SIMIEN, står for simulering av inneklima og energibruk i bygninger. Det er et norsk simuleringsprogram utviklet av Programbyggerne, for å simulere luftkvalitet, energibruk, effektbehov og inneklima i en eller flere soner i bygninger.[24] Med simulering menes her beregninger av bygningens tilstand over en gitt tidsperiode. Ofte brukes SIMIEN for å evaluere en bygning mot byggeforskrifter, den kan da evalueres opp mot siste gjeldende

byggeforskrifter eller videre mot passivhus standarden. Programmet kan også produsere en energiattest som videre må lastes opp på energimerking.no for å få en offisiell energiattest.

Før du kan simulere må du legge inn en komplett bygningsbeskrivelse. Data for klima, bygningskropp, ventilasjon, oppvarming, kjøling, teknisk utstyr og brukervaner legges inn. Det er laget en database i SIMIEN som er designet for å ta hensyn til klimaet i Norge, og typiske Norske bygningskonstruksjoner. Ut ifra dataen som er lagt inn i programmet beregnes temperatur, luftfuktighet, CO2 konsentrasjon, nødvendig effekt for kjøling og oppvarming. Dette gjør programmet til et svært nøyaktig og nyttig program for å simulere energibruk i bygninger. Programmet er også spesielt egnet for å beregne hvor mye energi som vil spares ved forskjellige tiltak på en bygning. Resultatene fra en simulering i SIMIEN blir fremstilt grafisk og i oversiktlige tabeller. SIMIEN kan videre utføre simulering for en rekke ulike forhold:[25]

- Dimensjonerende vinterforhold
- Dimensjonerende sommerforhold
- Års simulering
- Evaluering mot TEK
- Energimerking
- Evaluering mot NS:3700

I vårt tilfelle er det spesielt aktuelt med års simulering og evaluere boligen opp mot TEK10 og NS:3700. Tabell 2 viser Oversikt over kravene til oppvarming fra NS:3700 som ligger integrert i SIMIEN. Dette gjør at vi får svar på om vi tilfredsstiller kravene ved en enkel simulering av våre tiltak. En års simulering vil vise netto energibruk, levert energi, varighetskurver for temperatur og effekt oppvarming/kjøling.

Tabell 2: Høyest beregnede netto energibehov til oppvarming iht. NS;3700

Årsmiddel temperatur Θym	**Høyest beregnede netto energibehov til oppvarming** kWh/(m²·år)	
	Boligbygging der $A_{fl} < 250$ m²	Boligbygging der $A_{fl} \geq 250$ m²
≥ 6,3 °C	$15 + 8 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100}$	15
< 6,3 °C	$15 + 5{,}4 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100} + \left[2{,}1 + 0{,}59 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100}\right] \times (6{,}3 - \Theta ym)$	$15 + 2{,}1 \times (6{,}3 - \Theta ym)$

2.3 Trykktest

Trykktest er en metode som tester hvor mye lekkasje det er i en bygning. Trykktesten viser hvor mange ganger det totale luftvolumet i en bygning skiftes ut per time. Dagens krav i TEK10 er maksimalt 2.5 luftskifter per time for boliger, og 0.6 luftskifte per time for passivhus. [26]. Testen kan kun utføres etter at klimaskallet for bygningen, eller den delen av bygningen som skal prøves, er ferdig.[27] Noen meteorologiske forhold må ligge til rette for å utføre en trykktest så nøyaktig som mulig, produktet av differansen mellom inne- og utetemperatur multiplisert med høyden av klimaskalle skal ikke være større enn 500. Dessuten skal ikke vindhastigheten overskride 6m/s for at å ha en naturlig trykkdifferanse. [28]

En trykktest kan utføres ved forskjellige metoder som har ulike krav til måten bygningen er klargjort på. Begge metodene krever at alle tilsiktede utvendige åpninger, som vinduer, dører og peisspjeld, som er i bygningen. Metode A er en trykktest gjort på en bygning i bruk, det skal her ikke utføres videre tiltak enn nevnt ovenfor. Klimaskallet skal her være representativt for den sesongen det brukes varme- eller kjøleanlegg. Metode B er først og fremst for å teste klimaskallet. Her skal alle justerbare åpninger lukkes, og alle andre tilsiktede åpninger skal tettes igjen.[29]

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

Formel 1: Lekkasjetall ved normaltrykk. NS:3031

n_{50}= lekkasjetall ved 50 Pa $\left[h^{-1} \right]$.

e, f = terrengskjermingskoeffisienter

V= oppvarmet luftvolum i m^3.

$\dot{V}_1$ = tilluftsmengde i mekanisk ventilasjonanlegg i m^3/h.

$\dot{V}_1$ = avtrekksluftmengde i mekansik ventilasjonsanlegg i m^3/h.

n_{inf} = Luftskifte for infiltrasjon

For å utføre en trykktest må trykksetningsutstyret monteres ved en dør, vindu eller ventilasjonsåpning inn til bygningen, man sikrer at dette utstyret tetter hele døråpningen for at målingen skal bli korrekt. Videre er det montert en kalibrert vifte på trykksetningsutstyret som skaper et under eller overtrykk på 50 Pa. Viften er koblet til en datamaskin som loggfører resultatet. En har da god kontroll på luftstrømmen inn og ut av bygningen. Ved å analysere hvor mye viften jobber ved trykkforskjell på 50 Pa, får du et lekkasjetall som forteller deg lekkasjetallet til bygningen. Dette lekkasjetallet er beregnet med en trykkforskjell på 50 Pa, for å konvertere lekkasjetallet til normale forhold for huset brukes formel nr.1[30]

Terrengskjermingskoeffisienten *e* er avhengig av hvor skjermet bygningen ligger, det må tas hensyn til dette når lekkasjetall under normale forhold skal beregnes. Skjermingsklassen skal bestemmes fra vedliggende tabell 3.[31] Ettersom huset i Moltemyrsvingen er under moderat skjerming og har mer enn en utsatt fasade vil huset ha en terrengskjermingskoeffisient på 0.07.

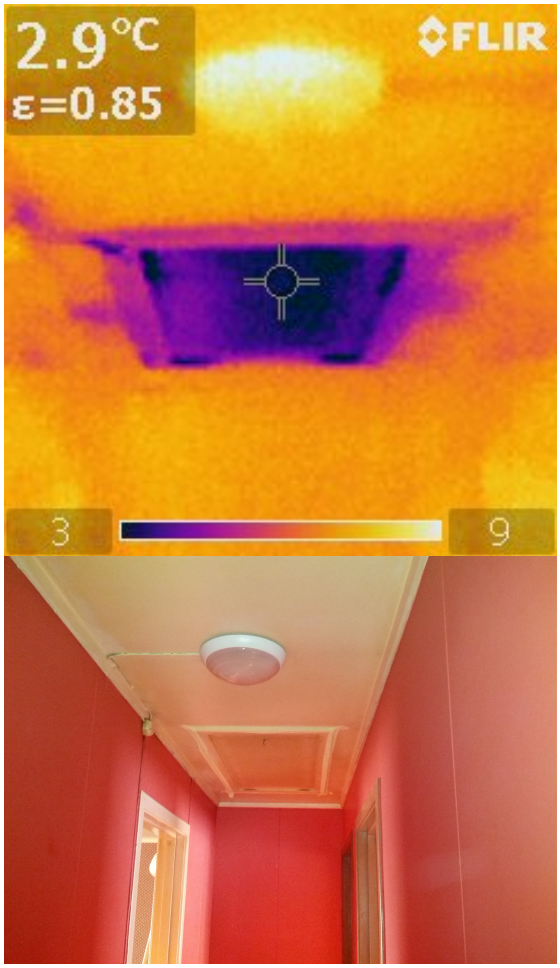
Tabell 3: Beregning av Terrengskjermingskoeffisienten *e*.

Skjermingsklasse	**Beskrivelse**	**Koeffisient** *e*	
		Mer enn en utsatt fasade	**En utsatt fasade**
Ingen skjerming	*Bygninger i åpent landskap, høyblokker i bysentre*	**0.10**	**0.03**
Moderat skjerming	*Bygninger på landet eller i forsteder med trær eller andre bygninger rundt*	**0.07**	**0.02**
Høy skjerming	*Bygninger av middels høyde i bysentre, eller i skogområder*	**0.04**	**0.01**

2.4 Termografering

Termografering utføres for å avdekke eventuelle luftlekkasjer og skadet/mangelfull isolasjon, damptetting, vindtetting og overopphetninger i elektriske-anlegg. Termografering skjer ved hjelp av et apparat som måler strålevarme fra et objekt, og brukes for å se etter svakheter i bygningskonstruksjon. Termografering er ikke til skade for bygget, og utføres med hjelp av et termografikamera. Kameraet tar opp de infrarøde stålingene som framstiller temperaturdifferanser visuelt på skjermen. På denne måten kan en se temperaturforskjellene på overflater.

Under en termografering skal en påføre huset et innvendig over- eller undertrykk. Dette



Figur 3: Etter termografering i Moltemyr viste takluken seg å være en stor kuldebro

gjøres gjerne samtidig med en trykktest av boligen. Resultatene av en termografering vil da vises ekstra tydelig. [3233]

2.5 AutoCAD

AutoCAD er et internasjonalt tegneprogram som ofte er brukt av ingeniører og arkitekter for 2D, og 3D tegninger digitalt. Tegningene skaper en lettvint oversikt for alle aktører som er med i et byggeprosjekt. Vi har brukt AutoCAD til å digitalisere gamle bygg-tegninger, lage nye plan tegninger og nye detalj tegninger.

2.6 Lønnsomhetsanalyse

Det er essensielt at prosjektet Moltemyrmodellen skal være lønnsomt, både for byggherren og for andre med eldre boliger. Men det er også et ønske at det skal sees på lønnsomheten av enkelttiltak og ikke bare en totalvurdering. Derfor skal det lønnsomheten av oppgradering av de forskjellige konstruksjonene og tekniske delene av boligen undersøkes. For å analysere ut om en investering vil lønne seg og hvor mye, finnes det flere parametere som må tas hensyn til. For eksempel er et prosjekts usikkerhet større jo lenger perspektiv en har. Det kan også forekomme endringer i renter, inflasjon og energipris som er vanskelig å spå. For å undersøke om en investering er lønnsom er det i hovedsak disse fem faktorene som må evalueres.[34]

- Investeringsutgiften
- Levetiden til investeringen
- Utrangeringsverdien
- Fremtidige innbetalinger og utbetalinger fra driften
- Avkastningskrav
- Inntjening

Investeringsutgiften er i dette prosjektet er alle utgifter byggherre må betale i forbindelse med oppgraderingen. Alle kostnader som er med i forkant av investeringen skal ikke være med som investeringskostnad, av den grunn at det er kostnader uansett om man investerer eller ikke. Levetiden til et tiltak kan fastsettes utfra hvor lenge en investering teknisk sett kan fungere, eller den økonomiske levetiden, altså den levetiden som økonomisk sett er den gunstige. Den er som regel litt kortere enn teknisk levetid siden det ofte kan være mer

økonomisk med utskiftning, enn vedvarende vedlikehold.[35] Den økonomiske levetiden til bygningsmessige konstruksjoner, som regel rundt 30-60 år, er vanligvis lenger enn for elektriske artikler som er typisk rundt 15-20 år. [36]

Utrangeringsverdien er den salgsverdien eiendelen har når levetiden er over. Det er her vanskeligere å anslå en salgsverdi når levetiden er lang.[37] Oppgradering av en bolig vil gi en betraktelig økning i salgsverdi.

Til slutt er det viktig å ha et klart bildet av alle fremtidige innbetalinger og utbetalinger av driften, altså årlig kontantoverskudd. En oppgradering av et hus vil først og fremst være et besparende tiltak, ved at penger som hadde gått til kjøp av elektrisitet blir spart. En slik oppgradering kan imidlertid gi nye utgifter til vedlikehold og drift av de energibesparende tiltakene. For å evaluere om en investering vil være lønnsom må det settes en kalkulasjonsrente, som bør inneholde korreksjoner for:[38]

- Inflasjon
- Skatteforhold

Kalkulasjonsrenten skal reflektere hvilke avkastning som kan oppnås ved alternativ plassering av pengene. Om en istedenfor å investere hadde satt pengene i banken ville pengene vært rentebærende og gitt en viss avkastning. For at en investering skal være lønnsom må den altså gi bedre avkastning enn å ha pengene i banken.[39] Renteinntektene må det videre skattes 28 prosent av. Høyere kalkulasjonsrente vil gi krav om høyere årlig besparelse for at den skal være lønnsom. Det legges ofte til et risikotillegg ved utregning av kalkulasjonsrente for en investering, ettersom de fleste prosjekter har høyere risiko enn for eksempel å plassere pengene i banken.

Ved offentlige tiltak, som dette prosjektet utført av Husbanken, med lav til moderat risiko benyttes det en rente på fire prosent inkludert risikotillegg før skatt. I de fire prosentene ligger det en realrente, altså den reelle avkastningen justert for inflasjon og skatt[40], på tre prosent, pluss et risiko tillegg på en prosent. [41] Disse fire prosentene er før skatt, om en regner med at 28 prosent går til skatt, fås det en kalkulasjonsrente på 2.86 prosent, som kalles nominelt rentekrav. Avkastningen til investering må altså overstige dette nominelle rentekravet.

En måte å beregne lønnsomheten til et prosjekt er å regne ut prosjektets nåverdi. Denne metoden tar høyde for rentevirkningen, levetid, årlig avkastning og investeringsutgiften. Nåverdimetoden er bygget på at en krone i dag ikke har samme verdi som en krone i morgen. All fremtidig avkastning, renter og investeringskostnader blir omregnet til en verdi nå. Dersom nåverdien er positiv vil det si at nåverdien av fremtidige kontantstrømmene er større en investeringsutgiften, investering er altså lønnsom. [42] Nåverdien av et prosjekt regnes ut med Formel 2**.** Nåverdien beregnes enten med løpende priser og nominelt rentekrav eller med faste priser og reelt rentekrav, begge tilfeller vil gi lik nåverdi. Videre i dette prosjektet er det beregnet med løpende priser. Det vil si at den årlige avkastningen må inflasjons korrigeres.

$$NV = -K_0 + \sum_{n=0}^{n} \frac{K_n}{(1+p)^n} + K \qquad Formel\ 2: Nåveridberegning$$

$NV = Nåverdi$

$K_0 = Investeringsutgiften\ på\ tidspunkt\ 0$

$K_n = Årlige\ avkastning$

$p = Kalkulasjonsrenten$

$n = Investeringens\ levetid$

I nåverdiberegningene har det blitt tatt høyde for at strømprisene vil få en prisstigning på 1.5 prosent hvert år. Års gjennomsnittlig energipris er innhentet etter samråd med LOS AS, datterselskap av Agder Energi AS. Denne var i 2012 på 0.83 øre/kWh inkludert alle utgifter og moms, se vedlegg C. Denne energiprisen stemmer også overens med Statistisk Sentralbyrå sine priser fra 2012.

Priser for materialer, oppvarmingssystemer og ventilasjonsløsninger er hentet inn fra leverandører. Fra Nordan er det hentet priser på vinduer og dører, mens prisen for all tømrer arbeid er hentet fra Hemato Eiendom. Priser på teknisk utstyr er hentet inn fra forskjellige leverandører og dokumenteres i mail. Det tas her forbehold om at priser kan variere en god del fra ulike selskaper og leverandører. Grunnet mye arbeid med innhenting av priser er det valg å kun innhente priser fra en leverandør i dette prosjektet.

2.7 Literaturstudie

For å samle nødvendig informasjon for å utføre oppgaven er det gjort en litteraturstudie. Det er her viktig å finne oppdatert og god litteratur for å få en oppgave som er i henhold til den siste forskningen som er blitt gjort.

Litteraturstudie omfatter i hovedsak følgende temaer:

- Norske Standarder(NS) og Tekniske forskrifter (TEK)

  Norske standarder har vært mye brukt for å finne krav som må tilfredsstilles for å oppnå lavenergi- og passivhus. Den er også brukt for å finne minstekravene som må oppfylles i henhold til TEK10 og passivhus standarden. Norske Standarder ble også brukt som veileder ved utføring av trykktesten.
- Rapporter

  Tidligere forskningsrapporter er blitt brukt for å belyse ulike tekniske løsninger, da spesielt fra SINTEF som baserer sine rapporter på kvalitets sikret data. Den nye rapporten fra SINTEF og Multiconsult om lønnsomheten av passivhus har blitt brukt som referanser for våre beregninger og priser. Mens en tidligere Mastergrads rapport av Lars Myhre ved NTNU er brukt til å finne typiske U-verdier på den eksisterende boligen fra 1970-tallet. Disse er noen av mange rapporter som er blir studert i dette prosjektet.
- Veiledere og Mentorer

  Veileder Magne Mikal Våge har bistått med hjelp under hele prosjektet. Spesielt når det gjelder energiberegninger, forskrifter og ventilasjon. Vi har også vært så heldige å fått Bengt G. Michalsen som mentor under hele prosjektet. Hans kunnskap om bygningsfysikk og energieffektivisering har vært til stor hjelp. Enkelte tegninger er hentet fra BGM´s tidligere prosjekter, for å gi oss verdifull innsikt på ulike bygg tekniske løsninger.

2.8 Møter og veiledning

Under hele arbeidet med prosjektet har det vært med veileder Magne Mikal Våge og mentor Bengt Michalsen, for å gi bachelorgruppen veiledning. Det ble i starten arrangert et prosjekteringsmøte med Arendal kommune, Sam Eyde VGS, Magne Mikal Våge, Bengt Michalsen og Husbanken. Her ble prosjektet lagt frem for bachelorgruppa og det ble forklart hva som var målene i prosjektet. I ettertid har det har vært separate møter med Magne Mikal Våge Bengt Michalsen. I tillegg til dette har det blitt holdt tre frokostmøter ved universitetet hvor det har vært deltakere fra bygningsindustrien i Aust-Agder.

3. Tilstandsanalyse

For å avdekke hvilke tiltak som bør gjøres med boligen ble det gjennomført en tilstandsanalyse. Faktorer som det i hovedsak er relevant å undersøke ved en tilstandsanalyse er:

- Lekkasjer og kuldebroer
- Isolasjonens tilstand og tykkelse
- Skader på boligen
- Overblikk over viktige byggetekniske detaljer
- Kartlegge energibruk

3.1 Huset i Moltemyrsvingen

Figur 4: Bilde fra tilstandsanalysen

De siste årene har det blitt stilt strengere krav til nybygg og ved større oppgraderinger av bygg. Da boligen i Moltemyrsvingen 17 ble bygget i 1967 var kravene for isolasjon og tetthet i boliger mye dårligere enn dagens krav. Derfor et boligens varmetap betydelig større enn hva dagens krav er. Dette gjør at det er svært mye å spare på å isolere huset bedre. Det har blitt gjort små utbedringer på boligen siden den ble bygget i 1967.

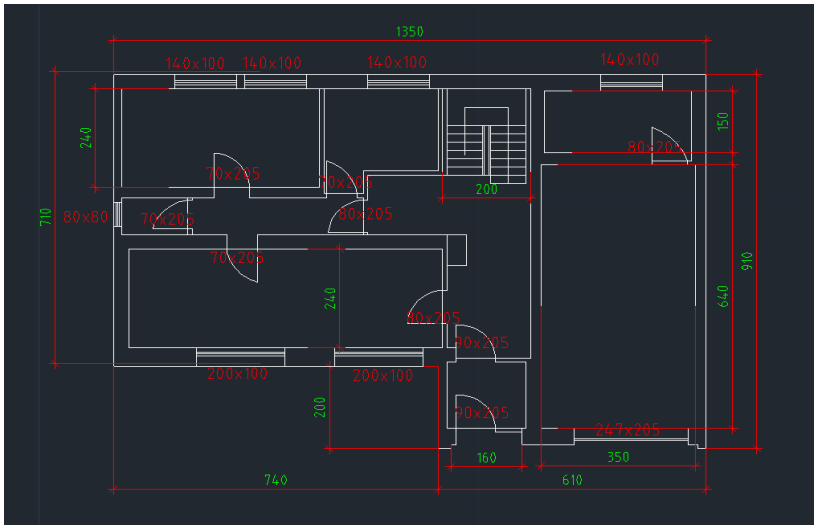
Huset på Moltemyr er en generelt dårlig vedlikeholdt 70-talls bolig. Det har vært en kommunal utleie bolig de syv siste årene. Boligen har et ildsted i hver etasje, det er dog kun ildstedet i andre etasje som har vært brukt de siste årene. Det er ellers brukt elektrisitet til oppvarming av boligen, tappevannet er blitt oppvarmet av en varmtvannsbereder. Det har vært naturlig ventilasjon i huset, med unntak av kjøkken og bad der det har vært mekaniske avtrekksvifter. Den naturlige ventilasjonen er luftspjeld som går ut til friluft, det er dermed mye varme som går tapt igjennom disse. Det er to ytterdører, en inngangsdør i 1. etasje og en ut til balkongen i 2. etasje. Ytterdørene er tynne og dårlig isolerte.

Tabell 4: Arealer Moltemyrsvingen 17

Areal	**Plan 1**	**Plan 2**
BTA	107,8m^2	107,8m^2
BRA	88,7m^2	88,7m^2
P-Rom	52,3m^2	88,7m^2
Vindusareal	26 %	26 %

1. Etasje

I 1. etasje er det lettbetongelementer i ytterveggen. Betongelementer er vanlig i 70- talls hus i første etasje og hadde vanligvis 100mm isolasjon, mens det kun er brukt 25mm EPS isolasjon i denne boligen. Gulvet i første etasje ligger direkte på grunn. Her er det først lagt 10 cm sand, før det er 4cm med EPS isolasjon og 6 cm armert støp. Vanligvis på gulv mot grunn ble det lagt 50mm isopor, det er altså her noe dårligere isolert. I første etasje er det en takhøyde på 2.40 m. Det er videre en uoppvarmet garasje som ikke er godt isolert, det er en redskapsbod innenfor garasjen som også er uoppvarmet. Garasjen og redskapsboden gjør at man får et større kuldeareal mot resten av boligen. Det er isolert med 100mm isolasjon inn fra sideveggene i garasjen samt i taket mot andre etasje. Alle vinduer i første etasje er fra byggets opprinnelse med dobbelt glass.



Figur 5: Nye digitaliserte plantegninger – Plan 1.

2. Etasje

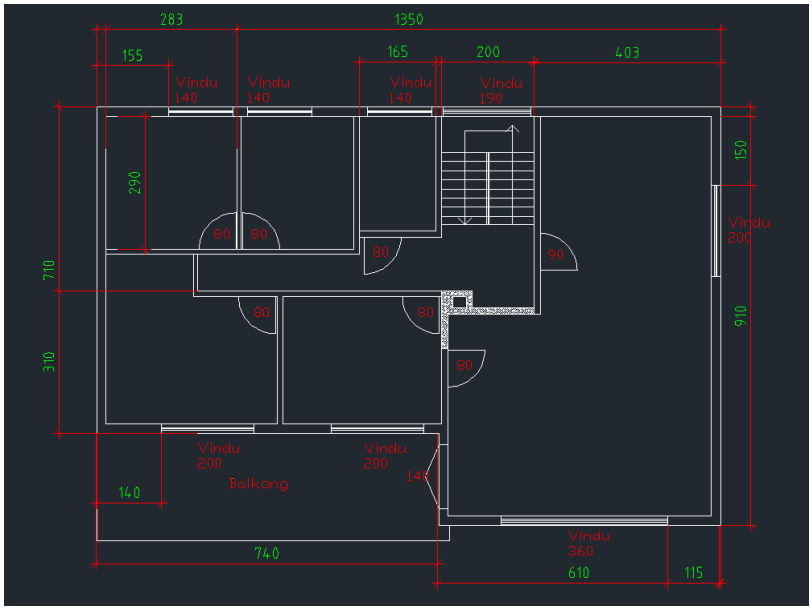
I 2. etasje er ytterveggene av bindingsverk med 100mm mineralull, noe som var standarden på den tiden. Takhøyden i andre etasje er lik som i første på 2.40m. Det er en balkong på sør fasaden som er støpt direkte inn i etasjeskille. I praksis fungerer den som en stor kuldebro. Videre på figur 5 og 6 har vi plantegninger over moltemyr modellen som har blitt laget både

basert på gamle tegninger og som er videre korrigert av egne kontrollmålinger. Det er i andre etasje vinduer med dobbelt glass i nord, øst og vest fasaden, mens det i sør fasaden er tolags ruter fra 1987.

Tabell 5: Opprinnelig bygningsteknisk data

	Tykkelse (mm)	Isolasjons Materiale	U-Verdi
Tak mot kaldt loft	50-100	Glassull	≥0.35
Yttervegg 2. Etasje	100	Bindingsverk m/Glassull	≥0.38
Yttervegg 1. Etasje	25	Betongklinker m/EPS	≥0.50
Gulv mot grunn	40	Betongdekket m/EPS	≥0.35
Vindu Nord, Øst og Vest	-	Dobbel glass	2.8
Vindu Sør	-	To glass isolerglass	1.6
Enkelt Vindu	-	Et glass	3.0

Det er tatt en befaring på huset, der det ble fastslått hvilke bjelker og vegger som er bærende i huset. Noen små flater i tak og vegger ble åpnet for å få anslå tilstanden på nåværende isolasjon. I etasjeskille under kjøkken og stue var det kommet fukt i isolasjonen, som var råtten og porøs. I veggene virket isolasjon rimelig god, men ettersom termografibildene viser oss ujevne temperaturer er dette kanskje ikke tilfelle i alle konstruksjonene. Plasten er porøs i hele klimaskallet.



Figur 6: Nye digitaliserte plantegninger – Plan 2.

Loft

Boligen har et kaldt loft som ikke har blitt brukt til noe mer enn oppbevaring. Standard tak for 70-tallsboliger var tre bjelkelag med 60-75mm mineral ull i tak, det er her noe mellom 50-100mm glassull. Taket har delvis blitt etterisolert, men taket holder til tross for det en dårlig isolasjon standard.

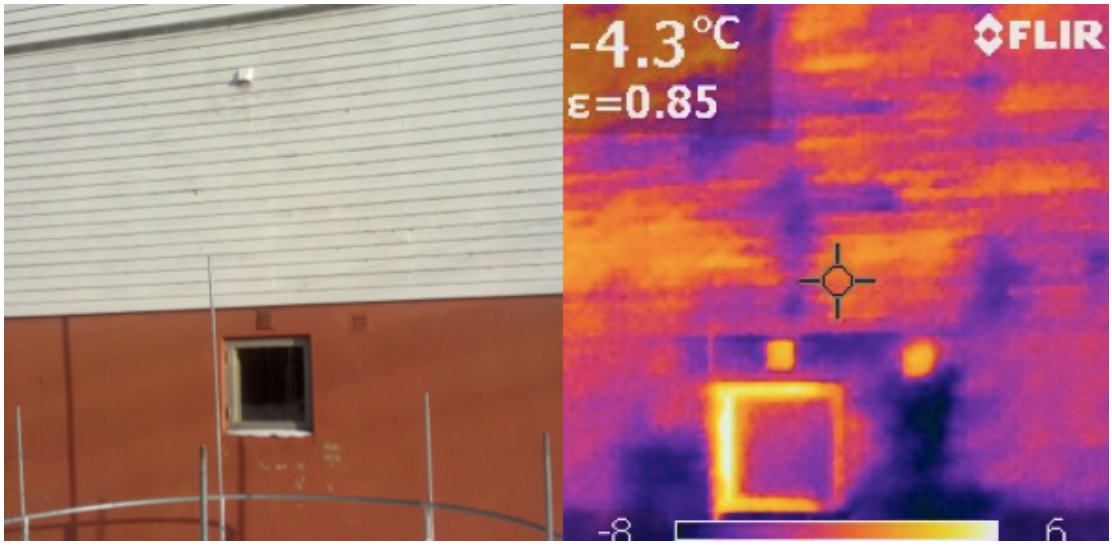
De tre siste årene har boligen hatt et historisk strømforbruk på:

- 2012: 27369 kWh
- 2011: 30310 kWh
- 2010: 37165 kWh

Variasjonen fra 2010 til 2012 kan skylles variasjon i klima, men med tanke på at graddagstallet for 2012 er høyere enn tallet fra 2011 så tyder dette på at det kan ha blitt brukt mer ved til oppvarming.

3.2 Termografering

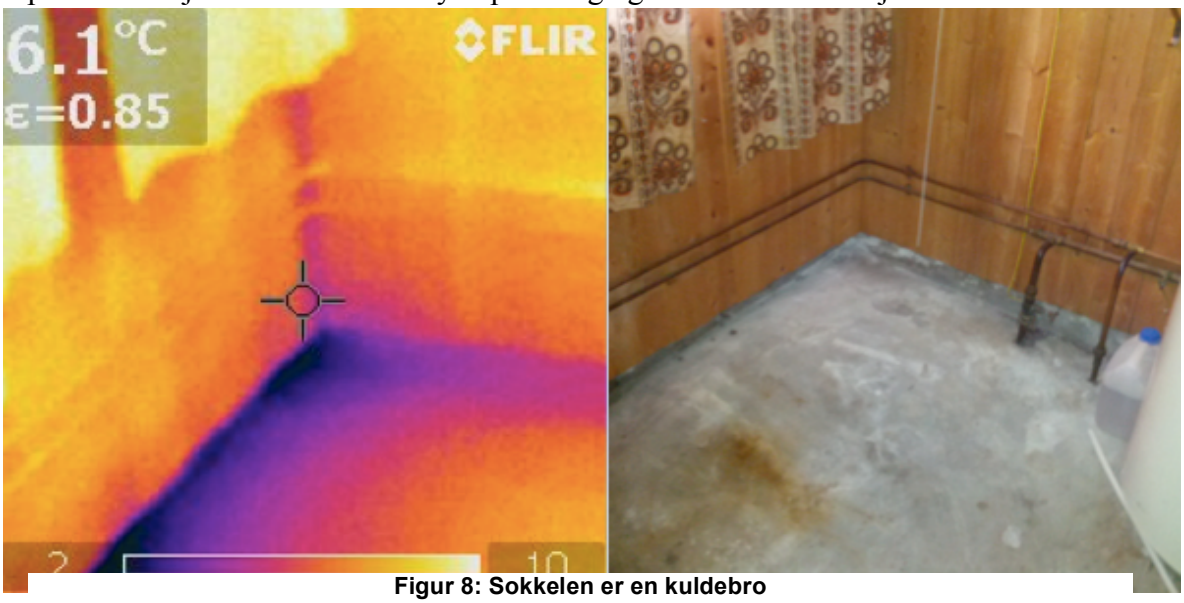
Under termograferingen ble det tatt termografibilder og vanlige bilder, slik at man lettere skulle se hvilke områder av bygget som har kritiske lekkasjer. Termograferingen ble utført i henhold til NS 13187: Kvalitativ metode for å oppdage termiske uregelmessigheter i bygningens klimakjerne – Infrarød metode. Alt av ventilasjonsluker og andre synlige åpninger var tettet igjen siden termograferingen ble gjort samtidig som bygningen ble trykktestet. Ingen åpne luftlekkasjer ble dermed vist på disse Infrarøde-bildene. I alle innvendig rom, og



Figur 7: Vestfasaden viser ujevne temperaturer og varmetap fra ventilasjonslukene.

utvendig fasader ble det tatt bilder, og det ble funnet vesentlige temperaturforskjeller på flere av bildene.

Ut ifra bildene som er tatt kan vi se at det er betydelige luftlekkasjer rundt vinduer og dører. Det kan ses mange kuldebroer i klimaskallet. Langs veggene er det synlige temperaturforskjeller noe som kan tyde på dårlig og/eller skadet isolasjon.

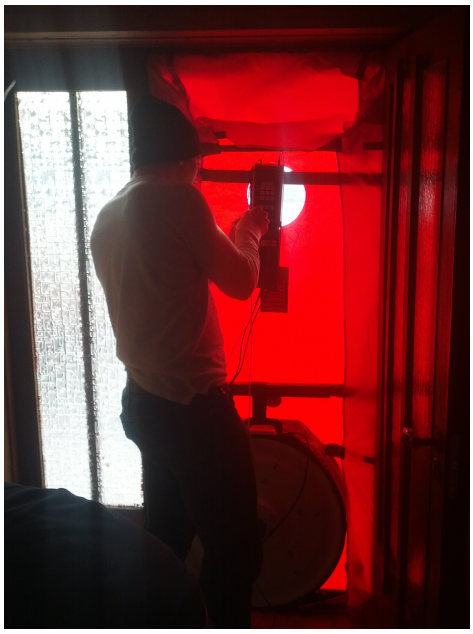


Figur 8: Sokkelen er en kuldebro

Det kan også være et tegn på mangelfull damp og vindtetting. Gulvet i første etasje er dårlig isolert, det kommer spesielt frem på termografikameraet ved overgangen fra gulv til vegg, som vist på figur 8. Det er i denne overgangen en variasjon i temperaturene fra 2 ° C til 10°C. Det er også en luke mot det kalde loftet i andre etasje som lekker mye. [43]

3.3 Trykktest

I denne rapporten er trykktesten utført etter Metode B i henhold til NS-EN 13829, som er en metode for å teste klimaskallet, alle tilsiktede åpninger skal lukkes eller tettes igjen. Ved naturlig ventilasjon skal også alle ventilasjonsluker tettes når metode B brukes. Byggets totale gulvareal er beregnet til 160m^2 med et innvendig volum på 390m^3. Under målingene ble det brukt et volum på 350m^3, grunnet et delvis møblert hus. Det ble registrert minus 4 grader celsius utendørs, og 12/13 grader Celsius innendørs før målingene. Det er normalt at



Figur 9: Hammerseth gjør klart til trykktest av boligen

temperaturen i huset faller noe under målingen, men dette har ingen konsekvenser for selve måleresultatene. Målingene ble gjort med Universitetets utstyr og alt av data ble lagt inn i programmet «TECTITE Express», som automatisk styrte målingene og gav oss resultatet.

Trykktesten utført på Moltemyr gav oss et luftskifte på 7.63 per time ved et undertrykk på 50Pa. Under normale forhold tilsvarer det et luftskifte på 0.53 per time. Det viser at boligen lekker mye, det er mye energi som går tapt i disse lekkasjene. I henhold til dagens standarder skal det være 2.5 luftskifte per time ved 50 Pa trykk. På den positive siden gjør det høye lekkasjetallet at huset på Moltemyr oppfyller dagens krav til ventilasjon.

Tabell 6: Luftskifte

	Boligen "As is"	**Passivhus Standarden**	**Lavenergiklasse 1**	**TEK 10**
Luftskifte ved 50Pa	7,63	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 2,5
Henvisning	(NS-EN 13829)	(NS 3700)	(NS 3700)	(TEK 10)

3.4 Energiberegninger med SIMIEN

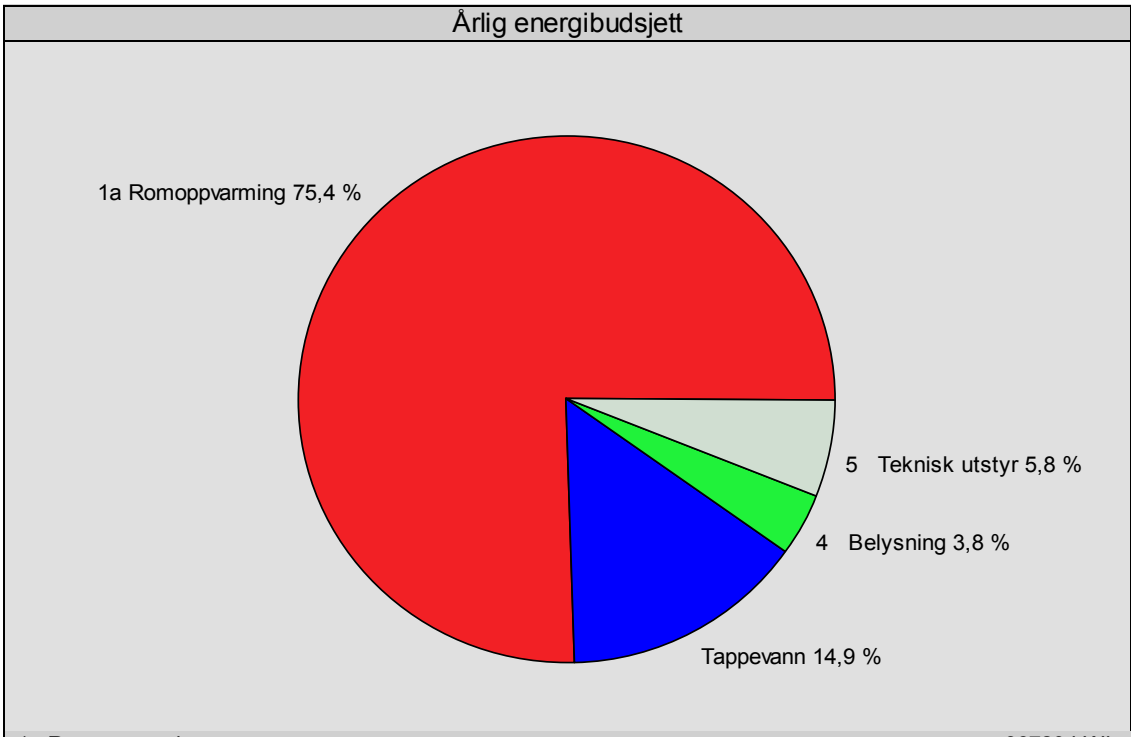
Simuleringsprogrammet SIMIEN er i tilstandsanalysen brukt hovedsakelig for å få en oversikt over energibruken og energitapet i boligen. Ved å lage en slik simulering er det enklere å se hvilke tiltak som bør utføres. SIMIEN viser forventet levert energi i løpet av et år med normalisert klima. En års-simuleringen i SIMIEN viser et forventet strømforbruk i boligen på 34 596 kWh, det er tilnærmet lik historisk strømforbruk. Noe som gir oss en indikasjon på at verdiene vi bruker i programmet er fornuftige. Simuleringen som er gjort har forutsetning for at det er et normalt forbruk av ved, som dekker 40 prosent av det totale oppvarmingsbehovet til boligen på 36 720 kWh. Det totale energibehovet til boligen vil derfor være 57 546 kWh.

Tabell 7: Energibudsjett og Totalt levert Energi

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	36720 kWh	226,7 kWh/m²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m²
2 Varmtvann (tappevann)	7236 kWh	44,7 kWh/m²
3a Vifter	47 kWh	0,3 kWh/m²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m²
4 Belysning	1845 kWh	11,4 kWh/m²
5 Teknisk utstyr	2838 kWh	17,5 kWh/m²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	48687 kWh	300,5 kWh/m²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	34596 kWh	213,6 kWh/m²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m²
5 Biobrensel	22950 kWh	141,7 kWh/m²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m²
Totalt levert energi, sum 1-6	57546 kWh	355,2 kWh/m²

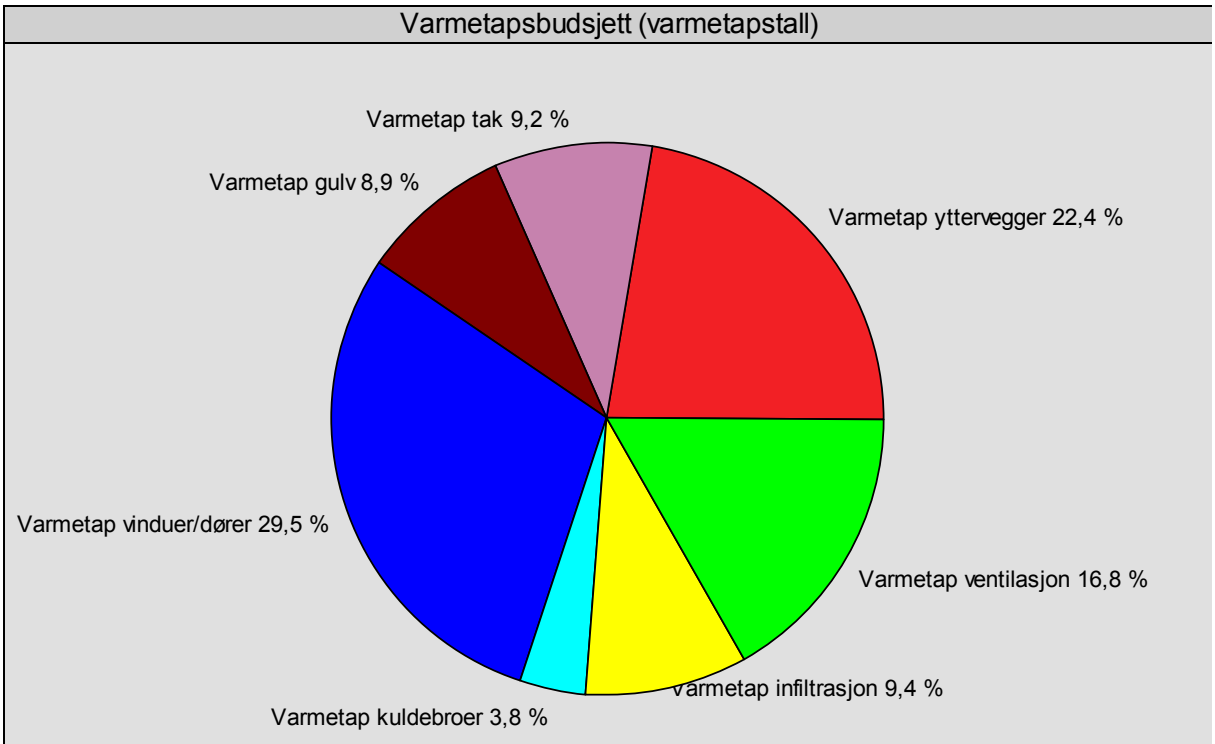
For å lage konkrete tiltak som bør gjøres for huset, er det først av interesse å se hvor all energien brukes. Figur 7 viser hva energien blir brukt til i huset. Huset bruker desidert mest energi til romoppvarming, hele 36 720 kWh, noe som er et unormalt høyt energiforbruk. Det er her potensialet for å spare energi er størst. Det vil derfor være naturlig å følge kyoto-pyramiden ved å redusere varmetapet. Det er også tiltak som kan gjøres for å redusere energien som går til tappevann, belysning og teknisk utstyr, men potensiale er her mindre.



1a Romoppvarming	36720 kWh
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh
2 Varmtvann (tappevann)	7236 kWh
3a Vifter	47 kWh
3b Pumper	0 kWh
4 Belysning	1845 kWh
5 Teknisk utstyr	2838 kWh
6a Romkjøling	0 kWh
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh
Totalt netto energibehov, sum 1-6	48687 kWh

Figur 10: Årlig Energibudsjett

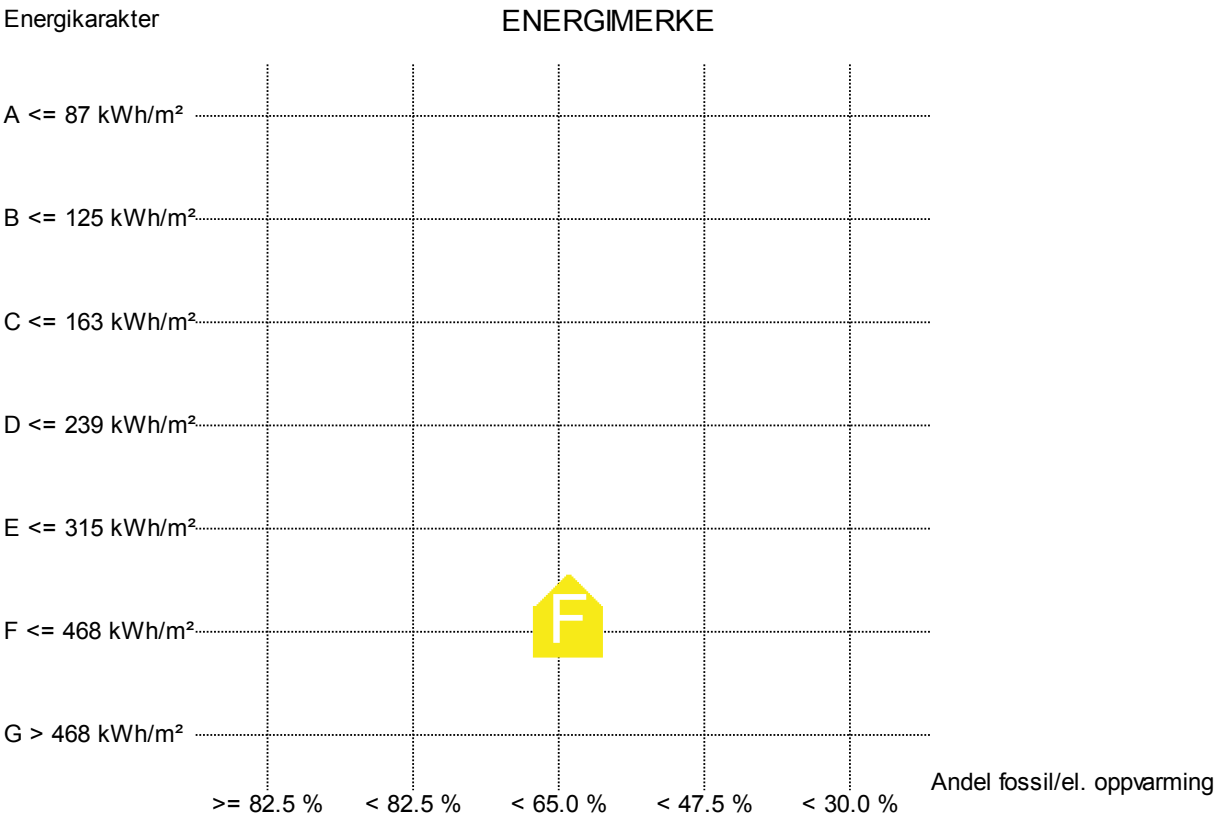
Figur 11 viser hvor varmen går tapt. Ettersom romoppvarming er det som bruker desidert mest energi i huset, er det viktig å se nærmere på hvor all varmen går tapt. Utfra figur 11 tapes det mest energi til yttervegger, vinduer/dører og ventilasjon. Det tapes også mye varme gjennom vinduer og dører ettersom det er et stort vindusarealer med dårlige U-verdier i boligen. Varmetapet gjennom ventilasjonen skyldes at det er naturlig ventilasjon hvor all den varme luften i boligen går rett ut til omgivelsene uten noe form for varmegjenvinning. Ytterveggen er dårlig isolert og det er derfor et vesentlig varmetap også her. Huset fyrer stort sett for kråkene. Resultatet av evalueringen i SIMIEN forteller at boligen kun tilfredsstiller kravet om ventilasjon, det er dog kun grunnet det høye lekkasjetallet.



Varmetapstall yttervegger	0,53 W/m²K
Varmetapstall tak	0,22 W/m²K
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,21 W/m²K
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,69 W/m²K
Varmetapstall kuldebroer	0,09 W/m²K
Varmetapstall infiltrasjon	0,22 W/m²K
Varmetapstall ventilasjon	0,40 W/m²K
Totalt varmetapstall	2,35 W/m²K

Figur 11: Varmetapsbudsjett

Det er utført en energimerking av huset i Moltemyrsvingen 17 ved å bruke SIMIEN. Boligen kvalifiserer til energikarakter F og oppvarmingskarakter Gul. Boligen får oppvarmingskarakter gul fordi 40 prosent av romoppvarmingen er fra fornybare energikilder, som i dette tilfelle er ved. Ettersom resten av oppvarming er av elektrisitet får boligen en oppvarmingskarakter midt på skalaen. Energikarakter F er gitt ut ifra hvor mye levert energi boligen vil trenge. Dette huset er beregnet til 355kWh/m^2, som tilfredsstiller energimerke F (315kWh/m^2 - 468kWh/m^2).



Figur 12: Varmetapsbudsjett

3.5 Oppsumering av Tilstandsanalysen

For å oppsummere tilstandsanalysen lekker boligen i Moltemyr mye igjennom klimaskallet hvor mye energi går til spille. Dette vises på termograferingen, trykktesten og energiberegningene i SIMIEN. Tilstandsanalysen kan konkluderes med at det må jobbes en del med tiltak for å redusere varmetapet i boligen ettersom det er her mest energi går tapt. Videre bør det jobbes målrettet videre oppover kyoto-pyramiden.

4. Bakgrunns teori

4.1 Isolasjonsmaterialer

De ulike isolasjonsmaterialene er vurdert opp mot pris, energigevinst, robusthet, varighet og miljø. Tradisjonelt er mineralull og glassull de mest brukte isolasjonsmaterialene i bygg. På grunn av de strenge kravene til oppvarmingsbehov og tetthet kommer det nå stadig flere isolasjonsmaterialer som kan brukes. Noen av disse har blitt vurdert i dette prosjektet. Med mineralull/glassull må man minimum ha 300mm isolasjon i veggene for å klare passivhus kravene. Det ønskes derfor isolasjon med bedre varmeledningsevne, som vil ta mindre plass. Disse er ofte dyrere, men har andre egenskaper som også må vurderes. For eksempel vil noen isolasjonsmaterialer ikke påvirkes av fuktighet og være mer brannsikre enn andre. Det er videre vurdert noen isolasjonsmaterialer til dette prosjektet.

4.1.1 Rockwool Flex Systemvegg:

Rockwool flex systemvegg er en utvendig fasadeisolasjon, som gir tette overganger og en fasade uten kuldebroer. Den har en varmeledningsverdi på 0.037 W/mK, som er likt tradisjonell glassull. Prisen er noe høyere for slik isolasjon, men setter vi dette opp mot tradisjonell isolasjon som trenger bindingsverk vil totalkostnadene være bortimot like.

Figur 13: Rockwool Flex system vegg [44]

For en enkel montering og avstiving av bygget monteres en OSB plate utenpå eksisterende reisverk. Isolasjonen blir deretter skrudd fast i OSB platen ved hjelp av lange skruer som følger med systemet. Men ved tykk isolasjon, lekter og kledning vil momentet bli for stort for skruene, derfor må systemet også festes til taksperren. Produktbeskrivelsen beskriver at vindsperren kan monteres på innsiden, mellom isolasjonen og OSB platen, fordi isolasjonen er så kompakt at den ikke blir påvirket av luftsirkulasjon på utsiden av platene. Men det anbefales å legge vindsperren på utsiden da dette ikke har noen negative konsekvenser, kun en positiv sikkerhet. Det er også mulig å legge vindsperre begge steder, da dette ikke har store kostnader.

Positive sider ved isolasjon som ikke trenger bindingsverk:

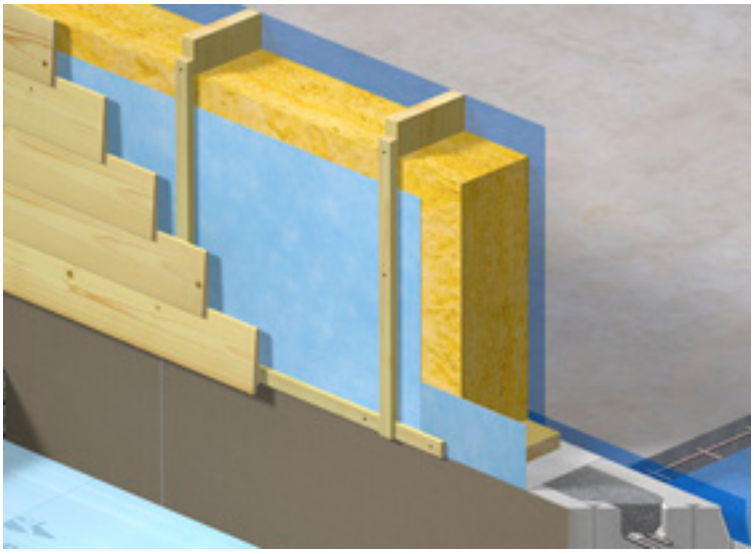
- Reduserer kuldebroer betraktelig
- Enkel montering

Negative sider ved isolasjon som ikke trenger bindingsverk:

- Kan gi høyere risiko for fuktproblemer ved utett diffusjonssperre på grunn av OSB platen som må monteres mellom isolasjonslagene.

4.1.2 Glava – Glassull

Glassull er det tradisjonelle isolasjonsmaterialet, som også er den eksisterende isolasjonsmetoden som er brukt i Moltemyrsvingen. Glassull krever bindingsverk, da denne ikke er selvbærende. Isolasjonsevnen til glassull varierer fra produkt til produkt, med varmeledningsverdier fra 0,032 W/mK til 0,038 W/mK. Prisene vil variere med isolasjonsevnen til produktet.



Figur 14: Glava isolasjon – Med bindingsverk[45]

Ved etterisolering med glassull vil det være naturlig å kryss-legge bindingsverket, for å stive av bygget og for å redusere kuldebroer i konstruksjonen. Om det blir etterisolert utvendig og innvendig vil det med krysslegging være mulig å kvitte seg med mesteparten av kuldebroene i veggene. Det er også viktig at denne typen isolasjon ikke blir komprimert, da den vil miste deler av sin isolasjonsevne.

Positive sider ved isolasjon som trenger bindingsverk:

- Enkelt å bytte ut isolasjonen.
- Det vil ikke være noen diffusjonsbremsende lag inne i konstruksjonen.

Negative sider ved isolasjon som trenger bindingsverk:

- Det vil bli noen kuldebroer ved bruk av denne type isolasjon.
- Isolasjonsevnen reduseres ved utett vindsperre eller større konveksjon i isolasjonen.

4.1.3 SPU -Isolasjon

SPU isolasjon er et produkt av polyuretan, som har en utmerket varmeisolasjon. Frem til nå har det blitt brukt i kjøleskap, frysere og krevende rørisolasjon, men nå blir det også brukt som isolasjonsmaterialet i bygg. Dette er ganske nytt i Norge, men det har blitt brukt mye i Finland de siste 40 årene.

Figur 15: SPU Isolasjon [46]

SPU isolasjon egner seg utmerket til etterisolering av eldre boliger på grunn av sin gode varmeledningsverdi på 0,023 W/mK. Det gjør at det kan spares inn halvparten av tykkelsen som ellers måtte bli brukt med tradisjonell mineralull eller steinull. Vi kan oppnå en U-verdi på 0,09 i en vegg som har 250mm SPU isolasjon, mens det hadde vært nødvendig med 500mm steinull/glassull for å greie den samme verdien.

SPU isolasjon blir ikke våt, den verken krymper, råtner eller mugner. Det gjør at varmeisolasjonsegenskapene forblir uendret i årevis. Du trenger heller ikke ekstra vindsperre eller fuktsperre, da dette materialet er diffusjons- og vindtett. Selv om det ikke er utbredt i Norge enda, så er det store passivhus prosjekter på gang som bruker SPU isolasjon.

Selv om denne typen isolasjon egner seg godt til etterisolering av eksisterende boliger skaper den også nye utfordringer. Ved etterisolering bør dette gjøres på innside yttervegg, og om vi skal tilfredsstille de strenge kravene vil vi bruke for mye av bruksarealet til boligen. Bruk av SPU isolasjon krever også opplæring av de som skal montere isolasjonen, i dette prosjektet er det vurdert som uønskelig. Vi anbefaler derfor heller å se på denne muligheten i andre

prosjekter. SPU isolasjon er noe dyrere enn produktene vi har nevnt over, men ikke mye. Dette gjør at dette er et veldig aktuelt produkt å bruke.

Positive sider ved SPU isolasjon:

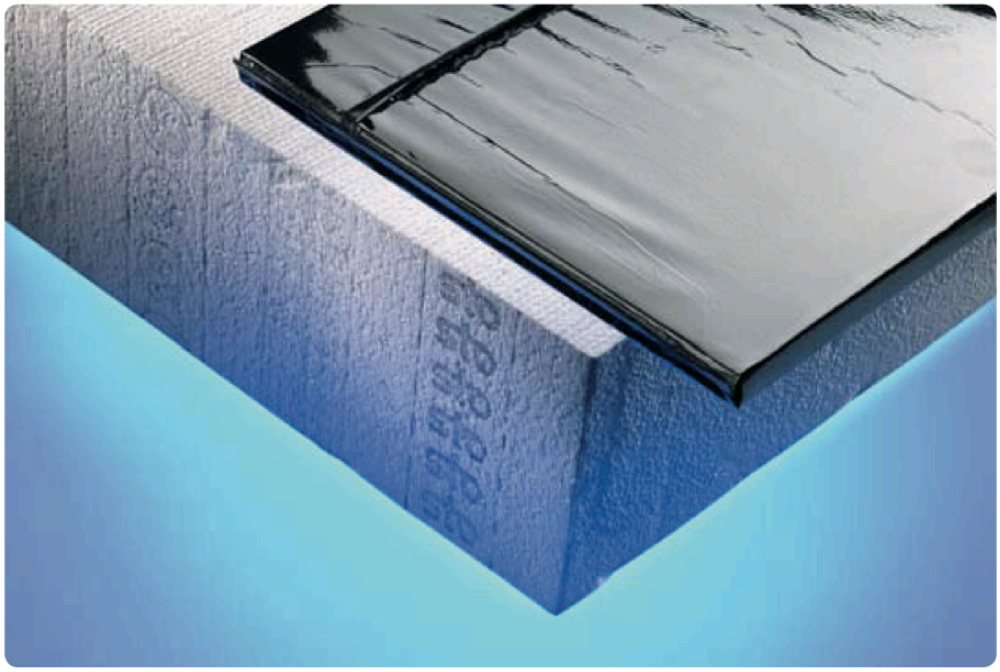
- Lav varmeledningsevne
- Rimelig isolasjon til å ha så gode egenskaper

Negative sider ved SPU isolasjon:

- Ved bruk av SPU i vegger og tak vil det være nødvendig med opplæring for å legge dette korrekt.

4.1.4 Vakuum Isolasjon:

Vakuumisolasjon er plater som består av en porøs kjerne hvor det er tilnærmet vakuum. Kjernen er omsluttet av en luft- og damptett folie som er forseglet. Disse platene har en ekstremt god varmeisolerings evne ned mot 0,004 W/mK. Ved punktering av disse platene vil isolasjonsevnen svekkes, men de vil allikevel ha en bedre isolasjonsevne enn de fleste andre materialer. Ved punktering vil varmeledningsevnen være ca. 0,020 W/mK, noe som fortsatt er bedre enn både SPU og tradisjonell isolasjon. Vakuum isolasjon har en levertid på i overkant av 25 år noe som er ganske likt de andre isolasjonsmaterialene som er vurdert. [47]



Figur 16: Vakuumisolasjon.[48]

Til tross for den høye varmeledningsevnen til vakuumisolasjon, vil folien som omslutter platene bidra til en kuldebro. Kuldebroene i kantsonen til platene og tilstøtende konstruksjoner bidrar til et betydelig varmetap. Selv med disse varmetapene er dette et glimrende isolasjonsmateriale. Men kostnadene er enda for store, da spesielt med tanke på den svake robustheten. For at dette skal bli en kostnadseffektiv løsning i fremtiden må det jobbes med å få dette produktet mer robust.

Positive sider ved SPU isolasjon:

- Utrolig gode isoleringsevner

Negative sider ved SPU isolasjon:

- Skjøre plater
- Veldig kostbart

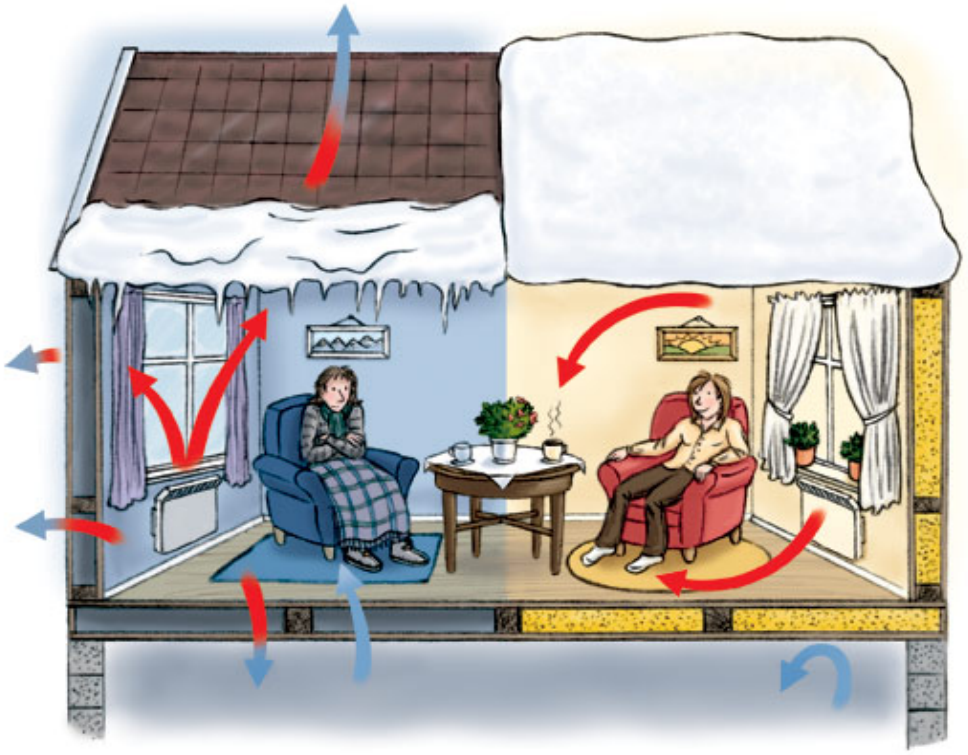
4.2 Konsekvenser ved oppgradering

Tilstandsanalysen viser oss at boligen er preget av alder og byggefeil. Det er i dette tilfelle nødvendig med en total oppgradering av hele boligen. En slik investering krever høy investeringskostnad, noe som kan delvis forsvares ved at boligen får en betydelig merverdi ved salg. Boligen vil få bedre estetikk og bli mer energieffektiv.. Men det er enkelte konsekvenser som det er vanskelig å sette kroner å øre på, blant annet inneklima.

4.2.1 Inneklima

Oppgradering av boliger mot passivhus standard har møtt kritikk fra spesialister på innemiljø. Siden de tette husene ikke i samme grad som eldre hus vil kunne slippe ut fuktighet og varme. Noe som igjen øker risikoen for luftveisinfeksjoner, astma, og allergi. Under prosessen kan materialer bli fuktige, og med vegger som er veldig tette, og har en helt tett diffusjonssperre vil ikke denne fukten komme ut av veggene, og igjen skape farlige gasser for innemiljøet.

Det settes også spørsmål til om husene blir for varme om sommeren. Det er historier om personer som har måtte flytte vekk om sommeren fordi det rett og slett ble for varmt å sove der. Det stilles store krav til solskjerming, for at solen ikke skal bli en direkte oppvarmingskilde i sommerhalvåret. Eksperter er også redde for at et ventilasjonssystem og andre tekniske installasjoner blir for komplisert for folk å vedlikeholde og håndtere, som kan føre til at huset blir farlig å bo i.



Figur 17. Konsekvenser ved oppgradering. [49]

Problemstillingene som framstilles er veldig reelle, og noe man må ta for seg i planlegging- og byggefasen av et passivhusprosjekt. Men mye av dette kan også unngås dersom en har god kunnskap. Når det kommer til balansertventilasjon, krever dette vedlikehold i form av skiftning av filtre, og kanalrensing i spesielt avtrekkskanaler. Hvis systemet er riktig satt opp skal dette vedlikeholdsarbeidet enkelt kunne gjennomføres av vanlige personer. Et balansert ventilasjonssystem filtrerer også luften som kommer inn i huset, og på den måten fjerner urenheter i luften. Filtrene skal også fjerne andre irriterende partikler som kommer fra uteluften, noe som igjen gjør huset bedre for personer med allergier og astma å bo i.

I vinterhalvåret blir luften tørr, og inneklimaet ofte dårlig. Ved et balansert ventilasjonssystem kan fuktighet fra for eksempel bad utnyttes for å opprettholde god luftfuktighet i resten av boligen. Balansertventilasjon sikrer gode luftskifter, ved et desentralt anlegg kan men selv bestemme temperatur og luftmengde inn i huset. Dette kontrolleres enkelt ved brytere. Til leiligheter kan systemet legges over kjøkkenviften, det vil da vil det ikke være forstyrende i oppholds- og soverom.

I varme perioder utnytter et passivhus solskjerming for ikke å bli direkte oppvarmet av solen. Ventilasjonssystemene vil da reguleres så friskluft blir fraktet inn, og den gamle luften fraktet ut, på denne måten kan et godt planlagt hus opprettholde et godt innemiljø i varmeperioder.

4.2.2 Materialers Miljøpåvirkning

Ved å oppgradere en bolig mot Passivhus standarden er det naturlig å følge miljøprofilen videre også når det gjelder materialenes miljøpåvirkning. Miljøpåvirkningen starter fra utvinningen av materialet fra naturen, gjennom produksjon og til hvilken påvirkning de har på innemiljøet i din bolig. Det er i dag programmer som gir deg informasjon om livsløpsanalysen til produkter som blir brukt i bygebransjen. Først og fremst skal materialene være CE-merket. Det er et europeisk godkjenningsmerke som sier at materialene tilfredsstiller helse, miljø og sikkerhetskravene til EU.

Det er kun isolasjonsmaterialer som er vurdert i vår del av prosjektet. Det anbefales å vurdere materialvalg og ha et fokus på miljøpåvirkningen ved valg av materialer til kledninger og innredning, og at substitusjonsplikten blir fulgt videre i dette prosjektet.

4.3 Norske Forskrifter

Norske standarder har vært mye brukt for å finne krav som må tilfredsstilles for å oppnå lavenergi- og passivhus. Det er også brukt for å finne minstekravene som må oppfylles i henhold til TEK10 og passivhus standarden.

4.3.1 Teknisk Forskrift 2010 (TEK10)

TEK10 er en forskrift fra 2010 som myndighetene kom med for å minske energibehovet og dermed klimagassutslippene til boliger i Norge. TEK10 setter krav til luftskifte, varmetap, ventilasjon, tetthet, innemiljø osv.[50]

Tabell 8: Krav til netto energibehov i TEK10

Bygningskategori	***Totalt netto energibehov***
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m^2oppvarmet BRA	120 + 1600/m^2 oppvarmet BRA

Formel 3: Beregning av totalt netto energibehov etter kravene i TEK10

Formel 3 beskriver maksimalt netto energibehov, noe som i denne boligen et krav på 128.3kWh/m2 per år.[51] Det er heller ikke lov å installere fossilt brensel som grunnlast til oppvarming. Og boliger inntil 500m2 skal prosjekteres slik at 40 prosent av netto varmebehov ikke blir dekket av direktevirkende elektrisitet eller fossile brensel.[52]

4.3.2 Passivhus og Lavenergi standarden (NS:3700)

Passivhus konseptet ble utviklet i Tyskland. Et passivhus er et hus som har betydelig lavere energibehov i forhold til normale hus. Man kaller det passivhus fordi man bruker mest mulig passive måter for å minske energiforbruket på. Blant annet bedre isolasjon, tetthet og varmegjenvinner på ventilasjonsaggregatet.

Det er også vanlig å plassere de fleste vindusflatene mot sør og vest for utnytte solenergi til romoppvarming. Det anbefales at man ikke har mer enn 20 prosent vindusflater, da disse slipper ut mye varme. Om man har mer enn dette må man senke U-verdiene ellers i bygget, for å kompensere.

Passivhus har en egen standard som heter NS:3700 for boliger og NS:3701 for yrkesbygg. Det ble utviklet en egen standard i Norge, fordi det er store klimatiske forskjeller mellom Norge og Tyskland. Oppvarmingsbehovet skal være rundt 15kWh/m2(10kWh/m2 i Tyskland) i året. Med dette huset har vi beregnet 18.132kWh/m2 i året, se formel 4[53]. En bolig på rundt 200m^2 BRA vil dermed forbruke ca. 3500 kWh til oppvarming i året.

$$E_{del,el} + E_{del,oil} + E_{del,gas} < E_t - 0{,}5 \times Q_{W,nd}$$

Hvor:

$E_{del,el}$ er energi fra årlig levert elektrisitet i kWh/år
$E_{del,oil}$ er energi fra årlig levert fossil olje i kWh/år
$E_{del,gas}$ er energi fra årlig levert fossil gass i kWh/år
E_t er totalt årlig netto energibehov i kWh/år
$Q_{W,nd}$ er årlig netto energibehov for oppvarming av tappevann i kWh/år

Formel 4: Krav til Energiforsyning.

Det er ønskelig å dekke mest mulig av energibehovet med fornybare energikilder slik at man vil trenge mindre strøm. Kravet til energi forsyning i NS:3700 er beskrevet i formel 4, og sier at energien fra el, olje og gas skal være mindre enn det totale netto energibehovet minus halvparten av det årlig netto energibehovet for oppvarming av tappevann.[54] Dette vil si at man kan bruke elektrisk oppvarming så lenge 50 prosent av tappevann blir varmet opp av en fornybar energi kilde.

Noe som er relevant for oppgaven er at det stilles krav til lydisolasjon og vibrasjonsforhold. Dette er både for å skjerme mot støy og vibrasjoner fra utsiden og mellom boenheter.[55] Tabell 9 viser minstekravene i TEK10 opp mot de stadig strengere standardene.

Tabell 9: Minstekrav til bygningskonstruksjoner og installasjoner. [56]

Egenskap	**Passivhus**	**Lavenergiklasse1**	**Tek10**
U-verdi yttervegg [W/(m2*K)]	≤0,15	≤0,18	≤0,18
U-verdi tak [W/(m2*K)]	≤0,13	≤0,13	≤0,13
U-verdi gulv [W/(m2*K)]	≤0,15	≤0,15	≤0,15
U-verdi vindu [W/(m2*K)]	≤0,8	≤1,2	≤1,2
U-verdi dør [W/(m2*K)]	≤0,8	≤1,2	≤1,2
Normalisert kuldebro verdi [W/K]	≤0,03	≤0,04	≤0,06
Års gjennomsnittlig temperatur virkningsgrad for varmegjenvinner	>80%	>70%	>70%
SFP-faktor ventilasjonsanlegg [kW/(m3/s)]	<1,5	<2,0	<2.5
Lekkasjetetthet ved 50Pa, n50 [Luftskifte/h]	<0.6	<1.0	<2.5

Lavenergi er en klasse som ligger mellom TEK10 og passivhus. Mens man ville hatt 18.132kWh/m2 i året om huset skal bli passivhus, så ville man i lavenergi brukt 34.64kWh/m2 i året[57] til oppvarming. Dette er nesten dobbelt så mye og utgjør ca. 6700kWh i året. Altså 3200kWh forskjell i året.

4.4 Universell utforming

Nytt regelverk medfører at alle bygninger, lokaler, og plasser tilknyttet det offentlige eller privat sektor rettet mot allmenheten skal forholde seg til universell utforming. Dette er etter lovene for likestilling og tilgjengelighet.

Ved universell utforming skal være inkluderende omgivelser for alle uavhengig av alder, og funksjonshemning. Moltemyrmodellen er primært en enebolig, og kommer derfor ikke under disse kravene, men etter oppgraderingen skal huset bestå av to leiligheter som skal leies ut av Arendal kommune. Det blir derfor aktuelt med universell utforming for planløsninger og atkomst slik at kommunene kan leie ut disse leilighetene til alle.[58]

Atkomst skal være trinn fri, lett å finne, brukbar for alle og tilrettelagt for effektiv drift. Ingen hindringer skal plasseres slik at bredden blir redusert, som vil si at stolper, benker og sykkelstativer ikke skal stå utenfor atkomstveien. Atkomsten til leiligheten i første etasje er flat, og har god plass. Når det mest sannsynlig skal graves utenfor huset, vil det også være greit å planere. Inngangspartiet ligger lett synlig, trinnfritt og med skjerming for vind og nedbør.

Når det kommer til det innvendige skal det ha en planløsning dimensjonert til bruk for personer med forskjellige behov. Utstyr skal plasseres synlig, og slik at den gir muligheter for folk i rullestol eller andre handikappede enkelt kan betjene det.

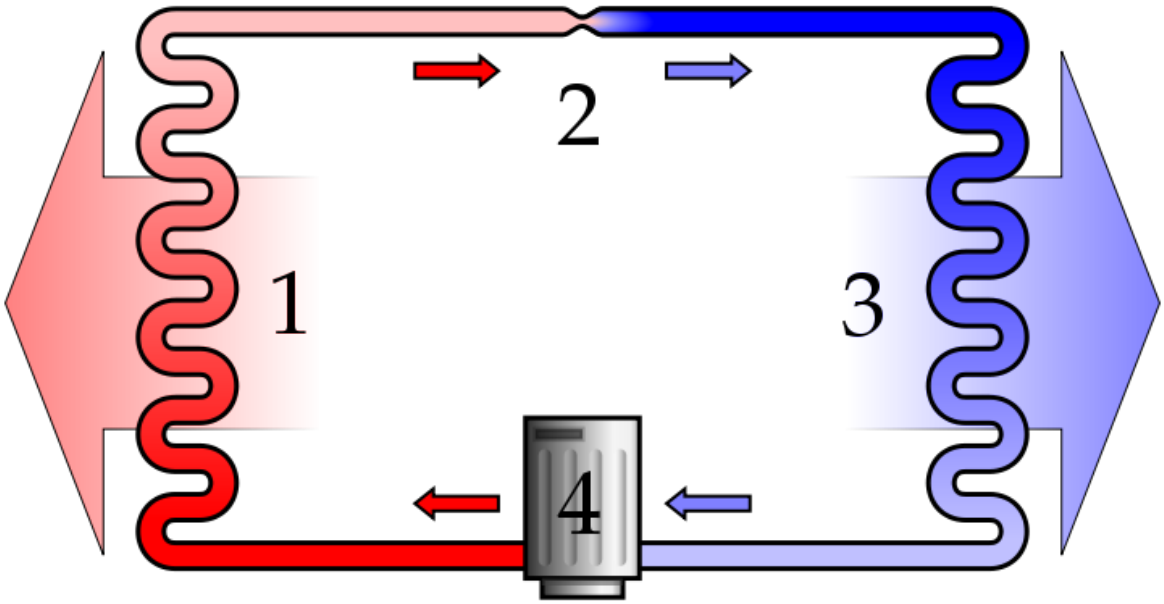
Inngangspartiet skal ha en fri passasje utenfor møbleringssonen, med en snusirkel på 1500 mm. Huset må planlegges slik at plassering av faste installasjoner som kjøleskap, vann og lignende må ivareta nødvendig betjeningsareal, samt snuplass for rullestol. Det må også prosjekteres med størrelse og utforming som gjør det mulig med framstillingsplass vedsiden av kjøleskap, og koketopp, og kum. Stuen skal ha snuplass for rullestol, innredes slik at det kan oppnås en passasjebredde på 900 mm til åpningsvindu, dør, balkong/uterom og andre evt. tilgrensede rom. [59]

4.5 Oppvarmingssystemer

For å varme opp boligen er det mange systemer som kan bli evaluert, elektrisk varme, ved, varmeovner, varmepumper, eller mer fremtidsrettede løsninger som utnytter gratis solenergien.

4.5.1 Varmepumpe

En varmepumpe krever tilført energi i form av strøm. Ved å utnytte temperatur forskjellen mellom et kaldt og et varm reservoar produserer den varmluft/vann med en virkningsgrad på 2-3.5 til det varme reservoaret, altså boenheten.[60] Varmepumpen bruker i prosessen et medium som endrer tilstand fra væske til gass ved forskjellige trykk. Som vist på figur 18 vil gassen i fase 1 kondensere og avgi varme, ved fase 2 reduseres trykket og det går tilbake til væske form., dermed blir det kaldere. Og ved fase 3 avgir den kulde til omgivelsene. I fase 4 går væsken igjennom en kompressor og blir gjort om til gass.



Figur 18. Viser prinsippet for varmepumpe. 1)Kondensator, 2) Reduksjonsventil, 3) Fordamper, 4) Kompressor. [61]

4.5.2 Gråvannsgjenvinner

En gråvannsgjenvinner er en stor vannbeholder hvor all gråvannet fra en bolig (vann fra dusj, badekar, oppvaskmaskin, vaskemaskin osv.) kommer etter bruk. Gjennom denne beholderen går det en kobberspiral, som det nye vannet går gjennom og blir varmet opp av det varme

gråvannet som ligger rundt kobberspiralen. Det går deretter videre til varmtvannsbeholderen. Ved bruk av en gråvannsgjenvinner kan man gjenvinne opptil 40 prosent av varmtvannet.[62]

4.5.3 Utnytte solenergi

Å utnytte passiv solvarme er enkelt og billig, det kan gjøres ved å plassere vinduer mot sør og øst. De vil da fungere som passive solfangere. Vinduene vil da motta mest mulig solinnstråling, bygningen blir varmet opp gratis. Ved å sette inn betongkonstruksjoner vil de fungere som et varmebatteri. Varmebatteriet vil da avgi varme, som den har fått om dagen, når det blir kaldt ute, Ettersom vinduer er mindre varmeisolerende enn vegger, plasseres få og mindre vinduer mot nord og vest, det hindres da unødvendige tap, her vil det være lite solinnstråling. Det er anbefalt et vindusareal på maksimalt 20 prosent. Til varme sommerdager er det fornuftig med en form for solavskjerming. Det kan løses ved hjelp av et tre som får blader på sommeren, eller en egen regulerbar solavskjerming.

Figur 19. Prinsippskisse for platesolfanger.

Fordelene med å utnytte solfangere til oppvarming er at man får gratis energi på dagtid, og det er lite vedlikehold på dem. Ulempene med solfanger er at man ikke får noe energi ut av de på

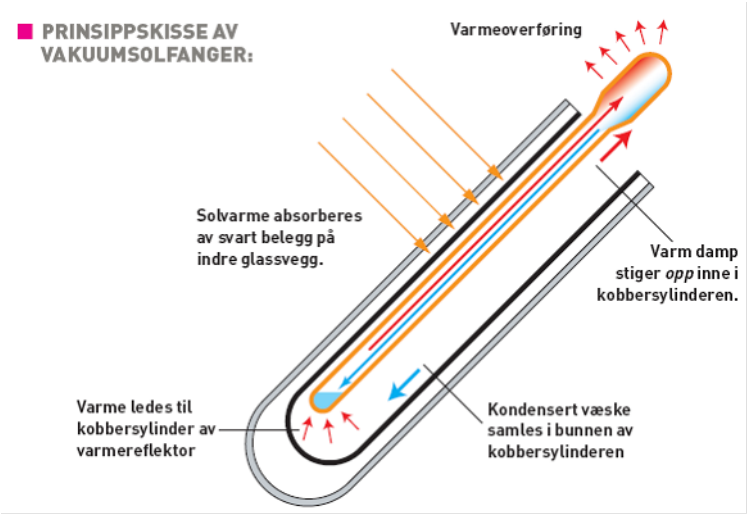
natten, og lite på dager med lav solinnstråling. Det er også betydelig mindre solinnstråling på vinteren når energibehovet til romoppvarming er størst. Arendal ligger i det området i Norge som har den høyeste solinnstrålingseffekten i løpet av året, se figur 20[63]. Forholdene ligger dermed godt til rette for å utnytte solenergi.

Figur 20 Solinnstrålingseffekt i Norge vinter og sommer.

Ved aktive solfangere blir varme fra solen utnyttet til å varme opp vann til tappevann eller romoppvarming. Solfangerne er regulerbare etter behov. På markedet i dag finnes det to forskjellige aktive solfangere, plate- og vakuumsolfanger. Plate solfanger bruker vann og egner seg best hvor temperaturen er relativt høy over store deler av året. Den har en enkel konstruksjon og er rimelig å kjøpe inn. [64]

Den andre typen solfanger som brukes er en vakuumsolfanger, den tar energi fra solen ved hjelp av et vakuumrør som vist på figur 21**.** Dette er en mer effektiv solfanger enn en platesolfanger, men en dyrere løsning. Om vinteren og på kalde dager vil den produsere mer

varme enn en platesolfanger, og er dermed i utgangspunktet mer aktuell for norske forhold.



Figur 21. Prinsippskisse for vakuumsolfanger.

Solceller utnytter solen til å lage elektrisitet. Energien som solcellene lager må enten lagres i batterier, kondensatorer, brukes, eller selges til kraftnettet. Solceller lager ikke noe lyd, lager gratis strøm og krever lite vedlikehold. De er dessverre per dags dato dyre.

4.6 Ventilasjon

Det er tradisjonelt naturlig ventilasjon i eldre boliger, ofte med mekanisk avtrekk på kjøkken og bad. Dagens forskrifter setter strengere krav til tetthet, noe som gjør at naturlig ventilasjon ikke blir tilstrekkelig. Det settes også krav til varmegjenvinning fra ventilasjonen, det vil derfor bli nødvendig å se på balanserte ventilasjonssystemer med varmegjenvinner.

Balansert ventilasjon trekker inn friskluft som forvarmes i en varmegjenvinner. Det er flere typer varmegjenvinnere, men det er den roterende varmegjenvinneren som er dominerende i Norge. Dette skyldes i hovedsak fordelene denne har i det norske klima. Videre tilføres friskluften gjennom ventilasjonskanaler. Tilført luft blir sendt inn i med en temperatur på 2-3 grader lavere enn eksiterende luft i rommet, på den måten får en sirkulasjon i luften i rommet ved hjelp av naturlig konveksjon. [65] Varmen til avtrekksluften blir gjenvunnet i varmegjenvinneren før luften forsvinner ut av boligen. Ofte er det mekanisk avtrekk på kjøkkenet da det ikke er ønskelig å få fett og mat os inn i ventilasjonssystemet. Balansert ventilasjon er en kostbar installasjon som krever vedlikehold og rengjøring. Men gjennom filtrering av luften vil man kunne fjerne radon, fukt, støv og andre forurensinger.[66] [67]

Virkningsgrader – egenskaper	A	B	C
Typisk årsvirkningsgrad i Norge [%]	60-80	75-85	75-85
Lekkasje mellom luftstrømmene	Nei	Ja	Ja
Bevegelige deler	Nei	Ja	Ja
Avrimning nødvendig – kondensavløp	Ja	Nei	Nei
Vedlikehold – relativt	Lavt	Stort	Medium

A – Motstrøms varmeveksler B – Kammervarmeveksler C – Roterende varmeveksler

Figur 23 egenskaper for varmegjenvinnere [68]

I TEK10 er det krav til SFP-faktor og års gjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner. SFP-faktoren for ventilasjonsanlegget må ikke gå over 1,5 kW/m3s etter NS:3700. Og 2,5 kW/m3s etter TEK10. Varmegjenvinneren skal han en års virkningsgrad på over 70 prosent etter TEK10, og over 80 prosent etter NS:3700. [69] [70]

SPF-FAKTOR

SFP-faktoren (Specific Fan Power) er summen av vifteeffekten i kW (tilluft + avtrekk + eventuelle andre vifter) delt på luft-mengden i m³.

Formell 5: summen av Specific Fan Power.

4.7 Støtte fra Enova

Enova skriver på sine hjemmesider at ved oppgradering av bolig kan det fås støtte til:[71]

1. Energirådgiving. Inntil 5 000,- NOK
2. Energioppgradering av boligen. (Forklares nedenfor)
3. Utfasing av oljekjel, 20 prosent, maks 25 000,- NOK.
4. Omlegging av el-basert til fornybar vannbåren oppvarming 20 prosent maks 10 000,- NOK.
5. Sentralt styringssystem, 35 prosent mak 4 000,-NOK.
6. Solfanger, 20 prosent, maks 10 000,-NOK.

Støtten Enova gir til en total oppgradering av bolig er delt inn i to nivåer, Nivå 1 gir 700,- NOK per m2, maksimalt 125 000,- NOK. Nivå 2 gir 600 ,- NOK per m2, maksimalt 110 000,- NOK. Enova skriver på sin nettside at for å motta støtte til oppgradering er det ulike kriterier som skal oppfylles. [72]

- Det skal være en betydelig reduksjon i boligens varmetap, det skal gjøres ved å oppgradere bygningsdelene og redusere luftlekkasjene.
- Det skal være en betydelig reduksjon av boligen årlige netto energibehov.
- Oppvarmingssystemet skal ikke kun være fossil og/eller elektrisk oppvarming.
- Reduksjon i varmetapet skal være minst 30 prosent.

Disse kriteriene er noe vage, men gir et innblikk av omfanget en oppgraderingen skal ha. En energirådgiver fra Enova lager etter en befaring av den aktuelle boligen en tiltaksplan med spesifikke krav av hva tiltak som skal gjøres for å motta støtte. Denne ordningen er ny av 13.Mai 2013, og energirådgivere er per dags dato under opplæring.

4.8 Energimerking

Energimerket angir boligens energitilstand. Energimerket består av en energikarakter og en oppvarmingskarakter. Energimerket symboliseres med et hus, hvor fargen viser oppvarmingskarakteren, og bokstaven viser energikarakteren. Energikarakteren angir hvor energieffektiv boligen er, inkludert oppvarmingsanlegget. Energikarakteren er beregnet ut fra den typiske energibruken for boligen med standardverdier hentet fra NS 3031: 2011. Det er altså ikke bruken av boligen som simuleres, men boligens tilstand når det gjelder energieffektivitet. Energikarakter A betyr at boligen er energieffektiv, mens G betyr at den er lite energieffektiv. En bolig bygget etter TEK10 vil normalt få enten energikarakter C eller B.

Oppvarmingskarakteren forteller hvor stor andel av oppvarmingen (romoppvarming og tappevann) som dekkes av fornybare energikilder. Grønn farge betyr høy andel fornybar energikilde, mens rød betyr høy andel av elektrisitet, olje eller gass. Oppvarmingskarakteren skal stimulere til økt bruk av fornybare energikilder.

5. Problemstillinger ved oppgradering av eksisterende boliger

Etter huset ble bygd i 1967 er det blitt strengere krav til tetthet, oppvarmingsbehov og innemiljø. Som en konsekvens er det blitt økende fokus på bygningsfysikken. Det er nå mindre detaljer som kan være avgjørende om du får en bolig som oppfyller de stadig strengere kravene. I dette kapitelet vil de vanligste problemstillingene ved oppgradering av eksisterende boliger bli forklart. Tiltakene som er vurdert ved disse problemstillingene kommer i de påfølgende kapitlene.

5.1 Bygningsfysikk

«Etterisolering gir lavere energiutgifter, bedre komfort og kan forbedre energimerket på boligen. Derfor er isoleringstiltak ikke bare aktuelle for svært gamle boliger. Det kan også være fornuftig å etterisolere hus som ble bygd på 1960- og 1970-tallet, og faktisk helt frem til i dag.» Forteller ENOVA på sine hjemmesider. [73] Boliger bygget på 1970-tallet har normalt ikke mer enn 100mm isolasjon i vegger og tak, og gulvet er typisk isolert med 50mm EPS (Isopor). Flere eldre boliger lider i tillegg av byggefeil som kan forårsake fuktskader og luftlekkasjer. Dette gir et dårlig innemiljø som i ytterste konsekvens kan være helseskadelig. Dette, og de høye strømregningene er grunnen til at flere som sitter med eldre boliger nå ønsker å oppgradere. Men her er det ting man skal være oppmerksom på, både når det gjelder materialvalg og utførelse.

Det er ikke bare isolasjonstykkelsen som har noe å si, det er også viktig med kontinuerlig vindtetting og at man har kontroll på fuktvandringen i konstruksjonen. Dette er noe det har blitt mer fokus på i senere tid, og det er spesielt viktig om man skal nærme seg passivhus kravene. Det er flere eksempler på passivhus i Norge i dag. De fleste og mest kritiske problemstillingene ved passivhus har man funnet gode og effektive løsninger på. Disse løsningene er i dag er utprøvd, men kanskje ikke kjent for de fleste i bygge bransjen. Det er i tillegg enkelte problemstillinger som er lettere å løse når man bygger en ny bolig enn ved en oppgradering, disse skal vi se nærmere på utover i rapporten.

5.1.1 Tetthet

For å klare passivhus kravene på 0,6 luftskifte per time må en ha stort fokus på tetthet. Godt håndverk er spesielt viktig for å oppnå tettheten vi ønsker, og da spesielt rundt vinduer og

dører. Utfordringen ligger i å få det tett rundt vinduene samtidig som vi skal ta hensyn til solskjerming, solinnstråling og faren for lekkasje av regnvann ned i konstruksjonen.

De gjeldene tekniske forskrifter setter krav til tettheten i nye boliger, dette gjelder også for større utbedringer slikt som i dette prosjektet. TEK 10 setter minstekravet til tetthet på 2,5 luftskifte per time, men skal vi strekke oss mot Passivhus standarden (NS 3700) må vi helt ned på 0,6 luftskifte per time.

Vindsperre:

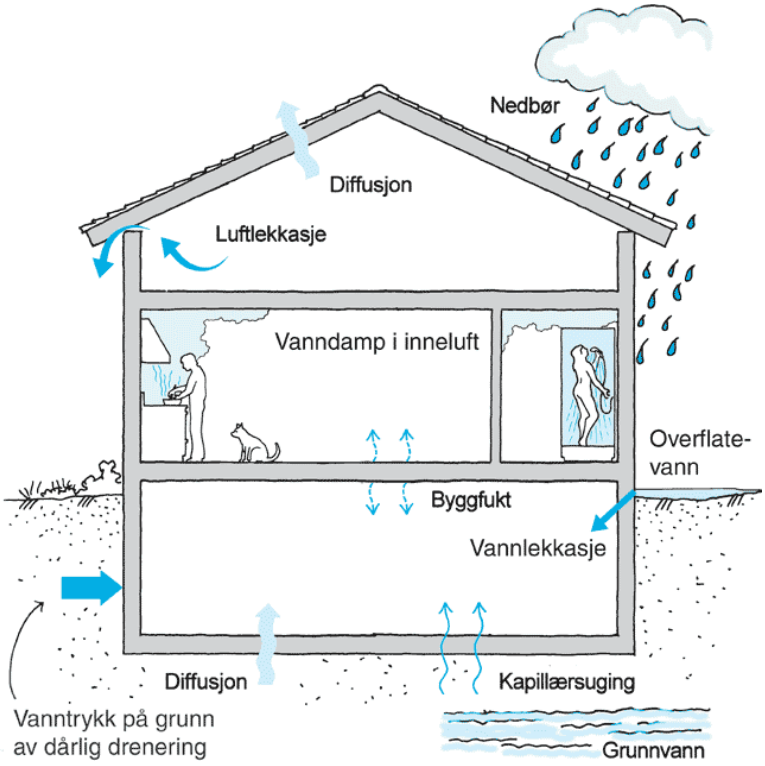
Vindsperren må være tett, både for tettheten og isolasjonen sin del. Tradisjonell isolasjon som stein- og glassull mister noe av sin isoleringsevne hvis luften ikke er stillestående. Det er derfor viktig at vindsperren blir lagt kontinuerlig over hele bygget, med tette skjøter som er klemt med hjelp av sløyfer og lekter. Spesielt utfordrende ved en oppgradering er overgangene mellom yttervegg og tak. Men det vil også bli sett på overganger fra grunn til yttervegg, rundt etasjeskille og rundt vinduer og dører. Videre skal det ses nærmere på hvilken SD-verdier det bør være på vindsperren.

Viktigheten av tette overganger gjelder også for diffusjons- sperren/bremsen. Selv om denne i hovedsak hindrer fuktighet inn i konstruksjonen, bidrar den også til byggets tetthet. Det er derfor viktig at denne ikke punkteres og at alle overganger blir klemt, limt og/eller teipet. Spesielt utfordrende ved en oppgradering er overgangen mellom etasjene, og det er her fordelene med en diffusjonsbrems kommer inn. Mer kommer om fuktvandringen i kapittel 6, det som er viktig er å påse at vi får et tett klimaskall.

For å tilfredsstille de strenge kravene til tetthet er det ikke lenger mulig å ha naturlig ventilasjon i boligene. Det er flere som mener det er mulig å klare kravene om minimums oppvarmingsbehov med bruk av naturlig ventilasjon, men da må kravene til tetthet senkes. I vårt tilfelle har vi derfor sett på andre ventilasjonsløsninger som balansert ventilasjon. Mer om disse løsningene senere i dette kapittelet.

5.1.2 Fuktvandring

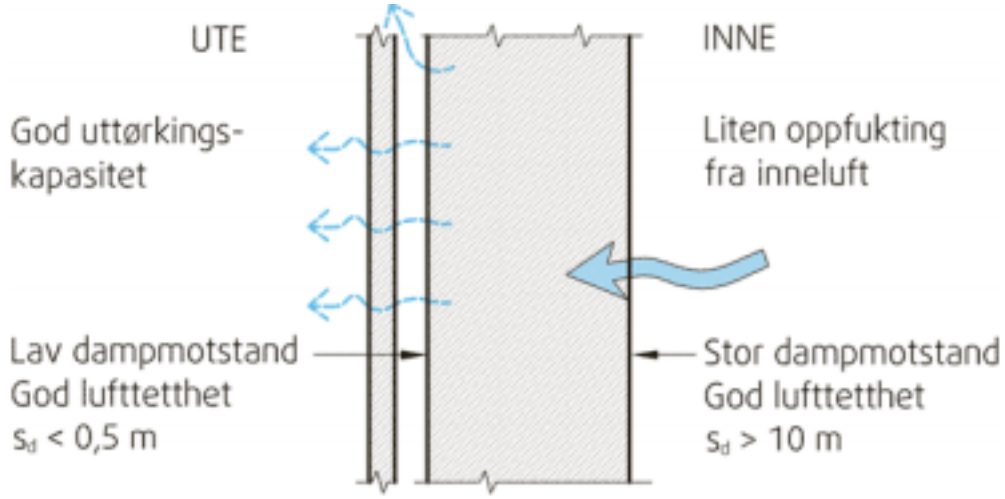
Fuktvandringen i klimaskallet er viktig, det betyr at den fuktigheten som kommer inn i konstruksjonen må kunne diffundere ut igjen. Den fuktige inneluften bidrar til et damptrykk inne i huset. Dette damptrykket er ofte større en trykket på utsiden av huset, og dermed vil damptrykket presses utover i konstruksjonen. Ved bruk av diffusjonssperre vil ikke dampen trenge inn i konstruksjonen, mens ved bruk av diffusjonsbrems vil noe av dampen trenge igjennom. Dette gjør at noe fuktighet kommer inn i isolasjonslaget, og om fuktigheten ikke får mulighet til å tørke vil fuktigheten samle seg opp og skape fuktskader. Derfor er det viktig å vite hvordan dette skal gjøres for å få en konstruksjon som håndterer fuktigheten riktig.



Figur 24[74] Modell av fuktighet i bygninger.

Diffusjonssperre:
Tradisjonelt er det vanlig å legge plast som en diffusjonssperre, som hindrer fuktigheten i å komme inn i konstruksjonen. Men det ses stadig tilfeller av mangelfull utførelse, punktering eller porøs plast i eldre bygninger. Damptrykket kan da føre til at vi får en konsentrasjon av fuktighet i disse områdene, som vil være uheldig om konstruksjonen ikke klarer å tørke fuktigheten fort nok.

Ved oppgradering av en eldre bolig vil det være naturlig å kontrollere eksisterende diffusjonssperre. Er plasten punktert eller porøs er den moden for utskifting. Om det skal bli lagt ny diffusjonssperre kan det bli utfordrende å få denne kontinuerlig gjennom etasjeskille og i overganger mellom vegg-tak og tak-skillevegger. Det er helt avgjørende å få en kontinuerlig diffusjonssperre og at alle overganger er tette. Både for å oppnå tetthetskravet og for å ikke få fuktskader.



Figur 21: Enkel modell av fuktvandring i vegg.[75]

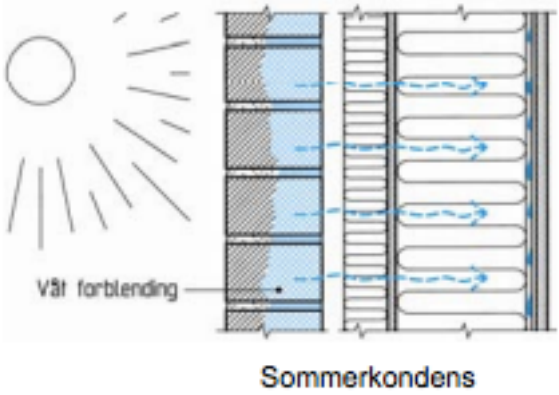
Diffusjonsbrems:

Andre problemstillinger oppstår av at dette er et eksisterende bygg, det blir dermed mer utfordrende å få en kontinuerlig diffusjonstetthet sammenlignet med et nybygg. Utfordringene ligger spesielt i overgangen mellom etasjene. Det er av denne grunn sett på løsninger som diffusjonsbrems, som lar noe av den fuktige inneluften trekke ut i konstruksjonen. Men da er utfordringen å få en konstruksjon som lar fuktigheten tørke, både utover og innover. Positivt med denne løsningen er at fuktigheten i bygget trenger jevnt ut i konstruksjonen. Det som trekker ut er så lite at konstruksjonen klarer å tørke fuktigheten på egenhånd.

Fuktigheten kan tørke innover og utover i konstruksjonen. Normalt tørker mesteparten av fuktigheten utover i konstruksjonen ved hjelp av trykkforskjellene ute og inne, hvor varmen i huset hjelper i prosessen. Men det er også mulig å få fuktigheten til å tørke innover i konstruksjonen. Da må man bruke diffusjonsbrems.

Uansett hva man bruker er prinsippet det samme, at fuktigheten trenger et materiale som er ti ganger lettere å gjennomtrenge enn det forrige for å sikre at fuktigheten beveger seg utover i konstruksjonen naturlig. Det er utrolig viktig at vegger blir bygget opp slik, ellers risikerer man at fuktigheten forblir inne i konstruksjonen, uten mulighet for å slippe ut.

Fuktighet i isolasjonen er altså ikke farlig så lenge den får muligheten til å tørke. Om vinteren vil denne fuktigheten kondensere og fryse inne i konstruksjonen, det kan høres skummelt ut, får den derimot mulighet til å tørke det ikke være skadelig. Som figur 26 viser, kan fuktigheten til og med komme utenfra ,og tørke innover i konstruksjonen på sommerstid.



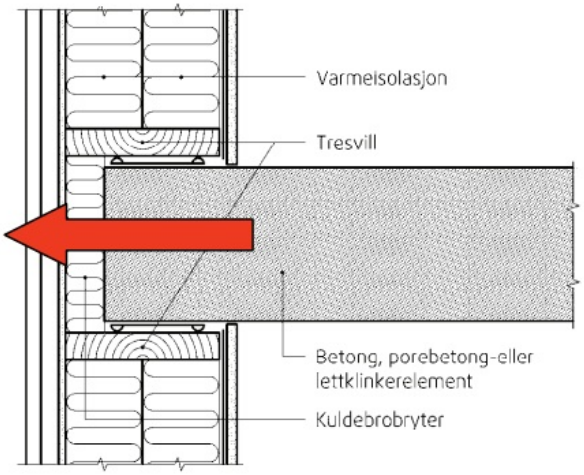
Figur 26[76] Fuktighet som tørker innover i veggen.

5.1.3 Kuldebroer

Kuldebroer er områder i konstruksjonen hvor det er betydelig mindre isolasjon enn andre steder. Spesielt utfordrende er det med kuldebroer i eksisterende bygg, men det finnes løsninger som kan forbedre eller fjerne eksisterende kuldebroer. I eldre boliger er ofte konstruksjonen full av kuldebroer. Det kommer i hovedsak av:

- Reisverk i eldre boliger er en stor kuldebro, grunnet gjennomgående treverk(reisverk) fra kledningen på yttervegg til kledningen på innside yttervegg.
- Balkonger som ligger inn på etasjeskille eller gulv.
- Gulv mot grunn er ofte så dårlig isolert at det kan betraktes som en kuldebro.
- I overgangen mellom yttervegg og tak, hvor det kan bli mindre isolasjon i hjørnet.

Den store problemstillingen rundt kuldebroer er varmetapet, men også risikoen for kondensering og fuktskader skal nevnes. Som vi har nevnt tidligere er det en del kuldebroer i eldre boliger. I et passivhus ville de samme kuldebroene stått for en betydelig del av varmetapet til boligen. Det vil derfor være avgjørende å fjerne så mye av kuldebroene som mulig, da dette reduserer oppvarmingsbehovet.



Figur 22[77] Kuldebro ved etasjeskille grunnet betydelig mindre isolasjon i dette området.

Det finnes mange forskjellige kuldebroer, og derfor også flere måter å fjerne kuldebroene på. Det vil være vanskelig å kvitte seg med alle, Men det er flere tiltak som kan gjøres for å redusere disse betraktelig som vil bli betraktet i kapittel 6.

5.1.4 0-punktproblematikken

Når det gjelder isolasjonstykkelsen er det ingen fasit for hva som er riktig, men det er viktig å tenke på 0-punktet i konstruksjonen. Altså det punktet i konstruksjonen hvor temperaturen er 0 grader når det er minusgrader ute. I dette punktet vil fuktigheten i konstruksjonen kondensere og fryse. Det kan være problematisk om fuktigheten kondenserer for langt inne i konstruksjonen på grunn av uttørkingsmulighetene. Spesielt risikofylt er det om 0-punktet er på innsiden av diffusjonssperren, fuktigheten vil da kondensere inne i bygget. Det er dermed positivt å ha 0-punktet så langt ute i konstruksjonen som mulig. Dette løses med enkle tiltak som det ses nærmere på i kapittel 6.

5.2 Etterisolering av gulv

Tradisjonelt er det lite isolasjon i sokkelen på 70-talls boliger, noe som medfører en høy U-verdi på gulvet. Det vil derfor være nødvendig å gjøre tiltak for å redusere varmetapet. Men tiltakene begrenser seg grunnet takhøyden og av økonomiske årsaker. Takhøyden kommer også inn som en problemstilling om man skal ha balansert ventilasjons som krever kanalføringer.

Med en eksisterende takhøyde på 2,4m og et krav om støydemping og brannmotstand mellom boenhetene vil muligheten for å etterisolere gulvet begrenses. Muligheten for å pigge opp gulvet for isolere mer i sokkelen vil bli vurdert, men dette er ofte kostbart. Det er derfor sett på isolasjonsmaterialer med lav varmeledningsevne for å begrense isolasjonstykkelsen. Det er også krav om å ha en tilfredsstillende radonsperre, da utslipp av radon i boligen kan være farlig.

5.2.1 Kantisolering

Kantisolasjon kan være en løsning som må til for å nå kravene i TEK10. Dette vil kreve graving rundt boligen, og er kostbart. Men det er kan være nødvendig for å klare kravene.

5.3 Kaldt loft

På 70-tallet var det helt normalt med kalde loft med luftespalter. Luftespaltene er for å transportere bort fuktighet for å hindre muggdannelser og for å transportere bort varme som skaper snøsmelting og isdannelser. I dag stilles det stadig strengere krav til brannsikkerhet som setter begrensninger til lufting av tak, siden branner ofte sprer seg raskt gjennom luftede tak. Der er også uheldig å få nedbør, da som oftest snø, blåsende inn gjennom luftingen og inn på taket. Det er derfor sett på en løsning med kaldt uluftet loft i denne rapporten. Problemstillingene blir å opprettholde transporten av fuktighet og varme. [78]

5.4 Lyd og brann

Det stilles krav til lyddempning og brannmotstand mellom to boenheter. Lyddempningen kan løses med trinnlydsplater og lydhimling. Brannmotstanden løses med materialer med høy brannmotstand i etasjeskille. Utfordringen her blir takhøyden, da en lydhimling bruker litt av takhøyden.

5.5 Materialvalg

U-verdier og varmetapstall (λ-verdier) er sentrale i valg av isolasjonsmaterialer. Her vil kostnaden ha mye å si for materialvalg, men i enkelte tilfeller vil det kanskje være lønnsomt å

velge dyrere materialer med bedre verdier for å nå målet. Utfordringen ligger i å finne den mest kostnadseffektive løsningen som tilfredsstiller de egenskapene som trengs. Det er kun vurdert materialtyper som ble gjennomgått i kapittel 4.

5.6 Ventilasjon

Boligen som den står i dag oppfyller kravene for ventilasjon i henhold til TEK10. Det er i hovedsak grunnet den høye luftlekkasjen igjennom klimaskallet. Boligen skal gjennom en stor oppgradering, noe som tilsier at kravene for ventilasjon må opprettholde minstekravet i TEK10. Med denne oppgraderingen vil boligen bli betraktelig tettere, noe som medfører at naturligventilasjon ikke er tilstrekkelig. Utfordringen er da i å finne et ventilasjonssystem som tilfredsstiller kravet om luftskifte og varmegjenvinning.

Når man skal installere et ventilasjonssystem i en eksisterende bolig er plassering av ventilasjonsaggregatet og design av kanalsystemer viktig for å gjøre kanalstrekene kortest mulig. Aggregat og kanaler bør ligge innenfor klimasonen, altså ikke på kaldt loft eller andre uoppvarmede rom, kanalene bør da i isoleres.

Det kan enten brukes et sentralt- eller desentralt ventilasjonsaggregat. Sentral ventilasjonsaggregat sender lik luft inn i begge leilighetene, med ingen mulighet for å regulere etter eget behov. Med et desentralt aggregat vil hver enkelt leilighet kunne kontrollere til luft og temperatur etter behov. [79]

Dagens forskrifter og standarder setter krav til varmegjenvinning i ventilasjonen. Det vil derfor være aktuelt å se på lønnsomheten i å velge systemer med høy varmegjenvinningsgrad.

5.7 Oppvarmingssystemer

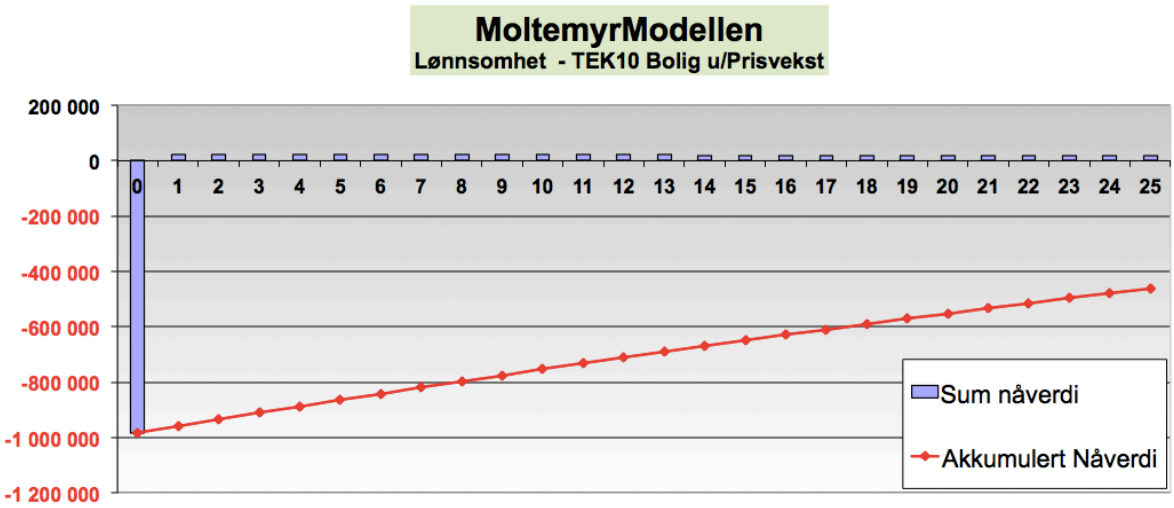
Kravene om fornybarandel, mindre- fossilt brensel og elektrisitet krever nytenking når det gjelder oppvarmingskilder. Solenergi blir mer og mer vanlig, det er også mulig å bytte ut tradisjonelle vedovner med ulike bio-ovner. Varmepumper i kombinasjon med balansert ventilasjon er helt klart en løsning som bør sees nærmere på.

Dagens krav sier at energibehovet til oppvarming skal ned, det er ikke lenger nødvendig å ha en stor vedovn for å klare seg gjennom vinteren. Bygger man et lavenergi- eller passivhus i

dag kan man klare seg med billige løsninger som er enkle i drift for store deler av året. Har man en liten el ovn for å ta spisslasten de dagene kulda slår for fullt vil du ha en god kontroll på energiforbruket. Utfordringen ligger i å finne den mest mulig kostnadseffektiv måten å varme opp boligen. Oppvarmingsbehovet må bli fordelt på to boenheter med separate oppvarmingssystem. Både romoppvarming og tappevannsoppvarming skal vurderes, men også varmegjenvinning i ventilasjonssystemet er en avgjørende del for å redusere oppvarmingsbehovet.

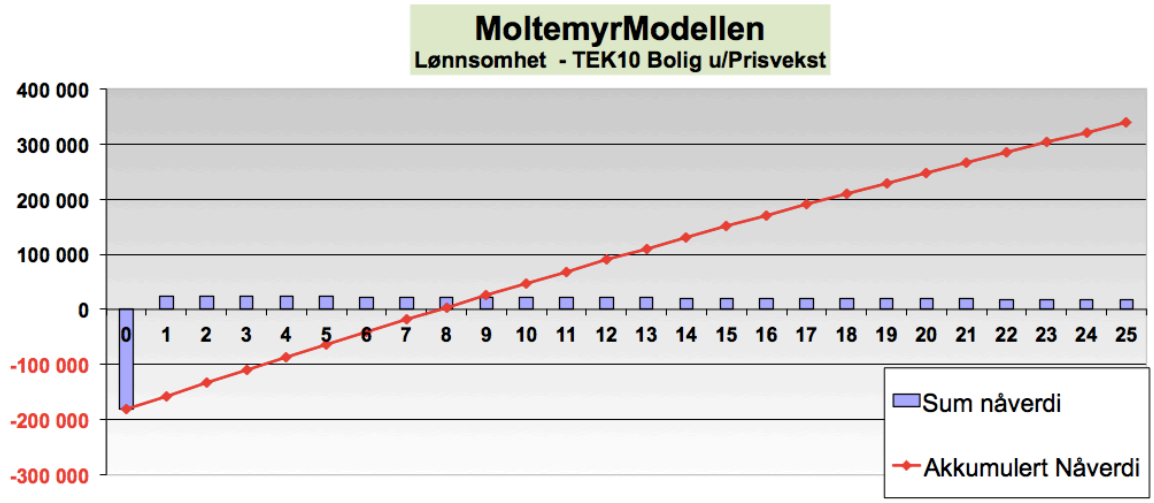
6. Vurdering av tiltakene

Som et ledd i vurderingen av alle tiltakene som kan gjøres ble det simulert energibehovet til en bolig som tilfredsstiller minstekravene i TEK10 og passivhus standarden. Dette gav oss en årlig energibesparelse fra dagens tilstand som vi satt opp mot kostnadene ved en slik oppgradering. Nåverdien og tilbakebetalingstiden kan sees av figur 28. Her er det da ikke medregnet prisveksten boligen vil få, men lønnsomheten er kun regnet utfra energibesparelsen. Det kommer frem i grafen at det ikke er lønnsomt å oppgradere boligen fra As-is til TEK10 i ren energibesparelse.



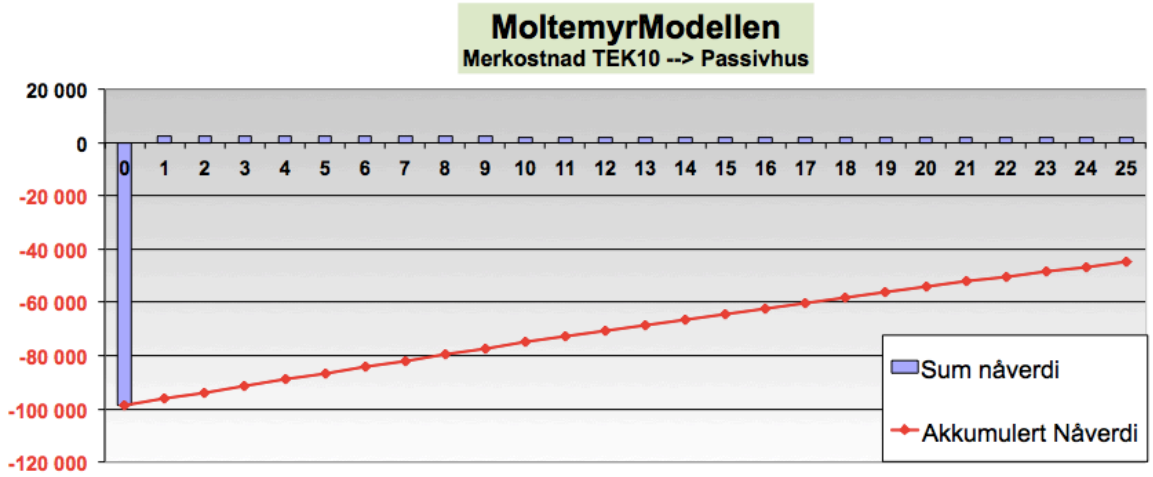
Figur 23: Lønnsomhetsanalyse av å oppgradere fra As-Is til TEK10 ved ren energibesparelse. Det er her ikke tatt med prisvekst.

Derimot blir dette en lønnsom investering om man medregner en merverdi ved salg av boligen. Det er i figur 29 tatt med en merverdi på 800 000,-NOK. Det er en økning som megler har antydet, men som ingen kan gi noe garanti for. Men ved omgjøring til to boenheter og en total oppgradering vil en merverdi på 800 000,- NOK være liten, den vil trolig være mer.



Figur 24 Lønnsomhetsanalyse av å oppgradere fra As-Is til TEK10 ved ren energibesparelse. Det er her tatt med en merverdi ved salg på 800 000,-NOK.

Det viser seg i figur 30 at å gå til passivhus er lite lønnsomt i ren energibesparelse. Ifølge megler er det i dag ingen merverdi ved salg av passivhus sammenlignet med TEK10. Det er videre sett på lønnsomheten av enkelttiltak. Men det har ikke bare vært lønnsomheten som har vært en viktig faktor, det har også vært viktig at tiltakene kan tilfredsstille problemstillingene vi nevnte i kapittel 5.



Figur 30: Merkostnaden fra TEK10 til Passivhus. Det er her ikke tatt med prisvekst. Dette er etter rådføring med megler som mener det på markedet I dag ikke er noen prisdifferanse på en TEK10 bolig og passivhus.

6.1 Bygningsfysikk

Siden dette prosjektet brukt kyoto-pyramiden som en prinsippskisse, ses det først på tiltak for å redusere det totale energibehovet til boligen, det er også sett på de bygningstekniske detaljene for å få en bolig uten byggefeil og godt innemiljø. Videre er det gjort en kort vurderinger av tiltak som kan gjøres for å redusere elektrisitet forbruket. Utnyttelse av solenergi er blitt diskutert opp mot pris og energibesparelse. Videre er det sett nærmere på ulike energikilde. Det vil nå bli lagt frem forslag til løsninger av de problemstillingene vi nevnte i kapittel 5.

Tiltakene som er nevnt under vil også være aktuelle for andre eldre boliger. De spesifikke tiltakene som vil bli gjort i dette prosjektet kommer ikke frem før i kapittel 7. Totalvurderingen av pris, energibesparelse, levetid, materialegenskaper og miljøvennlighet legger grunnlaget for hvilke tiltak som blir valgt. Videre i kapittel 6 vil det diskuteres positive og negative egenskaper ved de ulike tiltakene. Det er her flere veier til målet, det handler om å finne den beste.

Teknisk tabell 1: Isolering av yttervegg

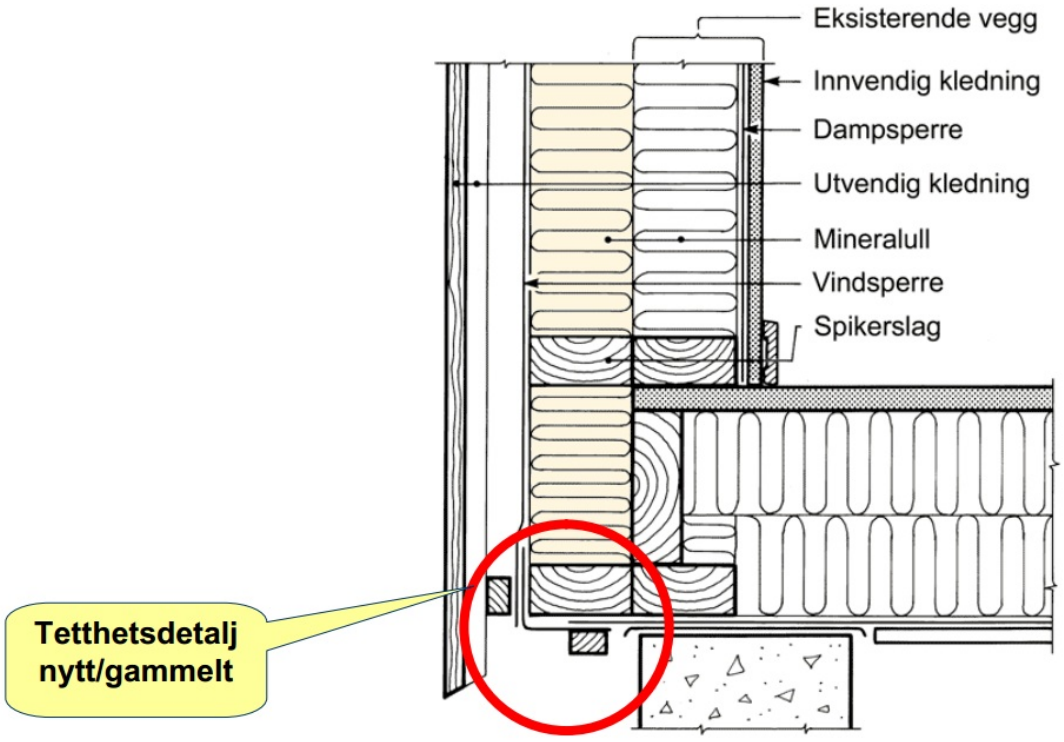
Isolering av Yttervegg			
Beskrivelse	Ytterveggen skal isoleres til en viss grad, spørsmålet er hvilken tykkelse på isolasjon som vil være mest lønnsomt. For enkelhetsskyld har vi nedenfor tatt utgangspunkt i de U-verdiene ulike tykkelser vil gi. Minstekravet til TEK10 er en U-verdi på 0.18, mens det kan være aktuelt å gå nedover mot 0,12 ved passivhus. Vi har sett på noen av disse U-verdiene.		
Fordeler	Etterisolering av yttervegg gir fordeler som mindre kuldebroer, mindre lekkasjer i tillegg til at det er energibesparende.		
Ulemper	Kostbar og omfattende del av en oppgradering.		
Lønnsomhetsanalyse	U-Verdi 0.18	U-Verdi 0.15	U-verdi 0.12
Total Kostnad	225 090,- NOK	269 010,- NOK	292 800,- NOK
Årlig Energibesparelse	10 605 kWh	11 250 kWh	12 253 kWh
Tilbakebetalingstid	Betaler seg ikke tilbake innen levetiden		
Levetid	25 År		
Nåverdi etter levetid	- 86 617,- NOK	- 141 517,- NOK	- 171 254,- NOK

6.1.1 Tetthet

Vindsperren og diffusjonssperren skal gå kontinuerlig rundt klimaskallet til bygget uten noen form for åpninger. Vi skal se nærmere på noen krevende overganger både med tanke på vindsperren og diffusjonssperren.

Vindsperren:

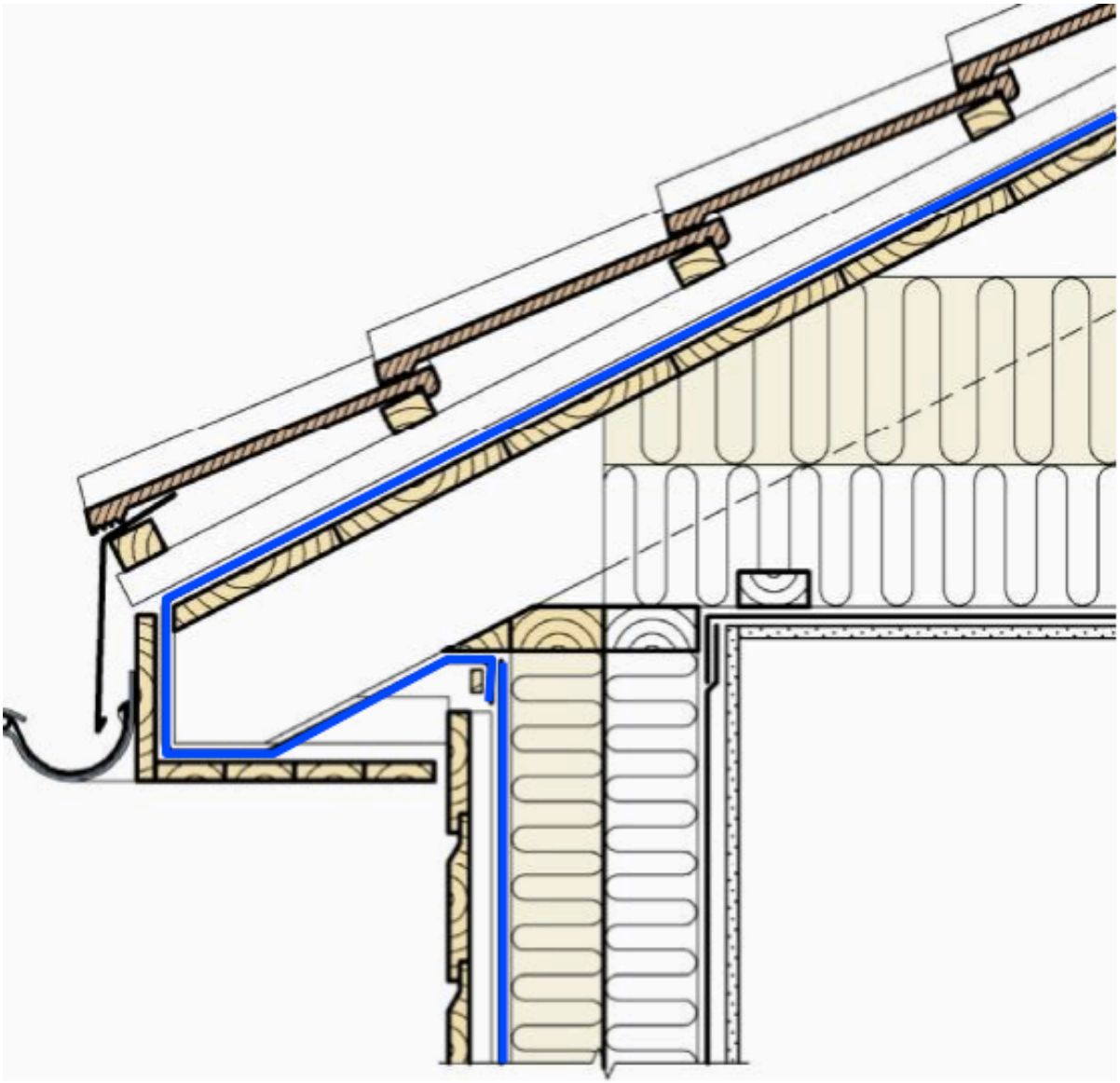
Ved etterisolering av yttervegg er det naturlig å legge vindsperre på utsiden av isolasjonen, men det er isolasjonsmaterialer der hvor vindsperren kan legges på innside. For å starte vindsperren med en tett overgang har vi flere muligheter. Den kan starte under bakkenivå og gjerne klemmes fast mot ringmuren eller eventuell kantisolasjon. Den kan også klemmes mellom ringmur og grunnmurssvilla, som vist på figur 31.



Figur 31: Tetthetsdetalj hvor vindsperren klemmes mot spikerslag og videre mellom Ringmur og grunnmurssvilla.

Vindsperren i overgang vegg- tak:

Da gjenstår det å få vinsperren kontinuerlig rundt og over hele huset. Spesielt utfordrende er det når man kommer til overgangen mellom yttervegg og tak. Det tas utgangspunkt i at det skal legges nytt tak uansett metode. Ofte vil dette være naturlig å gjøre ved en total oppgradering å gjøre med så gamle tak.

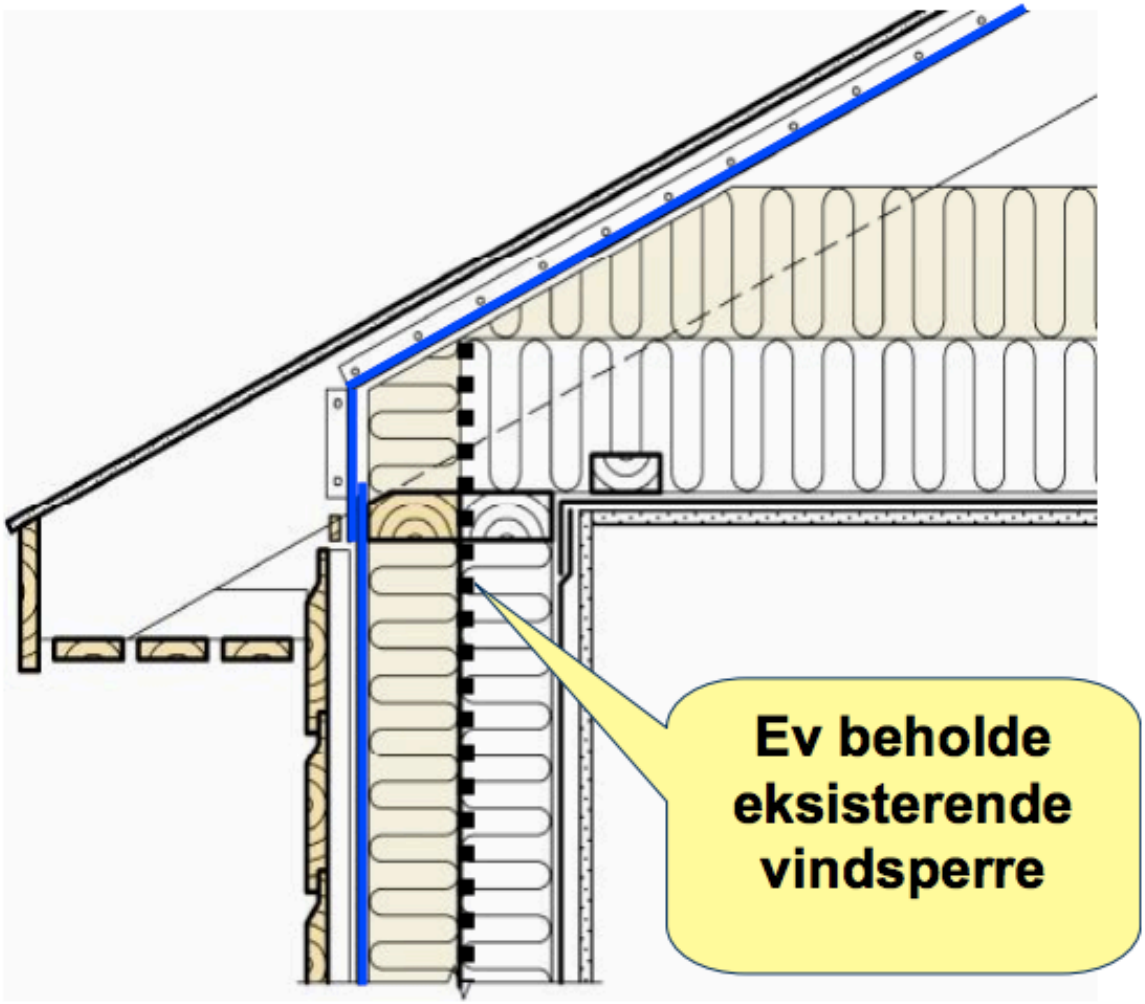


Figur 31[80]: Vindsperren legges innvendig I raftekassen.

Det vil være flere måter å løse utfordringen på, og en av dem kan være å legge vindsperren innvendig i raftekassen, som vist på figur 31. Dette vil være en god løsning på problemet, det krever ofte at man må kle av store deler av raftekassen. Når dette er gjort møter man nye utfordringen når vindsperren skal legges forbi fagverkene da vindsperren må legges på undersiden av undertaket. Vindsperren må da skjæres til og teipes rundt alle fagverk og dragere slik at det blir tette overganger. Om man ikke skal legge nytt tak vil dette være en god løsning.

Om man skal legge nytt tak kan man legge vinsperren på oversiden av eksisterende takstoler, da det eksisterende taket skal rives uansett. Det gjør at man kan legge vindsperren

kontinuerlig over hele taket uten å møte på hindringer som fagverk. Men utfordringen ligger i overgangen fra vegg til tak. Her vil det være en god løsning å kappe vekk raftekassen, deretter legge vindsperren rett opp langs veggen og over eksisterende takstoler, som vist på figur 32. Det høres kanskje krevende ut, men når man ser på alternativene så er det ikke mye ekstra jobb eller penger. Som figur 32 viser vil det da bli enkelt å få en kontinuerlig og tett overgang fra ytterveggen og over hele taket. Kostnadene ved kapping av raftekassen vil bli drøftet mer i lønnsomhetsanalysen, men sammenlignet med å legge vindsperren innvendig i raftekassen er det ikke betydelig forskjeller. Dette skyldes at det vil være mye jobb med å få vindsperren kontinuerlig tett ved å legge den på undersiden av undertaket. For enkelhetsskyld er det laget en del tabeller som enkelt oppsummerer de forskjellige tiltakene.



Figur 32[81]: Vinsperren legges kontinuerlig fra vegg og opp over eksisterende takstoler ved å kappe raftekassen.

Teknisk tabell 2: Vindsperre

Vindsperre	
Beskrivelse	Ettersom det vil være lik kledning i 1. og 2. etasje legges vindsperren utenfor den nye isolasjonen. Ved overgang vegg-tak kappes raftekassen, vindsperren legges kontinuerlig fra grunn til møne. Rundt vinduer og dører legges vindsperren som vist i figur 34. Eksisterende vindsperre vil bli erstattet av ny i tillegg til den nye som legges på utsiden av ny isolasjon. Se figur X2.
Fordeler	Bidrar til en tett konstruksjon, mindre konveksjon i konstruksjonen.
Ulemper	Krever godt håndverk for å få tette skjøter.
Teknisk data	
Levetid	30 år
Kostnad	30-60,- NOK / m2
SD-verdi	0.01-0.02

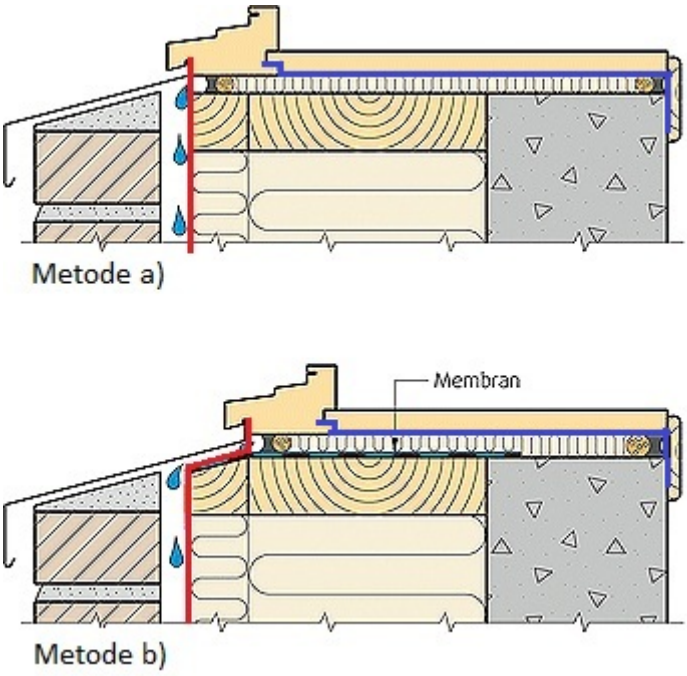
Diffusjons- og vindsperre i etasjeskille

Ved utvendig etterisolering er det ikke spesielt krevende å få vindsperren til å gå kontinuerlig fra ett plan til et annet. Om etasjene har samme utvendige kledning vil vindsperren ligge på samme sted uten noen krevende overganger. Om det er to forskjellige kledninger kan det hende at vindsperren skal legges på forskjellige steder i konstruksjonen. Det eneste som er viktig er at dette blir lagt kontinuerlig og at alle overganger blir klemt og/eller teipet. Tette overganger er viktig.

Når det gjelder diffusjons- sperren/bremsen er den mest krevende overgangen i etasjeskille. Det er en krevende overgang både med tanke på tetthet og fuktvandring. Det vil komme tydeligere frem hvordan dette bør løses med tanke på fuktvandringen senere, men for å sikre en tett overgang bør det monteres en plate i etasjeskille som diffusjons- sperren/bremsen blir teipet fast til. Det er vurdert slik at himlingen ikke vil bli tett nok, og derfor bør det monteres en ekstra plate for å sikre tettheten i etasjeskille. Ved nytt gulv i plan to vil det være lurt om overgangene inn mot vegger blir teipet.

Diffusjons- og vindsperre rundt vinduer og dører:

Alle vinduer i dagens marked er laget slik at vind- og diffusjonssperren enkelt kan festes inn på vindusrammen for å oppnå tette overganger. Det er laget et hakk i underkant av vindusrammen som vender utover hvor man enkelt kan legge vindsperren for så å teipe og klemme denne fast. Se figur 33, hvor vindsperren er markert med rødt og diffusjonssperren med blått.



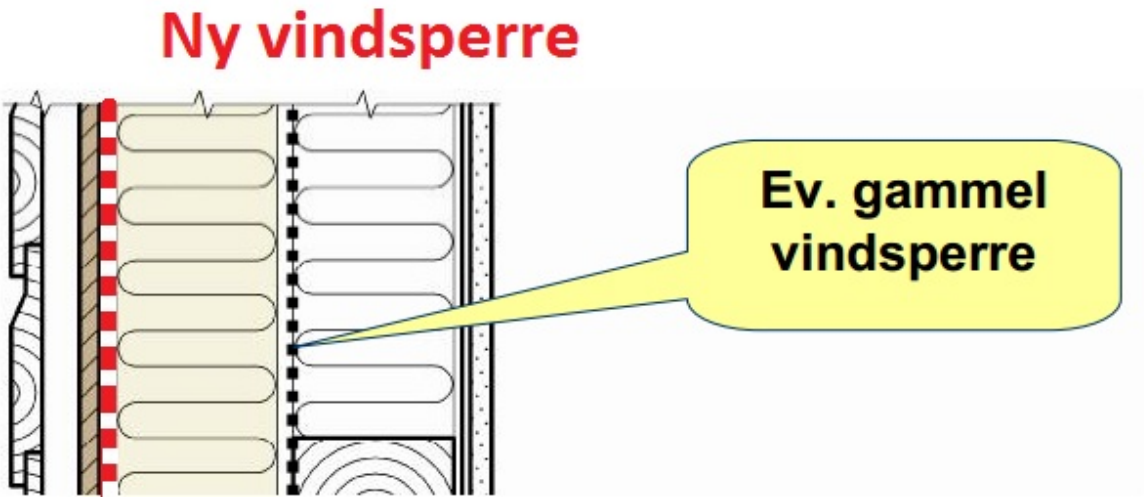
Figur 33: viser hvordan vindsperren og diffusjonssperren festes rundt vindu. [82]

Som figur 33 viser er det også laget et spor hvor plasten kan klemmes. Her kan man enkelt legge plasten inn i hakket for så å klemme denne fast til rammen. Det er også mulig å legge eventuell diffusjonsbrems inn mot vindusrammene, men da må det teipes i tillegg for å sikre en tett overgang.

Metode a og b viser forskjellig plassering av vinduet i konstruksjonen. Hvor metode a beskytter mer for vannlekkasjer inn i konstriksjonen, mens metode b sikrer en bedre solskjerming. Det er også mulig å plassere vinduet lengre inn i konstruksjonen. Da vil solskjermingen og U-verdien til vinduet bli noe bedre, men faren for vannlekkasjer ned i konstruksjonen øker.

Unngå konveksjon i isolasjonen:

Ved bruk av tradisjonell glassull er det viktig at det ikke er luftsirkulasjon i isolasjonen. Vindsperren legges slik at luften i isolasjonslaget blir tilnærmet stillestående. Det eneste som vil gjøre at luften kan bevege seg er konveksjonen i isolasjonen, men også dette kan vi begrense på en god og effektiv måte ved en oppgradering av boligen.



Figur 34[83]: Konstruksjon hvor man beholder eksisterende vindsperre for å redusere konveksjon.

Dette kan gjøres ved å beholde eksisterende vindsperre i tillegg til den nye vindsperren som legges på utsiden av den nye isolasjonen, som vist i figur 34. Dette gjør at vi får to vindsperrer i konstruksjonen, som vil bidra til mindre konveksjon i isolasjonen, og en ekstra sikkerhet om det er steder med luftlekkasjer. Dette koster ikke mye, og bidrar til en enda bedre og sikrere konstruksjon.

Teknisk tabell 3: Tetthet

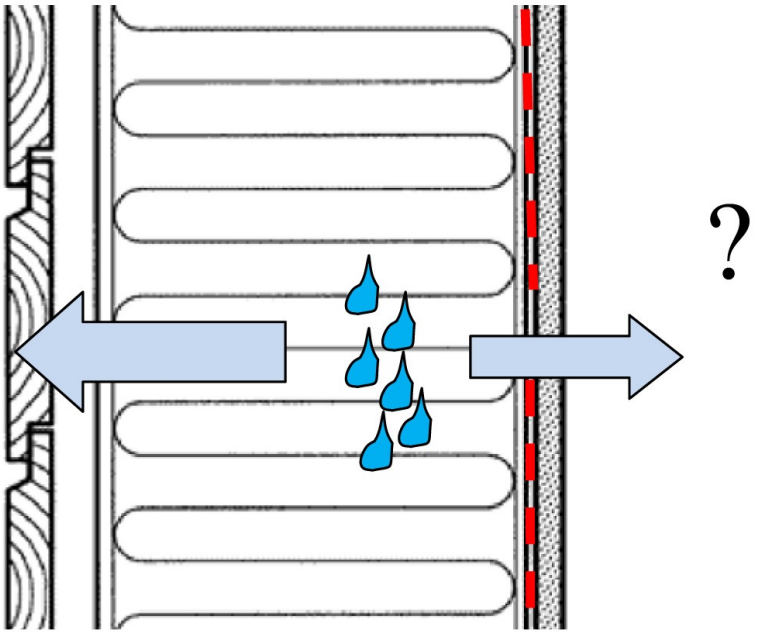
Tetthet			
Beskrivelse	Ved oppgradering av eksisterende boliger vil tettheten til bygget bli bedre, men for å klare de stadig strengere kravene må man ha fokus på detaljene. Kontinuerlig vindsperre og diffusjonsbrems/sperre med tette overganger som er klemt og teipet er avgjørende for å sikre et tett bygg.		
Fordeler	Fordelene med et tett bygg er mindre varmetap til omgivelsene, mindre oppvarmingsbehov og et godt innemiljø hvor du kan kontrollere inneluften.		
Ulemper	Balansert ventilasjons system må brukes for å ha kontroll på inneluften. Ventilasjonskanaler og mulig noe støy.		
Lønnsomhetsanalyse	2.5 luftskifte/time	1.5 luftskifte/time	0.6 luftskifte/time
Total Kostnad	Vanskelig å vurdere, ettersom kostnaden for tetthet ligger innbakt i prisen for forskjellige konstruksjoner.		
Årlig Energibesparelse	5044 kWh	6397 kWh	6746 kWh

6.1.2 Fuktvandring

Tilstandsanalysen viste oss at eksisterende plast i boligen var porøs og flere steder punktert. Det vil derfor være nødvendig å legge ny diffusjonssperre eller diffusjonsbrems. Ettersom problemstillingen ved eldre boliger som regel er overgangen gjennom etasjeskille vil det være naturlig å se på den nye metoden med diffusjonsbrems.

Utfordringene ved etasjeskille er at plasten må være kontinuerlig fra plan en til plan to. Dette vil bli krevende da man må få tette overganger mellom plasten og bjelkene i etasjeskille. Ved en større oppgradering som denne vil det være naturlig å vurdere nytt gulv og ny himling, og da vil det være mulig å legge ny dampsperre mellom etasjene. Men det vil trolig være rimeligere og en like god løsning å velge diffusjonsbrems. Risikoen for fuktskader er stor om plasten ikke blir lagt kontinuerlig rundt hele klimaskallet, da eventuelle utettheter vil være eneste utvei for damptrykket. Da vil trolig fuktigheten bli for stor for at konstruksjonen vil klare å tørke naturlig.

Diffusjonsbremsen monteres på innside yttervegg rundt klimaskallet med unntak i gulvet. Diffusjonsbremsen kan være en OSB plate eller lignende med SD- verdi på mellom 0,4m og 1,0m. Ekstremt viktig er det da at vindsperre har en 10 ganger lavere SD- verdi for å sikre uttørkingen utover i konstruksjonen. Ved riktig montering og tette overganger vil dette gi en god løsning for fukttransporten. Det er ikke så farlig om overgangen i etasjeskille er litt utett, da diffusjonsbremsen vil la store deler av fuktigheten spre seg jevnt utover i konstruksjonen.



Figur 35 Alternativ dampsperre med uttørkingsmulighet mot inneluften. [84]

Ved bruk av Rockwool, som trenger en OSB plate montert på eksisterende reisverk er det utrolig viktig å tenke på fuktvandringen om det blir valgt diffusjonsbrems på innsiden. Denne OSB platen blir da midt i veggen, og den kan hindre fuktigheten i å bevege seg utover i konstruksjonen. Hvis den da ikke får mulighet til å tørke vil denne fuktigheten skape problemer i form av fuktskader. Det er derfor viktig at OSB platen er 10 ganger mer diffusjonsåpen enn diffusjonsbremsen. Dette er normalt ingen problemstilling ved bruk av plast, men ved bruk av Diffusjonsbrems er dette et viktig punkt. Her kan man fort stenge inne fuktigheten og få store fuktproblemer.

Teknisk tabell 4: Fuktvandring

Fuktvandring		
Beskrivelse	Diffusjonsbrems og diffusjonssperre monteres på samme sted, forskjellen er materialet. Sperren er ofte plast, mens bremsen er en OSB- eller kryssfinerplate. I begge tilfellene er det veldig viktig at alle skjøter og overganger blir helt tette. De har begge som funksjon å hindre at store deler av den fuktige inneluften trekker ut i konstruksjonen og kondenserer.	
	Diffusjonsbrems	**Diffusjonssperre**
Fordeler	Dampet vil trenge jevnt utover i konstruksjonen, noe som gir konstruksjonen mulighet for å tørke den fuktigheten som kommer gjennom.	Ved kontinuerlig plast rundt klimaskallet med tette overganger er dette en robust og god løsning.
Ulemper	Konstruksjonen må klare å tørke fuktigheten som trenger igjennom, ellers vil det oppstå fuktproblemer. Det krever at SD-verdien på neste lag utover i konstruksjonen er 10 ganger lavere.	Ved feil montering eller punktering vil risikoen for fuktproblemer øke.
Teknisk data		
Levetid	25år	25år
Kostnad	ca. 150,- NOK/m2	< 10,- NOK/m2

6.1.3 Kuldebroer

Kuldebroer finnes i forskjellige konstruksjoner og variasjoner. Noen av de mest betydelige og vanlige kuldebroene er det sett nærmere på i dette kapittelet.

Yttervegg

Som nevnt tidligere i rapporten er det nå isolasjonsmaterialer på markedet som ikke trenger bindingsverk, for eksempel Rockwool Flex systemvegg. Det vil si at det vil være et kuldebro-fritt isolasjonslag på utsiden av boligen ved bruk av slik isolasjon. Det vil da være lurt om denne isolasjonen blir lagt fra kjeller til tak, med kontinuerlig tette overganger. Dette vil gjøre at vi ikke får noen kuldebroer i overgangen mellom etasjene eller ved overgangen mellom vegg og tak. Dette kan enkelt gjøres ved å følge produktbeskrivelsen som følger med produktet. Der står det forklart hvordan isolasjonen monteres til tak, vegger og terreng.

Ved bruk av tradisjonell isolasjon som trenger bindingsverk vil det være lurt å kryss-legge denne isolasjonen både innvendig og utvendig. Dette vil redusere kuldebro arealet i veggene til 1/10 av tidligere areal. Likevel vil man oppnå en dårligere U-verdi med bindingsverk. Dette skyldes kuldebroene i konstruksjonen, selv om arealet er redusert betraktelig ved kryss-legging av lektene vil noe av bindingsverket gå kontinuerlig gjennom konstruksjonen fra utsiden til innsiden. Det kan også sees på termografibildene som ble gjort i tilstandsanalysen.

Teknisk tabell 5: Isolasjonsmateriale i yttervegg

Isolasjonsmateriale i Yttervegg		
Beskrivelse	Det er av interesse å finne det isolasjonsmaterialet som er mest lønnsomt og som har de beste egenskapene. Det er her vurdert påvirkningen av bindigsverk i konstruksjonen. Bindingsverket vil påvirke kuldebroverdiene til konstruksjonen.	
	Konstruksjon uten Bindingsverk	**Konstruksjon med Bindingsverk**
Fordeler	Kuldebrofritt lag i klimaskallet. Gir en bedre U-verdi på 0.02 W/m2K.	Enkelt å bytte ut isolasjonen
Ulemper	Ved tykk isolasjon krever dette oppheng i takstolene.	Bindingsverk bidrar til en høyere kuldebroverdi.
Lønnsomhetsanalyse	Differanse alle tykkelser 0.02 W/m2K	
Total Kostnad	Tilnærmet lik	
Årlig Energibesparelse	Omtrent 300 kWh/år mer uten bindingsverk.	
Levetid	25 år	
Tilbakebetalingstid	Det lønner seg å bruke konstruksjon uten bindingsverk.	

Vinduer og Dører

Eksisterende vinduer og dører har store varmetap, da verken glasset eller karmene er isolert. Det er vil også gi en stor kuldebroverdi med uisolerte karmer. Dermed vil det være naturlig å bytte alle vinduer og dører til noen som er bedre isolert. Hvor mye lav U-verdi som vil være her vil komme frem i lønnsomhetsanalysen.

Teknisk tabell 6: Vinduer

Vinduer				
Beskrivelse	Mye av varmetapet kommer av dårlige vinduer. Minsteverdien for TEK10 er en U-verdi på 1,2W/m2K, passivstandarden setter minstekrav til 0,8W/m2K. Det er her sett på hvilke U-verdi som vil gi størst lønnsomhet. * Priser og U-verdier er basert på tilbud fra Nordan (se vedlegg E4)			
Fordeler	Nye vinduer vil gi bedre tetthet, mindre uønskede lekkasjer og mindre oppvarmingsbehov.			
Ulemper	Om man ikke setter krav til spesifikk U-verdi på vinduene vil du i enkelte tilfeller få de vinduene byggmesteren tjener mest på. Sett krav så vet du hva du får.			
Lønnsomhetsanalyse	U-Verdi 1.2	U-Verdi 1.0	U-verdi 0.84	U-verdi 0.76
Total Kostnad	127 380,- NOK	135 390,- NOK	137 175,- NOK	152 190,- NOK
Årlig Energibesparelse	11 893 kWh	12 766 kWh	13 700 kWh	14 162 kWh
Levetid:	30 År			
Tilbakebetalingstid:	17 År	17 År	15 År	17 År

Geometriske kuldebroer

Geometriske kuldebroer skyldes forskjell i utvendig og innvendig overflateareal hvor det er steder med redusert isolasjon. [85] Dette er vanlig i overgang mellom vegg og tak, da det vil være et større kaldt areal utvendig enn varmt areal innvendig. Dette løses ved å isolere godt rundt disse områdene, og passe på at det ikke bli områder med mindre isolasjon enn andre. Om man å bruke fast isolasjon som for eksempel Rockwool Flex systemvegg eller tilsvarende, vil det være mulig å legge isolasjonen helt opp til skråtaket. Deretter kan det legges isolasjon på taket inntil denne isolasjonen. Man vil da oppnå en lav kuldebro verdi.

Balkong

I Moltemyrsvingen 17 er det en balkong i plan to som ligger oppå lettbetong-veggen i plan en. balkongen er av betong og utgjør en stor kuldebro da denne ligger inn på etasjeskille. Det kan være ønskelig å rive denne kuldebroen, men energibesparelsen vil ikke være stor nok til å forsvare investeringen alene.

Det letteste vil være å rive og bygge en ny balkong som ikke ligger direkte inn på etasjeskille slik som i dag. Balkongen kan monteres frittstående utenfor klimaskallet til boligen. Det vil

ha fordeler ved montering av isolasjon og vindsperre på ytterveggen. Det vil også være ønskelig å ha en frittstående balkong da nedbør kan føre til fukt- og råte skader over tid ved en balkong inn på etasjeskille.

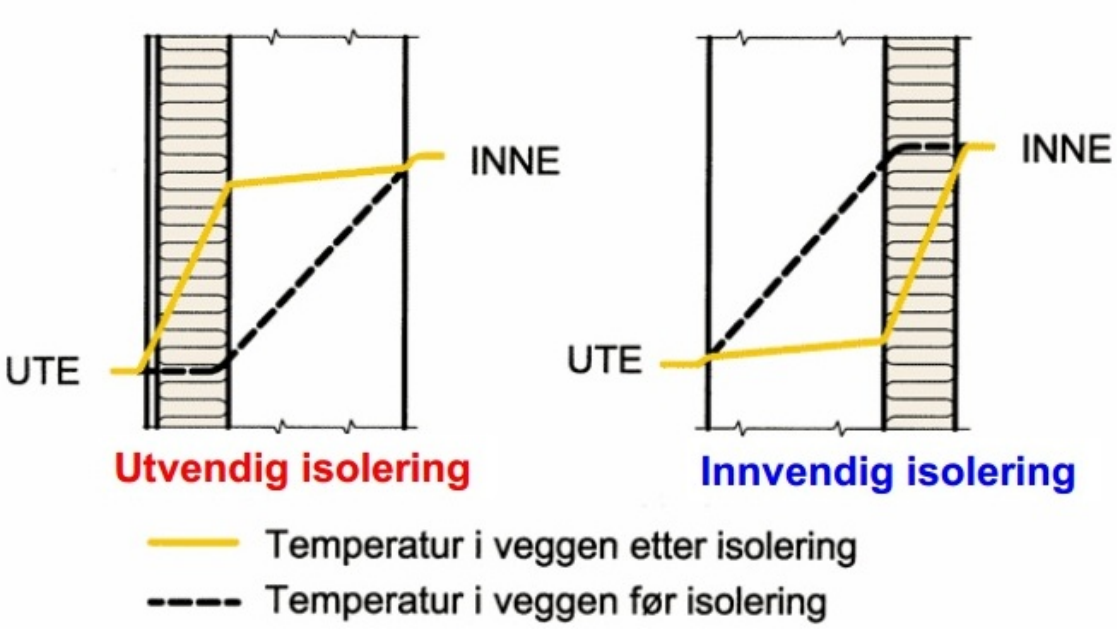
Teknisk tabell 7: Fjerne balkong

Fjerne Balkong	
Beskrivelse	Det kan bli ønskelig å fjerne balkongen og bygge en ny frittstående balkong. Det er også en støpt plate under balkongen som fungerer på samme måte.
Fordeler	Fjerning av kuldebroen fjerner noe av risikoen for kondens og fuktproblematikken i etasjeskille. Det vil gjøre det lettere å montere ytterveggen med en kontinuerlig vindsperre.
Ulemper	Lite energibesparende og krever større tiltak som vil være kostbart.
Lønnsomhetsanalyse	
Kostnad:	15000,- NOK
Årlig Energibesparelse	100 kWh
Levetid:	ca. 30 År
Tilbakebetalingstid	Vil ikke betale seg tilbake

Det er også et eksisterende betongdekket under balkongen som ligger inn på gulvet i plan en Dette dekket tiltrekker seg mye kulde om vinteren som føres direkte inn på innergulvet, derfor kan det være nødvendig å gjøre tiltak for å fjerne denne kuldebroen. Det enkleste er kanskje å fjerne denne ved å kutte den langs ytterveggen. Men energibesparelsen vil trolig ikke forsvare utgiftene ved dette. Men skal balkongen rives er nok ikke ekstrakostnaden ved å fjerne denne så stor.

6.1.4 0-punkt problematikken

0-punktet i konstruksjonen er enkelt å ta hensyn til. Det som er viktig er å isolere mer på utside yttervegg i forhold til hva du etterisolerer på innsiden av ytterveggen. Dermed vil 0-punktet «dras» utover i konstruksjonen. Se figur 36. Det kan derfor være uheldig å bare etterisolere innvendig.



Figur 36: [kilde 1, sinteff rapport.] Temperaturforskjellen i konstruksjonen ved innvendig og utvendig etterisolering.

6.2 Etterisolering gulv

Som tilstandsanalysen viser så har vi et enormt energibehov til oppvarming i denne boligen, hvor ca. 9 prosent av varmetapet skjer gjennom gulvet. Med en U-verdi på over 0,35 W/m^{2}K må det etterisoleres. Men med en begrensende takhøyde skaper det utfordringer. Mulighetene er mange, men det kan være utfordrende å finne noen kostnadseffektive løsninger som vil oppfylle kravene på 0,15W/m^2.

Det er mulig å pigge opp eksisterende gulv, for så å etterisolere mer i sokkelen. Men om man ikke er helt sikker på hva som ligger under dekket, av bunnledninger og fjell, så kan det være lurt å se på andre alternativer. Det vil være ulønnsomt å pigge opp gulvet, samtidig som det blir utfordrende om ikke umulig å etterisolere hele sokkelen med tanke på bærende konstruksjoner.

Det vil derfor være en bedre løsning å etterisolere oppå eksisterende gulv. Da kommer igjen takhøyden inn som en utfordring, men nå vet vi at det finnes utrolig gode isolasjonsmaterialer på markedet som kan gi en veldig god isolasjonsevne.

Takhøyden i eksisterende 70-talls boliger er som regel rundt 2,4meter. Det er krav til at takhøyden ikke skal være lavere enn 2.20 meter.

Om man skulle etterisolert et gulv med tradisjonell glassull ville mye av takhøyden gått med. Det er derfor valgt å se på isolasjonsmaterialer med lavere varmeledningsevne. Da kan man oppnå en lav U-verdi uten å bruke så mye av takhøyden. Det er derfor vurdert to typer isolasjon til gulvet, vakuum- og SPU isolasjon.

Vakuum isolasjon er den isolasjonen med lavest varmeledningsevne på 0,004 W/mK, og som det kommer frem av tabell 10 vil det med slik isolasjon kun være nødvendig å isolere 17mm for å nå kravet. Som vi har nevnt tidligere er denne isolasjonen dyr og ikke særlig robust. Den vil ha en veldig god isolasjonsevne selv om den er punktert, på ca. 0,020W/mK, men grunnet den høye prisen er dette ikke en lønnsomt tiltak. Dette vil trolig endre seg med tiden, når prisen vil synke og materialet videreutvikles.

Tabell 10: Illustrasjon av hvilken tykkelse vi må opp i for å nå kravene på 0,15W/m^{2}K

	Vakuum	SPU	Tradisjonell
Varmeledningsevne	0,004	0,023	0,033*
U-verdi	0,15	0,15	0,15
Tykkelse	**17mm**	**90mm**	**130mm**
* Tadisjonell isolasjon varierer fra 0,033 til 0,037			

SPU isolasjon har en varmeledningsevne på 0,023W/mK. Den er i tillegg ikke så mye dyrere, så dette er et godt valg til etterisolering av gulv. SPU AL (se vedlegg E3) egner seg spesielt godt til etterisolering av gulv. Den kan legges direkte oppå eksisterende dekke, men det anbefales å legge 18mm gulvspon eller lignende som er hel-limt oppå. Dette vil sikre at du får fordelt eventuelle punktlaster jevnt. Med slik isolasjon vil minstekravet på 0,15W/m^{2}K nås med ca. 90mm isolasjon. Dette er sjeldent en mulighet i eksisterende boliger, så det vil bli vanskelig å tilfredsstille kravene i dette prosjektet og mange etter oss.

Den diffusjonstette overflaten som blir brukt på SPU isolasjon slipper ikke igjennom radon, om man legger to lag med overlappende skjøter vil man bygge en effektiv og tett radonsperre. Dette er derfor en løsning som løser to av problemstillingene våre på en meget effektiv måte

Teknisk tabell 8: Isolasjonsmateriale i gulv

Isolasjonsmateriale i Gulv			
Beskrivelse	Tykkelsen på etterisolering av gulvet er begrenset av takhøyden. Isolasjonens varmeledningsevne er derfor veldig viktig for å ta minst mulig av takhøyden, samtidig som prisen må være innen rimelighetens grenser. Det er her sett på ulike isolasjonsmaterialet som her kan være aktuelle.		
	Tradisjonell	**SPU**	**Vakuum**
Fordeler	Billig	Høy varmeledningsevne, kan legges som en effektiv radonsperre og påvirkes ikke av fukt.	Ekstrem varmeledningsevne
Ulemper	Lav varmeledningsevne	Litt dyr	Dyr og lite robust
Lønnsomhetsanalyse	U-verdi 0.27	U-verdi 0.17	U-verdi 0.12
Total Kostnad:	29 980,- NOK	6900,- NOK	39 100,-NOK
Årlig Energibesparelse:	1490 kWh	1695 kWh	1895 kWh
Tilbakebetalingstid:	Betaler seg ikke tilbake	14 År	Betaler seg ikke tilbake
Levetid	30-40 År		25 År

6.2.1 Kantisolering

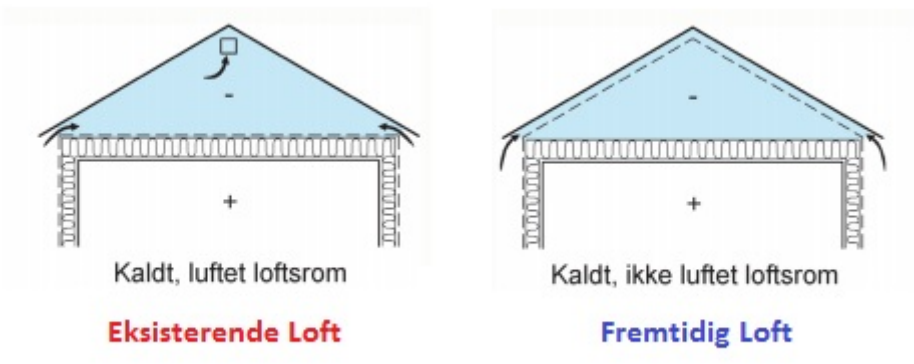
Som en konklusjon fra 6.1.1 kan vi si at Vakuum- og tradisjonell isolasjon ikke vil være aktuelt. Derimot er SPU isolasjon en god løsning, Men grunnet takhøyden er det ikke mulig å isolere 90mm på eksisterende gulv. For å redusere denne tykkelsen og samtidig beholde den gode varmeisoleringen kan man legge kantisolasjon rundt boligen. Dette gjøres for å hindre kulden i å trenge under boligen om vinteren.

Teknisk tabell 9: Kantisolering

Kantisolering	
Beskrivelse	Kantisolering er vurdert som et supplement til etterisolering av gulv. Dette skyldes problemstillingen med å oppnå de strenge kravene til U-verdi i gulvet.
Fordeler	Hindrer kulden i å trekke under sokkelen til boligen om vinteren.
Ulemper	Lite energibesparende og krever utgravinger rundt boligen som kan være kostbart.
Lønnsomhetsanalyse	
Total Kostnad	20 000,- NOK
Årlig Energibesparelse	ca. 50 kWh
Levetid	20 År
Tilbakebetalingstid	Betaler seg ikke tilbake

6.3 Loft

Som nevnt i kapittel 5 var problemstillingene rundt loft brannsikkerhet og nedbør som blåser inn på loftsrommet. Det er derfor en god løsning å tette igjen loftsrommet. Da vil man oppnå en større brannsikkerhet i tillegg til at man unngår uønsket fuktighet inn på taket. Vindsperren legges da kontinuerlig opp til møne som vist på høyre side av figur 37. All lufting vil da skje ved luftgjennomstrømninger i en luftespalte mellom det diffusjonsåpne undertaket og taktekningen. Den fuktige inneluften vil da trenge igjennom dampsperren i himling og videre ut på det uluftede kalde loftet. Videre vil fuktigheten diffundere gjennom undertaket og bli transportert bort av luftespalten. [86]



Figur 37: Forskjellen på eksisterende og fremtidig lofts løsning.

Teknisk tabell 10: Isolasjonsmateriale i tak

Isolasjonsmateriale i Tak		
Beskrivelse	Det er av interesse å finne det isolasjonsmaterialet som er mest lønnsomt og som har de beste egenskapene. Det er her vurdert tradisjonell isolasjon og sprøyteisolasjon.	
	Sprøyteisolasjon	**Vanlig**
Fordeler	Enkel og rask montering som gir en jevn fordeling av isolasjon rundt krevende områder. Billigere enn tradisjonell isolasjon.	Enkel montering
Ulemper	Må utføres av fagpersonell.	Vanskelig å legge helt tett rundt fagverk/støttebjelker
Lønnsomhetsanalyse	Varmeledningsevne: 0.039	Varmeledningsevne: 0.037
Total Kostnad	25% billigere med sprøyteisolasjon	
Årlig Energibesparelse	Differanse i varmeledningsevne utgjør ikke noe forskjell i U-verdi eller energibesparelse	
Levetid:	25 År	
Tilbakebetalingstid:	Tilnærmet lik tilbakebetalingstid	

Teknisk tabell 11: Sprøyteisolering

Takisolering: Sprøyteisolering				
Beskrivelse	Å bruke sprøyteisolasjon er en lettvint å kostnadseffektiv løsning for å isolere tak. Videre vurderes det hvor mye isolasjon som er lønnsomt å legge, det vurderes her tykkelser fra 300-600mm ettersom det er relativt billig å legge isolasjon på tak.			
Fordeler	Sprøyteisolasjon legges enkelt og raskt i tillegg til at det gir et meget godt resultat rundt fagverk.			
Ulemper	Den har en noe høyere varmeledningsevne enn tradisjonell isolasjon.			
Lønnsomhetsanalyse	300mm	400mm	500mm	600mm
Total Kostnad	13 500,- NOK	18 000,- NOK	22 500,- NOK	27 000,- NOK
Årlig Energibesparelse	2124 kWh	2373 kWh	2536 kWh	2616 kWh
Levetid	25år			
Tilbakebetalingstid	9 År	11-12 År	13-14 År	16 År

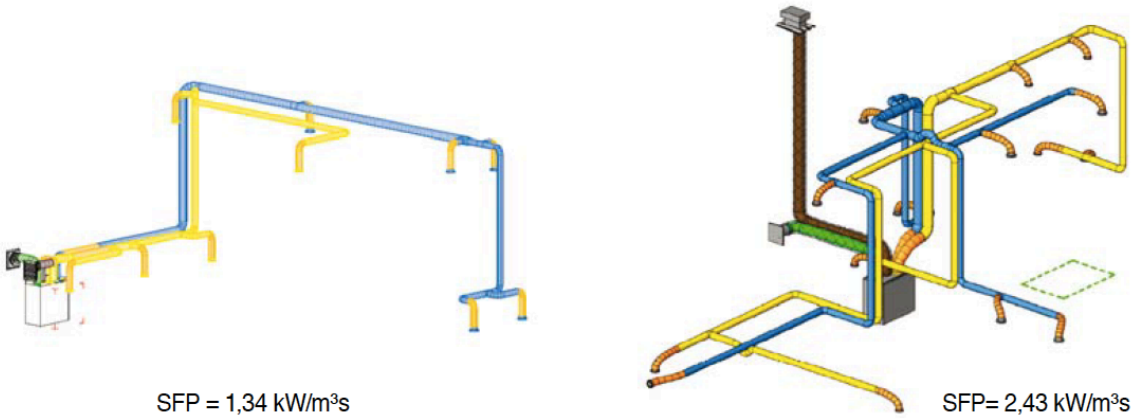
6.4 Lyd og Brannkrav

Denne boligen skal deles opp i to boenheter og da settes det krav til lyd og brannsikring mellom boenhetene. Det gjør at noe av takhøyden går med for å få dette til. Hvor mye vil variere ut ifra hvilken løsning som blir val.Vi ser raskt at vi må inn med dobbel gips i himlingen, siden denne løsningen bidrar mye til både lyd- og brannkravene. Det er også mulig å legge trinnlydsplater i plan to, og lyd bøyler i himlingen i plan en for en bedre lydisolering. Himlingen i plan en vil da bli senket med ca. 7,2 cm. Det er trolig ikke nok å bare legge trinnlydsplater, men det kan holde å bygge en lydhimling i plan en.

6.5 Ventilasjon

Boligen er planlagt med tekniske rom i begge leiligheter, hvor et ventilasjonsaggregat kan plasseres. For å sikre god luftkvalitet vil balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinning være et godt alternativ. Hvor varmegjenvinningsgraden bør ligge over 80 prosent. Balansert ventilasjon krever at boligen er tett for at ventilasjonen skal kontrolleres gjennom kanalene. Ventilasjonsaggregat bør plasseres lett tilgjengelig for vedlikehold, og med korte føringsveier for til-luften og avtrekksventilene. Dette minsker varmetapene og trykktapet i kanalene. Til-luftkanalen bør isoleres godt for å unngå utvendig kondens på rørene som kommer av temperaturforskjellene mellom til-luften og romtemperatur.

Et desentralt anlegg for hver leilighet vil luftmengde og til-lufttemperatur styres etter eget behov. Kanalføringene kan være korte, og ikke ta opp stor plass. Boligen ligger i et rolig strøk, med begrenset trafikk, og derfor lite forurensing. Kanalene bør være av spirokanaler med varmeforsinket stål, og ikke fleksible kanaler. Siden spirokanalene er enkle å rengjøre, fleksible kanaler kan lett blir deformert.[87] [88]Aggregatene må plasseres slik at det ikke ligger vegg i vegg med soverom, eller oppholdsrom, ettersom aggregatet lager noe støy. Desentrale ventilasjonssystemer betyr at man også må bytte flere små filtre enn i motsetning til noen sentrale filtre i et sentralt ventilasjonssystem.[89]



Figur 38: Desentralt ventilasjonssystem til venstre. Sentralt ventilasjonssystem til høyre, det er som vist noe mer omfattende å installere kanalsystemene.[90]

6.6 Oppvarming

Det finnes en del forskjellige måter vi kan dekke energibehovet til boligen på. Tappevannsbehovet er utfra SIMIEN simuleringene på 5721 kWh i året og romoppvarmingsbehovet er på 5188 kWh i året. Det finnes flere måter å dekke behovet på, om TEK10 kravene, skal oppfylles må 50 prosent av tappevannsbehovet være dekket av en fornybar/ikke elektrisk/ikke fossilt brensel kilde. Det er videre vurdert de beste ulike alternativene.

Solceller

For enkelhetsskyld er solceller vurdert som en del av oppvarmingsdelen ettersom det sparer inn energi på lik linje med ulike oppvarmingssystem. Et typisk solcelle panel er på 40-80 Wp og har en virkningsgrad på 12-15 prosent[91]. Et solcelle anlegg produserer strøm til huset, overskudds strømmen kan selges til nettet. Et solcelleanlegg som har en effekt på 6-10 kWh/år koster opp mot 100,000-150,000,- NOK uten moms å installere. Virkningsgraden vil gå ned ca. 20 prosent etter 20-25år. Solceller er dermed slik markedet er nå, ikke lønnsomt. Det kan dog spekuleres i om prisene for solcelle anlegg i fremtiden vil synke.

6.6.1 Romoppvarming

Romoppvarmingsbehovet i boligen er lavt, kun 5199 kWh fordelt på to boenheter, om de andre tiltakene som er med å redusere varmetapet blir gjort, og det kommer et balansert ventilasjonssystem. Det kan derfor tenkes at det vil være en lønnsom løsning å velge tradisjonelle varmeovner med tids-og temperatur styring, det er en rimelig og enkel løsning. Det er videre vurdert ulike varmepumper.

En av de ulike varmepumpene vi kan bruke er luft-luft varmepumpe. Dette er den vanligste varmepumpe. De har en levetid på rundt 10 år og er stort sett nedbetalt i løpet av 6-10 år.[92] De har normalt en års varmefaktor på 2,4, det vil si. at for hver kilowatt man bruker får man 2.4 tilbake. Det er en relativt lettvint prosess å installere de, dessuten kan de brukes som aircondition om sommeren. Noe av ulempen med disse er at de fungerer dårlig når det er lave temperaturer ute, ved minus 25 grader vil man ikke få noe særlig effekt ut av varmepumpene, da vil varmefaktoren være 1 til 1. Prisen på et slikt anlegg vil ligge på ca 20 000,- NOK[93]

Luft-vann varmepumpen bygger på det samme prinsippet som luft-luft, bare at den varmer opp vann istedenfor luft. Vannet kan deretter brukes til å varme opp en varmtvann som kan forsyne huset både med vannbåren varme ved gulvvarme, radiatorer, konvektorer og tappevanns oppvarming. Luft-vann varmepumpen har en noe høyere års varmefaktor på 2,7. Men den koster også en del mer. Enova gir støtte til alle som bygger luft-vann varmepumpe hjemme. Denne er på 20 prosent av utgiftene, maksimalt 10 000,- NOK.[94] Prisen på et slikt anlegg vil ligge mellom 60,000-120,000,- NOK [95]

Med varmepumpe til oppvarming av tappevann og rom-oppvarming vil energi behovet man trenger å varme opp være på 10 909 kWh i året. Med en års-varmefaktor på 2.7(luft-vann varmepumpe) til man trenge 4040 kWh for å varme opp dette. Altså man sparer ca. 6868 kWh i året. Toshiba leverer systemer ferdig montert fra 75 000,- NOK.[96]

Solfangeren kan også brukes til romoppvarming, det vil da være som et kombisystem med oppvarming av både tappevann-og romoppvarming. Boligen vil da trenge en solfanger på 8-10 m^2, med en akkumulatortank på 600-1000 liter.[97] Ettersom solfangeren produserer lite om vinteren når oppvarmingsbehovet er størst er det vurdert som lite lønnsomt.

6.6.2 Tappevannsoppvarming

Solfanger

Det er mer hensiktsmessig å bruke solfangeren til tappevannsoppvarming, siden energien som brukes til oppvarming av tappevann er tilnærmet lik året rundt. For å dekke TEK10 kravet for fornybar energi vil man trenge en solfanger som leverer minimum 2850kWh i året, noe som tilsvarer 50 prosent av tappevanns oppvarmingen. Det trengs en solfanger på 6-8 m^2 for et system til tappevannsoppvarming av boligen med en akkumulatortank på 400-600 liter. Det kreves store tanker for at ikke temperaturen skal senkes under natten. En solfanger til oppvarming av tappevann vil dekke 4100kWh i året.[98] Den vil koste rundt 45 000,- NOK med installering og støtte fra Enova. Det vil ta ca. 14 år før den vil betale seg inn. Det er viktig å huske på at det krever en varmtvannstank som har mulighet for å koble til solfangeren.

Gråvannsgjenvinner

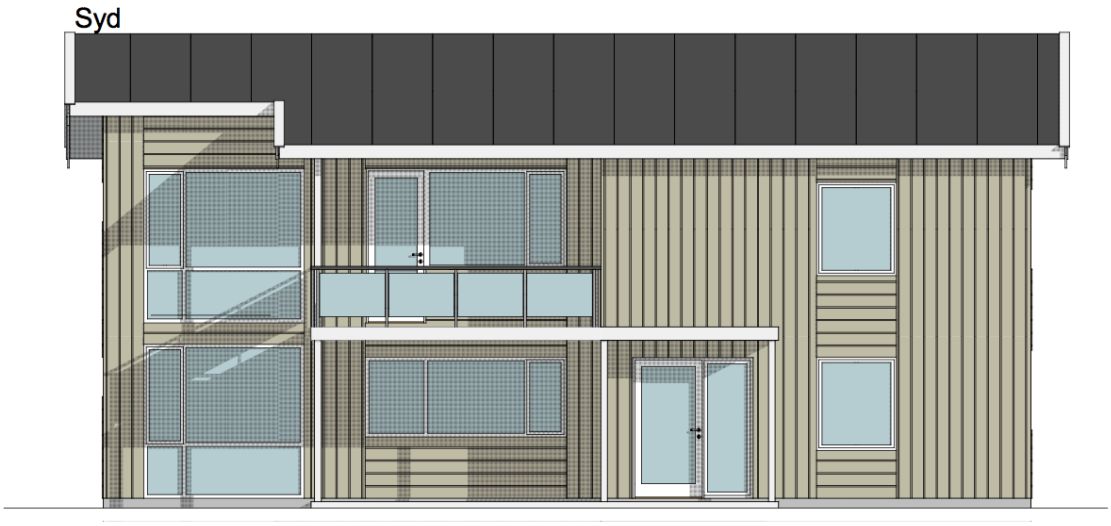
Gråvannsgjenvinner vil i følge produsenten spare 2500 kWh i året for en normal familie, med opptil 40 prosent gjenvinning av tappevannet. Denne løsningen er dog lite utprøvd, og det er lite faste tall å hente på dette. Det er omfattende å få på plass et gråvannsgjenvinnersystem, hos OZO koster gjenvinneren 11,000-12.000kr men dette er uten arbeid.

Tabell 11: Oppsummering av de ulike oppvarmingssystemene

Oppvarmingssystem	Kostnad	Energibesperelse/år	Enova støtte	Levetid
Luft-Vann Varmepumpe	Ca 100 000,- NOK	ca 6868 kWh	20%, maks; 10,000,- NOK	15-20 år
Luft-luft Varmepumpe	Ca 40,000,- NOK	Ca 2800 kWh	Nei	10-15 år
Solfanger	45,000,- NOK	4100 kWh	20%, maks; 10,000,- NOK	25-30 år
Gråvanngjenvinner	11 500NOK + installasjon	Opptil 2500 kWh	Nei	-
Solceller	150 000 ,- NOK + installasjon	7000 kWp*	Nei	20-25år

*ved peak verdi(maksimalt)

7. Resultat



Figur 39: Nye fasadetegning fra BGM Arkitekter.

I dette kapittelet vil resultatene, av de ulike tiltakene som er vurdert, bli presentert. For en enkel presentasjon av løsningene er det laget tiltakstabeller som beskriver løsningene. Kapittelet er presentert etter prinsippet i Kyotopyramiden. Reduksjon av varmetapet presenteres først, deretter går vi videre oppover pyramiden. Det vil også bli gjort andre tiltak med boligen som ikke er en del av prinsippet i Kyotopyramiden, disse vil bli presentert i slutten av dette kapittelet. Figur 39 viser sør fasaden til boligen etter oppgradering.

7.1 Redusere varmetapet

Tiltak 1: Etterisolering av tak	
Beskrivelse	I Kapittel 6. ble det drøftet ulike tykkelser og materialer for etterisolering av tak. Det anbefales å legge 300mm med sprøyteisolasjon horisontalt på taket. Dette gir en U-verdi på 0,12 W/m2K, som er minstekravet i TEK10.
Fordeler	Det er valgt sprøyteisolasjon ettersom det gir en enkel og rask montering som gir en jevn fordeling av isolasjon rundt krevende områder. Lønnsomhetsanalysen viser at en U-verdi på 0,12 W/m2K gir den mest lønnsomme løsningen over tid.
Ulemper	Sprøyteisolasjon må legges av fagpersonell og det kan i enkelte tilfeller være vanskelig å fordele isolasjonen helt jevnt.
Teknisk data:	U-verdi 0,12 W/m2K
Total kostnad	Ca. 16 875,- NOK
Årlig Energibesparelse	2124 kWh
Tilbakebetalingstid:	9 År
Levetid	25 År

Tiltak 2: Etterisolering vegg	
Beskrivelse	I Kapittel 6. ble det sammenlignet både tykkelser og materialer. Som et resultat anbefaler vi å bruke et isolasjonsmateriale uten bindingsverk, hvor det etterisoleres 100mm på utside yttervegg og 50mm på innside yttervegg. Nåværende isolasjon på 100mm bør erstattes med ny.
Fordeler	Ved bruk av isolasjon som ikke trenger bindingsverk får vi et kuldebro-fritt lag rundt klimaskallet. Dette bidrar positivt i lønnsomhetsanalysen.
Ulemper	Man må være meget oppmerksom på fuktvandringen i konstruksjonen når man må ha OSB plate som oppheng for isolasjonen. Se kapittel 5 og 6 for detaljer.
Teknisk data:	U-Verdi 0,18 W/m2K
Total kostnad	Ca. 225 000,- NOK
Årlig energibesparelse	10 605 kWh
Tilbakebetalingstid	Betaler seg ikke tilbake
Levetid	25 År

Tiltak 3: Vinduer	
Beskrivelse	I Kapittel 6 ble de ulike vinduer med forskjellige U-verdier vurdert. Lønnsomhetsanalysen viser at vinduer med U-verdi på 0,84 W/m2K. skiller seg ut med en kortere tilbakebetalingstid.
Fordeler	Nye vinduer vil gi bedre tetthet, mindre lekkasjer og mindre oppvarmingsbehov. Disse vinduene betaler seg tilbake på 15 år og er en del bedre enn minstekravet i TEK10.
Ulemper	Tilfredsstiller ikke minste kravene i NS:3700
Lønnsomhetsanalyse	U-verdi 0,84 W/m2K
Total Kostnad	Ca. 99 675,- NOK
Årlig Energibesparelse	13 700 kWh
Tilbakebetalingstid	15 År
Levetid	30 År

Tiltak 4: Ytterdører	
Beskrivelse	Universell utforming stiller krav til bredden i døråpningen. Det er derfor valgt dører som kan være noe dyrere enn standard dører. Valgte dører har en U-verdi på 1,2 W/m2K og en bredde på 1500mm. 1,2 W/m2K ble valgt da disse dørene betaler seg tilbake raskest av de vurderte løsningene.
Fordeler	Energibesparende, noe estetisk verdi og bidrar til et tett bygg.
Ulemper	Noe kostbar.
Teknisk data:	
Total kostnad	Ca. 20 000,- NOK/Dør
Årlig energibesparelse	750 kWh/Dør
Tilbakebetalingstid	Betaler seg ikke tilbake
Levetid	25 - 30 år

Tiltak 5: Etterisolering av gulv med radonsperre	
Beskrivelse	I Kapittel 6. ble det sammenlignet både tykkelser og materialer. En utfordring og avgjørende faktor for valget er den begrensede takhøyden. Valgt løsning er et flytende gulv med SPU- isolasjon. SPU-isolasjonen fungerer som radonsperre om den blir lagt som vist på vedlegg E3. Det anbefales å legge 50mm SPU AL da dette gir en god U-verdi samtidig som det ikke tar for mye av takhøyden. Det vil gi en U-verdi på ca. 0,17W/m2K.
Fordeler	Fungerer som en effektiv radonsperre, lav varmeledningsevne, ingen kuldebroer, isolasjonsmaterialet påvirkes ikke av fukt og har en lang levetid.
Ulemper	-
Teknisk data:	U-verdi 0,17 W/m2K
Isolasjonskostnad:	6900,- NOK
Årlig energibesparelse	1696 kWh
Tilbakebetalingstid	5-6 År
Levetid	30-40 År

Tiltak 6: Isolering av varme rør	
Beskrivelse	Det anbefales å isolere varmtvannsrør for å unngå unødvendig varmetap fra rørnettet.
Fordeler	Mindre energi til oppvarming av tappevann.
Ulemper	Lønnsomheten bestemmes av lengden på rørnettet og bruken av varmtvann. Det er ikke lønnsomt å isolere rør som er til romoppvarming i oppvarmet rom.
Teknisk data:	
Kostnad	25-50 kr/løpemeter
Årlig energibesparelse	Ca. 100 kWh/ løpemeter
Levetid	30-40 År

Som det kommer frem av kapittel 5 og 6, er en viktig del av arbeidet med å redusere varmetapet, tetthet. Vindsperren og diffusjonsbremsen bidrar til en stor del av tettheten til bygget, tiltakene er derfor forklart nedenfor. Varmegjenvinneren i et balansert ventilasjonssystem vil bidra til å redusere oppvarmingsbehovet betraktelig.

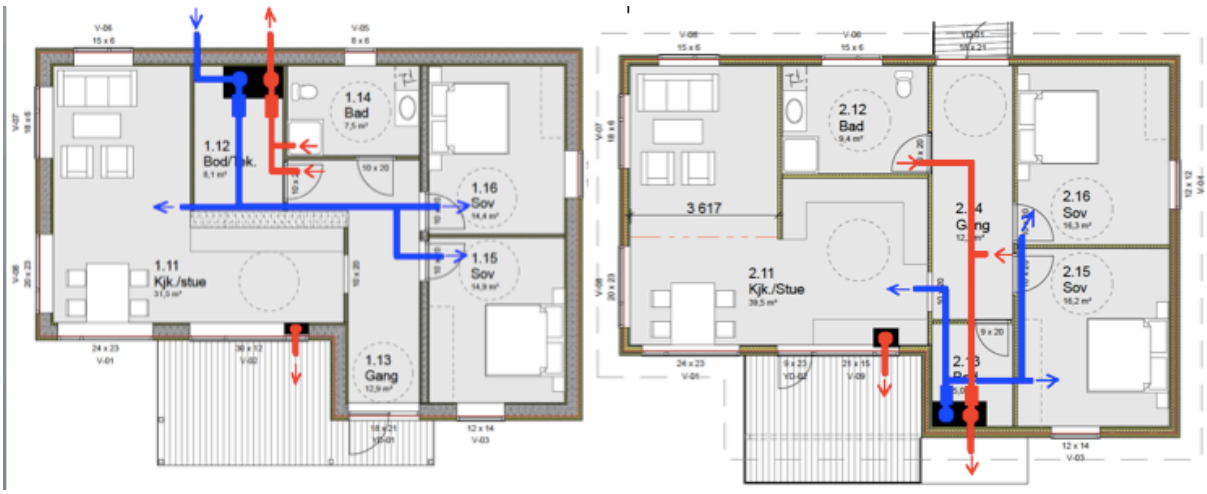
Tiltak 7: Vindsperren	
Beskrivelse	Ettersom det vil bli lik kledning i 1. og 2. etasje er anbefaler løsning å legge vindsperren på utsiden av påfôret isolasjon i begge etasjene. Ved overgang vegg-tak kappes raftekassen, vindsperren legges kontinuerlig fra grunn til møne. Rundt vinduer og dører bør vindsperren legges som vist i metode a) i figur 33. Se også vedlegg D1 for detaljtegninger. Det anbefales å legge ny vindsperre der eksisterende vindsperre var montert, i tillegg til den nye. Se vedlegg D1.
Fordeler	Bidrar til en tett konstruksjon og mindre konveksjon i konstruksjonen.
Ulemper	Krever godt håndverk for å få tette skjøter og overganger.
Teknisk data	SD-verdi 0,01-0.02m
Kostnad	30-60,- NOK / m2
Levetid	30 år

Tiltak 8: Diffusjonsbrems	
Beskrivelse	I Kapittel 6 ble det diffusjonssperre og diffusjonsbrems vurdert. Det anbefales ved oppgradering av eksisterende boliger å bruke diffusjonsbrems, da dette er en tryggere løsning med tanke på fuktvandringen. Materialet krever OSB- eller kryssfinerplate som lar noe fuktighet trenge igjennom. Den monteres som etter detaljtegninger i vedlegg D1.
Fordeler	Gir en bedre løsning rundt etasjeskille, og en generelt god løsning rundt klimaskallet. Lite konsentrert fuktighet i konstruksjonen.
Ulemper	Prosjekteringen av konstruksjonene må gjøres med tanke på fuktvandringen, ellers risikerer man å stenge fuktigheten inne i konstruksjonen og det vil gi store problemer.
Lønnsomhetsanalyse	SD-verdi 0,4-0,9m
Kostnad	Ca. 150,- NOK/m2
Levetid:	25 År

Tiltak 9: Ventilasjon	
Beskrivelse	Det velges to desentrale anlegg med en roterende varmegjenvinnere. Den er mest passende til det norske klimaet.
Fordeler	Varmegjenvinneren av 80-84 prosent av varmen i boligen. Beboeren kan selv justere temperatur og luftmengde. God virkningsgrad på kalde dager.
Ulemper	Det kan bli noe støy og lukt transport
Lønnsomhetsanalyse	
Kostnad	Ca. 45 000,- NOK/anlegg
Årlig Energibesparelse	5768 kWh
Tilbakebetalingstid	21 år
Levetid	25 år

Kanalføringene som vist på figur 40 er et forslag til hvordan kanalene bør legges. Det ble gjort endringer i planløsningen i 2. etasje mot slutten av prosjektet som gjorde det krevende å få korte kanalføringer. Kanalføringene til systemet bør være av typen spirokanaler. Disse kanalføringene gir et lavt trykkfall, er lette å inspisere og rengjøres enkelt. Avtrekksviften og kanalen fra kjøkkenviften er et separat anlegg.

Kanaler og aggregat legges innenfor klimaskallet i isolerte sjakter for å unngå varmetap i systemet. Kanalene bør ikke legges over himlingen da dette vil gi utfordringer til vedlikehold og tetthet i klimaskallet.



Figur 40 viser hvor plasseringen av ventilasjonssystemer og kanalføringene. Til venstre er plan 1, til høyre er plan 2.

7.2 Redusere el forbruket

Tiltak 10: Sparedusj, sparepærer og energieffektive hvitevarer.			
Beskrivelse	Det anbefales å bruke sparedusj, sparepærer og energieffektive hvitevarer. Varmtvannsforbruket kan halveres ved bruk av sparedusj. Sparepærer har kun 20% av strømforbruket til en vanlige glødepære. Det bør også sees etter energimerkingen på hvitevarene som blir kjøpt inn. Den årlige energibesparelsen vil variere noe etter dusjvaner og valg av pærer.		
Fordeler	Energibesparende		
Ulemper	Investeringskostnaden kan være noe høyere, men det vil på langsikt være lønnsomt.		
Teknisk data:	Sparepærer	Sparedusj	Hvitevarer
Kostnad	ca. 20 Kr/stykk	Ca. 100 Kr/stykk	Ved kjøp av hvitevarer bør det velges et energieffektivt alternativ om ikke ekstrakostnadene er betydelige.
Årlig energibesparelse	100 kWh	500 kWh/person	
Tilbakebetalingstid	2.4 måneder	2.4 måneder	
Levetid	1-2 År	10 År	

7.3 Utnytte solenergi

Det utnyttes passiv solenergi ved at de plasseres flest vinduer mot sør og vest. Boligen vil da motta varme fra sola. For å hindre overopphetning på varme dager, vil det installeres regulerbar solavskjerming på vinduene. Solfanger er beregnet som lite lønnsom å brukte til romoppvarming, da den vil leverer lite varme i kalde perioder når behovet til romoppvarming er størst.

Tiltak 11: Solfanger til tappevannsoppvarming	
Beskrivelse	Ettersom energibruk til tappevannsoppvarming er tilnærmet likt året rundt, er det størst lønnsomhet i å bruke solfanger til oppvarming av tappevann. Det brukes elektrisk varme for å varme opp spisslasten og for å varme tanken over legionella grensen.
Fordeler	Grønn gratis energi.
Ulemper	Produserer kun om dagen, liten produksjon under vinterhalvåret og på dager med lite sol.
Lønnsomhetsanalyse	
Kostnad:	Ca. 55 000,- NOK
Støtte ENOVA:	20% = 10 000,- NOK
Total Kostnad	45 000,- NOK
Årlig Energibesparelse	4100 kWh
År inntjening	14 År
Levetid:	20-25år

7.4 Vis og reguler energiforbruket

Tiltak 12: Temperatur og tidsstyring av varmeovner	
Beskrivelse	For et behagelig inneklima og energibesparelse er det ønskelig med temperatur og tidsstyring av varmeovner og ventilasjonssystemet. Dette gjøres ved å montere termostat/spareplugg på eksisterende ovner, eller kjøpe nye med termostat og tidsstyring. Dette er integrert i ventilasjonssystemene.
Fordeler	Energibesparelsen bestemmes av bruksvaner og muligheten for nattsenking. Bidrar til behagelig inneklima.
Ulemper	-
Teknisk data:	
Kostnad	Ca. 400,- NOK for ettermontering til varmeovn Ca. 1000,- NOK for ny varmeovn med termostat og tidsstyring
Årlig Energibesparelse	Ca. 10% reduksjon i boligens oppvarmingsbehov. Tilsvarer omtrent 100 kWh/stykk.
Tilbakebetalingstid	10 År
Levetid	20 År

7.5 Velge energikilde

Siden behovet til romoppvarming kun er 5188 kWh/år fordelt på to boenheter, vil elektriske varmeovner som oppvarmingskilde gi den beste investeringen. Dette er en relativt rimelig kostnad, da det kun trengs ca. 6 varmeovner til 1000,- NOK per stykk. Romoppvarmingsbehovet er ikke stort nok til at større tiltak som varmepumpe vil være lønnsomt.

7.6 Andre tiltak

I planløsningene til boligen er det tatt hensyn til universell utforming. For dette prosjektet må det legges til rette for rullestolbrukere, ved å ha snu radius på 1500mm i alle rom. Dører er derfor prosjektert med en bredde på 1500mm. En ny avkjørsel er planlagt for å ha separate avkjørsler til hver boenhet. Dette må det søkes dispensasjon om, da det normalt bare er en adkomst til hver bolig. Det er planlagt en rampe fra den nye avkjørselen til inngangsdøren i 2. etasje, for å sikre tilgjengeligheten for rullestolbrukere. Dette er vist på den nye situasjonsplanen, se figur 41.

Figur 41: Ny situasjonsplan for Moltemyrsvingen 17.

Tiltakene videre er her ikke vurdert som en del av kyotopyramiden, da i hovedsak ikke gjennomføres for å spare energi.

Tiltak 13: Fjerne Balkong	
Beskrivelse	Nåværende balkong fungerer som en kuldebro, vil det være ønskelig å fjerne denne. Kostnadene ved dette kan ikke forsvares i ren energibesparelse. Det er derimot ønskelig å fjerne denne da det vil gjøre det enklere å montere yttervegg, få en kontinuerlig vindsperre og gi en bedre totalløsning. Kostnaden forsvares med en raskere montering av ytterveggen. Det er også en støpt plate under balkongen som fungerer på samme måte. Samme tiltak gjelder for denne. Det anbefales å bygge en ny frittstående balkong.
Fordeler	Fjerning av kuldebroer reduserer noe av risikoen for kondens og fuktproblematikken i konstruksjonen, samtidig som vi vil få et lavere oppvarmingsbehov.
Ulemper	Lite Energibesparende, kostbart.
Teknisk data:	
Total Kostnad	Ca. 15000,- NOK
Årlig Energibesparelse	Ca. 100 kWh
Tilbakebetalingstid	Vil ikke betale seg tilbake
Levetid	Ca. 30 År

Tiltak 14: Fjerning av pipe	
Beskrivelse	Ettersom behovet til romoppvarming vil være svært lavt, er det ikke nødvendig med ildsted i boenhetene. Det er også vurdert opp mot at boligen er en kommunal bolig. Pipen vil derfor fjernes.
Fordeler	Ved bruk av annen romoppvarmingskilde er det ofte lettere å styre oppvarmingen. Dette bidrar til et bedre innemiljø og bedre tetthet i boligen.
Ulemper	Ildsted er ofte ettertraktet, men nå kan dette erstattes med Bio-ovn.
Teknisk data:	
Kostnad	Ca. 5000,- NOK

Tiltak 15: Lyd- og brannkrav	
Beskrivelse	For å oppfylle lyd- og brannkravene vil det være nødvendig å montere lydhimling i plan1. Lydhimlingen vil være to gipsplater på 13mm, 10mm lyd bøyler og 36mm krysslekter. Til sammen stjeler det 72mm av takhøyden. Brannkravet oppfylles ved å bruke dobbel gips.
Fordeler	Mindre støy mellom boenhetene, og en bedre brannsikkerhet.
Ulemper	Bruker noe av den eksisterende takhøyden. Kostbart uten tilbakebetaling i form av energi.
Teknisk data:	
Kostnad	Ca. 33 000,- NOK
Levetid	30-40 År

7.7 Oppsummering av resultater

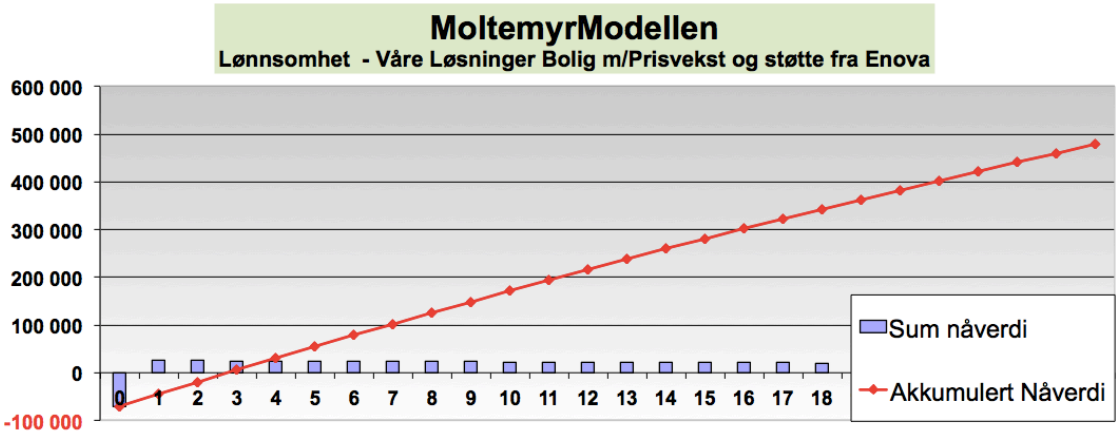
Ved å gjennomføre tiltakene ovenfor er boligen simulert til å få energikarakter A. Vedlegg G1 fra Enova antyder at vi trolig oppfyller støtte etter nivå to, da det totale varmetapstallet for en slik bolig vil være 0,66W/m2. Tabell 12 viser at tiltakene som er planlagt vil redusere netto energi- og oppvarmingsbehov mye. Varmetapstallet vil være lavt sammenlignet med dagens tilstand. Boligen vil nå være en moderne energieffektiv bolig. Figur 42 viser også at dette er en lønnsom investering med en nåverdi på ca 500 000,- NOK etter 25 år.

Tabell 12: Differanser i Netto energibehov fra As-is til våre løsninger.

	As is	**Våre løsninger**
Netto energibehov	300.5 kWh/m2	90.4 kWh/m2
Netto oppvarmingsbehov	226,7 kWh/m2	27.0 kWh/m2
Varmetapstall	2,35	0.66

Tabell 13: Krav som er tilfredsstilt ved anbefalte løsninger. (Gult, der det ikke stilles noen krav. Grønt(+), der kravene tilfredsstilles. Rødt(-), der kravene ikke er tilfredsstilt.)

Krav som oppfylles ved våre løsninger				
	TEK10	**Lavenergiklasse 2**	**Lavenergiklasse 1**	**Passivhusstandard**
Netto energibehov	+			
Netto oppvarmingsbehov		+	+	-
Varmetapstall	+	+	+	-



Figur 42 Lønnsomhetsanalyse av anbefalte løsninger, merverdi ved salg og støtte fra Enova (Nivå2) er medregnet.

8. Diskusjon

Resultatene i kapittel 7 er løsninger som etter våre beregninger har vist seg å være de mest lønnsomme tiltakene og som i tillegg oppfyller minimumskravene etter TEK10. Det er med unntak av U-verdien til gulvet, som viser seg å være for kostbar til å være hensiktsmessig å oppfylle. Alle løsninger og vurderte tiltak er godt dokumentert i kilder. Kravene i TEK10 har ikke vært utfordrende å oppnå med unntak av kravene til gulv mot grunn.

En av utfordringene i denne oppgaven har vært å sette seg inn i detaljene rundt bygningsfysikken. Bakgrunnen for dette er de strenge kravene til tetthet og oppvarmingsbehov i passivhus standarden NS:3700. Detaljene ved bygningsfysikken er avgjørende for å oppnå disse kravene, samtidig som et godt og sikkert innemiljø skal sikres. Det er avgjørende at byggebransjen også har kjennskap til hvordan de stadig strengere kravene skal oppnås. Derfor er en av målsetningene ved prosjektet å formidle erfaringer og kunnskap rundt oppgradering av eldre boliger. Dette er blitt gjort gjennom frokostmøter hvor resultater er blitt diskutert sammen med deltakerne. Bengt Michalsen har supplert frokostmøtene med ulike foredrag om oppgradering og passivhus.

Energiberegningene er gjort ved at det er simulert energibehovet til bygningen ved fire tilstander. Den første simuleringen viser energibehovet til boligen som den står i dag, den andre viser teoretisk forbruk ved en bolig om oppfyller minstekravene iht. TEK10. Den tredje viser teoretisk forbruk ved minstekravet til oppvarmingsbehov iht. NS:3700, og den fjerde viser energibehovet til en bolig etter våre løsninger. For å finne energibesparelsen ble de simulerte energibehovene sammenlignet med hverandre. Energibesparelsen til konstruksjonsdelene ble funnet ved å endre konstruksjonenes varmetap og deretter lese av differansen i simulert energiforbruk. Det samme ble gjort for å finne energibesparelsen til de andre enkelttiltakene.

Energibesparelsen til enkelttiltak i klimaskallet består av to hoveddeler. Den første er energibesparelsen av en bedre U-verdi, mens den andre er konsekvensen av en ny konstruksjon med økt tetthet og mindre kuldebroer. Derfor er energibesparelsen vurdert til å være noe høyere enn kun en forbedret U-verdi. Summen av energibesparelsen på

enkelttiltakene vil da være tilnærmet lik simulert energibesparelse av hele boligen, dette stemmer overens i våre beregninger.

Energiberegningene er helt teoretiske og vil trolig ikke være helt lik det praktiske energibehovet til boligen. Konstruksjonens varmetap vil være avhengig av utførelsen og nøyaktigheten ved bygging. Energibesparelsen av enkelttiltakene har en usikkerhet da det er uklart hvor mye energibesparelsen som kommer fra den enkelte konstruksjonen, da varmetapet skjer gjennom materialene, kuldebroer og lekkasjer.

Lønnsomhetsanalysen er basert på priser innhentet fra Hemato Eiendom, NorDan og leverandører av isolasjonmaterialer. Anbud og innhentede enkeltpriser vil variere fra leverandør til leverandør, og har derfor en stor usikkerhet i nøyaktighet. Dette medfører at lønnsomhetsanalysen har en usikkerhet både når det gjelder energiberegninger og kostnader. Det har vært vanskelig å finne en fasit, det viktigste har vært å se på lønnsomheten av å etterisolere mer.

Lønnsomhetsanalysen er også basert på andre variable faktorer som utgjør en usikkerhet. Blant annet renter, prisstigning og energipriser.

Energiprisen har de siste årene blitt høyere, fra 1999 til 2013 har prisen doblet seg. [99] Det er vanskelig å forutsi en videre utvikling av strømprisen, siden det uansett vil være spekulasjoner. Men strømprisen vil mest sannsynlig fortsette å stige jevnt i årene fremover. En høyere strømpris vil føre til økt lønnsomhet ved oppgradering av boliger. I denne rapporten er strømprisen kalkulert med en stigning på 1.5 prosent hvert år, noe som er lavt sammenlignet med utviklingen de siste årene. Kalkulasjonsrenten det er regnet med er på 2,86 prosent, etter skatt. Denne kan endre seg i fremtiden, mest sannsynlig vil det komme en renteøkning. Renten på 4 prosent før skatt har derfor en viss sikkerhetsmargin. Ettersom det er umulig å spå fremtidig rente blir dette også kun spekulasjoner basert på prognoser.

Lønnsomhetsanalysen viser at det er lønnsomt å oppgradere boligen til TEK10. Merkostnaden av å oppgradere til passivhus betaler seg derimot ikke tilbake ved ren energibesparelse. Denne

merkostnaden kan delvis forsvares, da man kan få støtte fra Enova for å gjøre ekstra tiltak utover gjeldene krav i TEK10.

Etter en rask analyse utført av Enova vil dette prosjektet mest sannsynlig motta 110 000,- NOK til støtte for oppgraderingen med de tiltakene som er presentert i kapittel 7. Om Enova krever mer omfattende tiltak, vil det lønne seg å oppfylle disse.

Selv om anbudene vil variere fra ulike leverandører og byggmestre, vil konklusjonen vår trolig være den samme. Det skyldes at det er lite ekstra arbeid i å etterisolere mer. Dermed er merkostnaden tilnærmet lik den ekstra isolasjonskostnaden. Materialkostnadene for isolasjon har blitt hentet direkte fra leverandørene, og vil derfor ikke variere mye fra de ulike anbudene. Det vil derfor trolig ikke ha noe betydning for konklusjonen at totalkostnaden for oppgraderingen vil bli høyere.

En del fremtidige variabler er avgjørende for lønnsomheten av en oppgradering til TEK10 eller passivhus. Om energiprisene stiger i fremtiden vil passivhus boliger være mer lønnsomt. Ved en rente stigning vil det være lønnsomt å ha minst mulig i lån. Dersom passivhus blir mer attraktivt vil du få mer igjen for boligen når du selger den. Det skal også nevnes at det er fordeler av å nærme seg passivhus, og generelt oppgradering, som ikke kan beskrives med kroner og øre. Som f.eks. komforten av et bedre inneklima og støydempingen i konstruksjonen.

En undersøkelse utført av SINTEF viser at det er mindre å spare på nybygg til passiv standarden enn ved en oppgradering.[100] Det kommer trolig av at utgangspunktet her er forskjellig. Et eldre bygg vil ha et vesentlig varmetap gjennom utettheter og høye kuldebro verdier. Et nybygg vil ha god tetthet og få kuldebroer selv om det ikke tilfredsstiller passivhus standarden. Kostnaden ved å bygge nye passivhus er 8-10 prosent høyere enn vanlige hus. [101] Noen kalkulasjoner sier at det vil ta opptil 25-30 år å tjene inn denne ekstrakostnaden for et nybygg, [102] SINTEF's prosjektrapport nr.40[103] sier at det vil ta 56 år, mens rapporten "Kostnadsoptimalitet Energiregler i TEK" skrevet av Multiconsult og SINTEF sier 12 år.[104] Det er her mange meninger og vanskelig å finne en fasit.

Våre nåverdiberegninger viser at det vil ta rundt 45 år å spare inn merkostnadene fra TEK10 til passivhus med kun energibesparelse. Det vil derimot ta kortere tid om en regner med støtte fra Enova. Om man skal ta hensyn til en merverdi på passivhus i fremtiden kan dette forsvare investeringen noe. Det kan diskuteres om passivhus vil ha en større prisvekst enn TEK10 boliger i fremtiden. Den nye TEK15 skal være tilnærmet lik passivhus standarden. Det kan da tenkes at passivhus vil ha en større verdistigning enn TEK10 boliger. Ettersom TEK10 boliger i fremtiden vil være utdaterte sammenlignet med passivhus som vil tilfredsstille nye krav etter 2015.

Det kommer en del nye og spennende isolasjonsmaterialer som per dags dato ikke er kostnadseffektive, men som med tiden vil komme ned på et konkurransedyktig nivå. Dette kan føre til at det vil bli rimeligere å bygge energieffektive boliger i fremtiden.

Til romoppvarming er det for å tilfredsstille oppdragsgivers ønske valgt el-ovner. Det er her noen meninger om en i 2013 skal basere romoppvarmingen på strøm. Noen mener at det anses som lite fremtidsrettet å bruke strøm til romoppvarming. Men ettersom det per dags dato ikke finnes lønnsomme alternativer ved lave romoppvarmingsbehov velges det her å gå for el-ovner. Det er også noe som kan diskuteres hvorvidt dagens fokus på passivhus er rettmessig, om det ikke heller burde fokuseres mer på hus som skaper egen energi.[105] Men da kreves det andre løsninger. For å oppfylle kravet om fornybar oppvarming i boligen, er det valgt å installere en solfanger til tappevannsoppvarming. Ved å utnytte solenergi fås det en løsning som bruker gratis energi og som er god for miljøet. Solfangere er dessuten per dags dato konkurransedyktige mot tradisjonelle løsninger, på grunn av lav kostnad og god energibesparelse.

9. Konklusjon

Målet med oppgaven har vært å finne det økonomiske krysningspunktet for oppgradering av et 70-talls hus i Arendal. Prosjektet er initiert av Husbanken med et ønske om å belyse lønnsomheten ved å oppgradere eldre boliger. Prosessen og erfaringene er formidlet videre til byggebransjen og «mannen i gaten» gjennom frokostmøter i regi av Arendal Kommune og BGM Arkitekter. For videre formidling har husbanken hatt flere medieoppslag rundt disse møtene, det har også vært medieoppslag fra andre bygg magasiner. Dette prosjektets konklusjon baserer seg på boligen i Arendal, men mye av de samme tiltakene og løsningene vil være gjennomførbare på andre eldre boliger. Siden det var ønske om universell utforming, er det tatt hensyn til dette under planlegging av bygget.

Tilstandsanalysen viste at boligen slik den er nå har mye varmetap. Det er mest å spare på tiltak for å redusere varmetapet i boligen. Boligen som den er nå tilfredsstiller kun TEK10 kravet til ventilasjon. Det totale romoppvarmingsbehovet på 36 720 kWh er høyt, det konkluderes her med at forbedringspotensialet er stort.

Lønnsomheten av å oppgradere boligen i henhold til minstekrav i TEK10 har blitt kalkulert. Kalkulasjonene viser at det er lønnsomt å oppgradere om man inkluderer verdistigningen på boligen, investeringen vil da betale seg tilbake på 8 år. En bolig bygget etter minstekravene i TEK10 vil derimot ikke kvalifisere for støtte fra Enova. Videre er merkostnaden ved å oppgradere til passivhus standarden beregnet til rundt 100 000,- NOK. Slik markedet er i dag vil den investeringen ikke være lønnsom.

Løsningene som det i dette prosjektet er kommet frem til vil minke netto energibehov fra 300.5 kWh/m2 til 90.4 kWh/m2, som er bedre enn minstekravet i TEK10. Netto oppvarmingsbehov er kraftig redusert fra 226.7 kWh/m2 til 27 kWh/m2, noe som tilfredsstiller Lavenergiklasse 1. Differansen illustrerer at det er mulig å lage lønnsomme og energibesparende løsninger til eldre boliger. Våre løsninger vil med en prisvekst og støtte fra Enova gi en tilbakebetalingstid på ca. 3 år**.** Nåverdien vil etter 25 år være omtrent 500 000,- NOK. Tabell 14 viser de ulike tiltakene som er anbefalt, disse tiltakene og de bygningstekniske løsningene som er beskrevet i kapittel 7 vil gi et energieffektivt bygg.

Tabell 14: Oversikt over tilfredsstilte krav ved våre løsninger.

Egenskap	**Våre Løsninger**	**Tilfredsstiller Minstekrav TEK10**	**Tilfredsstiller Minstekrav Lavenergiklasse 1**	**Tilfredsstiller Minstekrav i Passivhus**
U-verdi vindu	0.84 W/m2K	X	X	-
U-verdi gulv	0.17 W/m2K	-	-	-
U-verdi tak	0.12 W/m2K	X	X	-
U-verdi vegg	0.15 W/m2K	X	X	-
U-verdi dører	1,2 W/m2K	X	X	-
Års gjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner	≥ 80%	X	X	X
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	≤ 1,5	X	X	X
Lekkasjetall ved 50Pa, n50	≤ 0,6	X	X	X

Lønnsomhetsanalysen har gitt oss svar på hvilke enkelttiltak som er mest lønnsomme å gjennomføre. Etter å ha snakket med kilder i Enova vil prosjektet trolig motta 110 000,- NOK i støtte, men dette kan ikke bekreftes, se vedlegg G1. Disse løsningene vil da utgjøre det økonomiske krysningspunktet. Om løsningene allikevel ikke viser seg å være kvalifisert for støtten fra Enova, vil det være mest lønnsomt å etterisolere mer i taket, og om nødvendig mer i vegger for å få støtten.

10. Forslag til videre arbeid

Videre anbefales det å kontakte en energirådgiver fra Enova, for å få klar hva som skal til for å få støtte. Arbeidet bør ikke startes før dette er gjort, da støtteordningen ikke gjelder om arbeidet er påbegynt. Om det skulle vise seg at prosjektets løsninger ikke oppfyller krav for støtte, anbefales det å etterisolere mer i taket, og om nødvendig mer i vegger for å få støtten.

Byggingen av boligen skal i dette prosjektet utføres i samarbeid med Sam Eyde VGS. Det er her viktig med nøye gjennomføring av de ulike byggetekniske løsningene.

Det bør videre søkes dispensasjon om avvike fra minstekravet på 0,15W/m2K i gulv, da dette ikke er økonomisk ved et så dårlig utgangspunkt. Det må også søkes dispensasjon om en ekstra innkjørsel til eiendommen.

[1] "Hvor mye energi kan 70-tallshuset spare? - Husbanken." Forside - Husbanken. N.p., 13 Mar. 2013. Web. 28

[2] Bygggeskikk. "Reduksjon av varmetap er viktigst - Husbanken." Forside - Husbanken. N.p., 23 Mar. 2013. Web. 28 May 2013. <http://www.husbanken.no/miljo-energi/blakstad/moltemyrprosjektet-frokost-2/>.

[3] Svein Tveitdal (08.12) . Kunnskapsnotat nr6 – August 2012 Energieffektive bygg. Nøkkel til avutslippssamfunnet.

[4] "Vannkraft - Statkraft." Statkraft er størst i Europa innen fornybar energi - Statkraft. N.p., n.d. Web. 24 Jan. 2013. <http://www.statkraft.no/energikilder/vann>

[5] Bengt Michalsen (08.12) . Kunnskapsnotat nr6 – August 2012 Energieffektive bygg. Fra tek10 til plusshus.

[6] Svein Tveitdal (08.12) . Kunnskapsnotat nr6 – August 2012 Energieffektive bygg. Nøkkel til lavutslippssamfunnet.

[7] Valheim, Ragnvald. "bolig – boligmassen i Norge – Store norske leksikon." Store norske leksikon. Hentet 6 Feb. 2013. <http://snl.no/bolig/boligmassen_i_Norge>.

[8] "Reduser oppvarmingsbehovet." Hjelp til deg som skal kjøpe isolasjon. Enova, n.d. Hentet 6 Feb.2013. <http://www.enova.no/privat/produktveiledning/boligrenovering/etterisolering/100/0/>.

[9] Svein Bjørberg (2010). Stortingsmelding om Bygningspolitikk. Hentet: 6.feb.2013. <http://www.regjeringen.no/pages/15128320/dokumentbjorberg.pdf>

[10] Edvadsen, K. I. & Ramstad, T. (2007). Håndbok 53 Trehus.

[11] "Hva er Lambda-verdi? | Bolig Enøk." BoligENØK. N.p., n.d. Web. 14 Feb. 2013. <http://www.boligenok.no/teknisk-informasjon/begrep/hva-er-lambda-verdi/>.

[12] "DiBK | Veiledning om tekniske krav til byggverk." DiBK Byggeregler. N.p., n.d. Web. 9 Apr. 2013. <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/te

[13] "DiBK | Veiledning om tekniske krav til byggverk." DiBK Byggeregler. N.p., n.d. Web. 9 Apr. 2013. <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/t

[14] "DiBK | Veiledning om tekniske krav til byggverk." DiBK Byggeregler. N.p., n.d. Web. 9 Apr. 2013. <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/t

[15] Lassen, Niels. "NS 3031 kap. 7 & 8 / NS-EN 15603." Multiconsult. N.p., 14 May 2008. Web. 27 May 2013. < http://www.tekna.no/ikbViewer/Content/692168/Presentasjon_Niels%20Lassen.pdf>.

[17] NS 13829:2000+NA2010. Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje, differansetrykkmetode. 5.1.3 Måletidspunkt.

[18] "Bygningsfysikk - Wikipedia." *Wikipedia, den frie encyklopedi*. N.p., n.d. Web. 30 Apr. 2013. <http://no.wikipedia.org/wiki/Bygningsfysikk>

[19] "Finansleksikon på nett." *Finansleksikon på nett*. N.p., n.d. Web. 30 Apr. 2013. <http://www.finansleksikon.no/Finansleksikon/R/Realrente.html

[20] "Inflasjon - Wikipedia." *Wikipedia, den frie encyklopedi*. N.p., n.d. Web. 30 Apr. 2013. <http://no.wikipedia.org/wiki/Inflasjon>

[21] "Rente - Wikipedia." *Wikipedia, den frie encyklopedi*. N.p., n.d. Web. 30 Apr. 2013. <http://no.wikipedia.org/wiki/Rente>.

[22] 1) Dokka, T.H. og T. Wigenstad: "Faktor 4 Boliger", SINTEF Rapport SBF 51 A06009, SINTEF Byggforsk, Arkitektur og byggteknikk, august 2006

[23] Dokka, T.H. og Hermstad, K: "Energieffektive boliger for fremtiden. En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger", SINTEF Byggforsk, juni 2006

[24] "SIMIEN wiki." ProgramByggerne ANS. N.p., n.d. Web. 12 Feb. 2013. <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/start>.

[25] "ProgramByggerne ANS."*ProgramByggerne ANS*. N.p., n.d. Web. 4 Apr. 2013. <http://www.programbyggerne.no/>.

[26] "Hva er en trykktest?." Termofoto Norge. Termofoto Norge, n.d. Web. 12 Feb. 2013. <http://www.termofotonorge.no/hva-er-trykktesting>.

[27] NS 13829:2000+NA2010. Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje, differansetrykkmetode. 5.1.3 Måletidspunkt.

[28] NS 13829:2000+NA2010. Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje, differansetrykkmetode. 5.1.4 Meteorologiske forhold.

[29] NS 13829:2000+NA2010. Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje, differansetrykkmetode. 5.2 Klargjøring.

[30] NS 3031:2007 Beregninger av bygningers energiytelse. Metode og data. 6.1.1.1.5 Beregning av varmetransport på grunn av infiltrasjon.

[31] NS 3031:2007 Beregninger av bygningers energiytelse. Metode og data. Tabell B.6 – Veiledende verdier for terrengskjermingskoeffisientene *e* og *f*.

[32]"Termografering." Enova. Web. 27 May 2013. <ttp://www.enova.no/radgivning/privat/produktveiledning/boligrenovering/termografering/104/0>.

[33] Byggtermografirapport, Termofotonorge, Gustav Vigelandsvei 2 H Oslo

[34] Winther, Trond, Reidar Hæhre, and Lars Ottesen. "11.2 investeringsprosjekter." Grunnleggende bedriftsøkonomi. Oslo: Gyldendal akademisk, 2007. 316.

[35] Winther, Trond, Reidar Hæhre, and Lars Ottesen. "11.2 investeringsprosjekter." Grunnleggende bedriftsøkonomi. Oslo: Gyldendal akademisk, 2007. 318.

[36] SINTEF, NTNU,. "3.2 Levetid." ENØK i bygninger -effektiv energibruk. Oslo: Gyldendal undervisning, 2007. 75. Print.

[37] [37] Winther, Trond, Reidar Hæhre, and Lars Ottesen. "11.2 investeringsprosjekter." Grunnleggende bedriftsøkonomi. Oslo: Gyldendal akademisk, 2007. 319.

[38] SINTEF, NTNU,. "3.1 Kalkulasjonsrente." ENØK i bygninger -effektiv energibruk. Oslo: Gyldendal undervisning, 2007. 72. Print.

[39] "Kalkulasjonsrente." DFO - Direktoratet for økonomistyring. N.p., n.d. Web. 15 Apr. 2013. <http://www.dfo.no/no/Styring/Samfunnsokonomisk-analyse/Hvordan-gjennomfore-en-samfunnsokonomisk-analyse/Trinn-4-Beregne-samfunnsokonomisk-lonnsomhet/Kalkulasjonsrente/>.

[40] "Rente og realrente | ABC Nyheter ." Forside | ABC Nyheter . N.p., n.d. Web. 15 Apr. 2013. <http://www.abcnyheter.no/bolig/faktainnhold/090106/rente-og-realrente>.

[41] "Kalkulasjonsrente." DFO - Direktoratet for økonomistyring. N.p., n.d. Web. 15 Apr. 2013. <http://www.dfo.no/no/Styring/Samfunnsokonomisk-analyse/Hvordan-gjennomfore-en-samfunnsokonomisk-analyse/Trinn-4-Beregne-samfunnsokonomisk-lonnsomhet/Kalkulasjonsrente/>.

[42] Winther, Trond, Reidar Hæhre, and Lars Ottesen. "11.4.2 Nåverdimetoden." Grunnleggende bedriftsøkonomi. Oslo: Gyldendal akademisk, 2007. 324.

[43] Aspelin, Gustaf. *Byggtermografirapport Gustav Vigelandsvei 2 H, 0274 Oslo*. Oslo: Termofoto Norge, 2010. Print.

[44] AS Rockwool: Flex System med enda bedre varmeisoleringsevne." Produktfakta - Informasjonsdatabase med produkter og produktinformasjon tilknyttet byggebransjen . N.p., n.d. Web. 22 Apr. 2013. <http://www.produktfakta.no/as-rockwool-flex-system-med-enda-bedre-varmeisoleringsevne-32511/nyhet.html>.

[45] : "Gulv på grunnen med Glava Ringmurselement." GLAVA® – Ekspert på norske forhold siden 1935. N.p., n.d. Web. 22 Apr. 2013. <http://www.glava.no/bolig-fritidsbolig/bygningskonstruksjoner/gulvkonstruksjoner/gulv-pa-grunnen-med-glava-ringmurselement2/>.

[46] Passivenergibygg, "SPU Isolering - SPU som bedrift." SPU Eristeet - SPU Eristeet, Polyuretaanieristeet, lämmöneristeet. Web. 22 Apr. 2013. <http://www.spu.fi/SPU_som_bedrift>.

[47] Grynning, Steinar , Ruben Baetens, Bjørn Petter Jelle, Arild Gustavsen, Sivert Uvsløkk, and Vivian Meløysund. "Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter." SINTEF ByggforskProsjektrapport 31 (2009): 7.Vakuumisolasjonspaneler. Web. 26 May 2013.

[48] Meløysund, Vivian, Bjørn Petter Jelle, Arild Gustavsen, Ruben Baetens, and Sivert Uvsløkk. "Vakuumisolasjon." SINTEF byggforsk. N.p., n.d. Web. 22 Apr. 2013. <www.sintef.no/upload/Byggforsk/Fagartikler/Byggeindustrien/02-09%20vakuumisolasjon-ny.pdf>.

[49] "Reduksjon av varmetap er viktigst - Husbanken." Forside - Husbanken. N.p., n.d. Web. 27 May 2013. <http://www.husbanken.no/miljo-energi/blakstad/moltemyrprosjektet-frokost-2/>.

[50] "FOR 2010-03-26 nr 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)." *Lovdata Kapittel 13*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>.

[51] 10), ggteknisk forskrift (TEK. "FOR 2010-03-26 nr 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)."*Lovdata kap 14.3 og 14.4*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>.

[52] 10), ggteknisk forskrift (TEK. "FOR 2010-03-26 nr 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)."*Lovdata kap 14.7*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>.

[53] NS 3700:2010 side 6 tabell 3 årsmiddeltemp over 6.3 grader og 192m2

[54] NS 3700:2010 side 6. kapittel 4.4

[55] "FOR 2010-03-26 nr 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)." *Lovdata Kapittel 13*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>.

[56] NS 3700:2010 side 7, tabell 5, og lagt til TEK10 krav.

[57] NS3700:2010 side 6 tabell 4

[58] "Universell utforming." Hvorfor universell utforming. Web. 27 May 2013. < http://universellutforming.org/hvorfor-universell-utforming/>.

[59] Universellutforming av byggverk NS11001-2

[60] "Luft til vann varmepumpe | Alt om varmepumper - Varmepumpe." *Alt om varmepumper - Varmepumpe* |. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://www.varmepumpeinfo.no/content/luftvann-varmepumper>.

[61] "Wikipedia." *Varmepumpe*. N.p., n.d. Web. 24 Apr. 2013. <upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7d/Heatpump.svg/300px-Heatpump.svg.png>.

[62] "OSO » Energy Saver | boligprodukter."*OSO Hotwater » Think Future*. N.p., n.d. Web. 3 May 2013. <http://www.osohotwater.no/boligprodukter/energy-saver.html>.

[63] "Solinnstråling." *Fornybar.no*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <www.fornybar.no/upload_images/241EB79882

[64] "Solenergi - solfanger." Solenergi - gratis energi. Hentet. 27 May 2013. <http://www.skjolberg.com/Solfanger.htm>.

[65]"Tekniske løsninger - ventilasjon." *Balansertventilasjon*. aktivhms, 1 Jan. 2010. Web. 10 Apr. 2013. <www.aktivhms.no/Skoler/TekniskeLosning

[66] Våge, Magne, Jan Burgold, and Henrik Nielsen. "4.3 Ventilasjon." *Kurs i planlegging og byggingen av passivhus*. Grimstad: Husbanken, 2009. 61-63. Print.

[67] "Balansert Ventilasjon." *Tekniske Løsninger - Ventialsjon*. Aktivhms, n.d. Web. 1 Jan. 2009. <www.aktivhms.no/Skoler/TekniskeLosninger/Ventilasjon.htm#Naturlig%20ventilasjon >.

[68] Nilsen, Henrik Kofoed. "4.3.2." *Kurs i planlegging av passivhus*. Grimstad: Husbanken, 2009. 61.

[69] Marton, Ingunn. "Energikrav i TEK10 - www.byggemiljo.no." *www.byggemiljo.no - Forsiden*. N.p., 1 Jan. 2009. Web. 28 May 2013. <http://www.byggemiljo.no/article.php?articleID=966&categoryID=6>.

[70] Lavenergi, Programmet. "Ventilasjon." *Prosjektering av passivhus*. Oslo: Lavenergi programmet , 2013. 138-148. Print.

[71] 2011, ggstatistikk. "Råd og støtte som gjør hjemmet ditt enda bedre å leve i - Enova." Støtte og råd ved omlegging av energibruk og energiproduksjon - Enova. N.p., n.d. Web. 28 May 2013. <http://www.enova.no/finansiering/privat/stotte-til-eksisterende-bolig/661/0/>.

[72] 2011, ggstatistikk. "Råd og støtte som gjør hjemmet ditt enda bedre å leve i - Enova." Støtte og råd ved omlegging av energibruk og energiproduksjon - Enova. N.p., n.d. Web. 28 May 2013. <http://www.enova.no/finansiering/privat/stotte-til-eksisterende-bolig/661/0/>.

[73] "Etterisolering - Enova." Støtte og råd ved omlegging av energibruk og energiproduksjon - Enova. N.p., n.d. Web. 28 May 2013. <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/tiltak-i-bygningskroppen/etterisolering/etterisolering/100/124/>.

[74] "Fukt i bygninger teorigrunnlag." SINTEF Byggforsk 2.421.132 (2005): 1. SINTEF. Web. 24 Apr. 2013.

[75] Holme, Jonas, Stig Geving, and Sivert Uvsløkk. "Alternative dampsperrer med uttørkingsmulighet mot innelufta." 1.1 Tradisjonell løsning. 9. Version Prosjektrapport 65. SINTEF Byggforsk, n.d. Web. 24 Apr. 2013. <www.sintef.no/uploadpages/273827/SB%20prrapp%2065%5b1%5d.pdf>.

[76] Geving, Stig. "Alternative dampsperrer med uttørking g smulihet innover? ." For hvilke konstruksjoner kan dampbrems (muligens) være aktuelt? 10. SINTEF, 23 Nov. 2010. Web. 24 Apr. 2013. <www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2010/08_Geving.pdf>.

[77] Gustavsen, Arild, Jan Vincent Thue, Peter Blom, Arvid Dalehaug, Tormod Aurlien, Steinar Grynning, and Sivert Uvsløkk. "Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk." SINTER Prosjektrapport 25 (2008): 9. Print.

[78] Uvsløkk, Sivert. "Tak med kaldt loft." Byggforsk 396 (2005): 4. Sintef. Web. 27 May 2013.

[79] Direktoratet for byggkvalitet: Ventilasjon for boenhet http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/13/2/

[80] Bøhlerengen, Trond. "SINTEF byggforsk." Etterisolering av bygninger. 68. N.p., n.d. Web. 24 Apr. 2013. <www.sintef.no/upload/Eksbo/Dokumenter/Gj%C3%B8r%20det%20riktig.pdf>.

[81] Bøhlerengen, Trond. "SINTEF byggforsk." Etterisolering av bygninger. 66.. N.p., n.d. Web. 24 Apr. 2013. <www.sintef.no/upload/Eksbo/Dokumenter/Gj%C3%B8r%20det%20riktig.pdf>.

[82] Omfattende oppgradering av detaljer for vindusinnsetting." *Sinteff Byggfrosk*. Sinteff, 1 Jan. 2012. Web. 28 May 2013. <bks.byggforsk.no/News.aspx?sectionId=2&newsId=242>

[83] Bøhlerengen, Trond. "SINTEF byggforsk." Etterisolering av bygninger. 66.. N.p., n.d. Web. 24 Apr. 2013. <www.sintef.no/upload/Eksbo/Dokumenter/Gj%C3%B8r%20det%20riktig.pdf>.

[84] Geving, Stig, Jonas Holme, and Sivert Uvsløkk. *Alternative dampsperrer med uttørkingsmulighet mot innelufta*. Oslo: SINTEF Byggforsk, 2012. Print.

[85] Gustavsen, Arild , and Jan Vincent thue. "Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk." *Prosjektrapport 25*. Sinteff, 1 Jan. 2008. Web. 15 Mar. 2013. <www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/SB_prosjektrapport_25.pdf punkt 2.3] >.

[86] Uvsløkk, Sivert . *Tak med kaldt loft*. Oslo: Byggforsk, 2005

[87] Dokka, Tor Helge, and Inger Andresen. "Teknologi,løsninger og produkter." *"Den mest miljøvennlige energien, er den som ikke blir brukt"* . Oslo: Husbanken, 2012. 44. Print.

[88] Sintef, Byggforsk. *Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning* . Oslo: Sintef, 2002. Print.

[89] Lavenergi, Programmet. "Ventilasjon." *Prosjektering av passivhus*. Oslo: Lavenergi programmet , 2013. 144. Print.

[90]Hauge, Guro. "Ventilasjon." *Prosjektering av passivhus*. Oslo: Lavenergiprogrammet, 2013. 138-148. Print.

[91] " 23.1 Solenergi - regjeringen.no."*regjeringen.no - regjeringen.no*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998-11/24/1.html?id=349198>.

[92] "Luft til vann varmepumpe | Alt om varmepumper - Varmepumpe." *Alt om varmepumper - Varmepumpe* |. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://www.varmepumpeinfo.no/content/luftvann-varmepumper>.

[93] "Luft/luft-varmepumpe - oljefri.no." *Bytt ut oljefyr med klimavennlig oppvarming og spar energi - oljefri.no*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://oljefri.no/bolig/luft-luft-varmepumpe/category1528.html>.

[94] 2011, ggstatistikk. "Tilskudd til luft/vann varmepumpe - Enova." *Startside - Enova*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://www.enova.no/finansiering/privat/tilskuddsordningen/luftvann-varmepumpe/133/0/?gclid=CPTXo-DNurYCFWh2cAodcGsAEg>.

[95] "Luft/vann-varmepumpe - oljefri.no." *Bytt ut oljefyr med klimavennlig oppvarming og spar energi - oljefri.no*. N.p., n.d. Web. 29 Apr. 2013. <http://oljefri.no/bolig/luft-vann-varmepumpe/category1530.html>.

[96] "Toshiba KWsmart varmepumpe katalog."*Toshiba*. N.p., n.d. Web. 22 Apr. 2013. <www.toshibavarmepumper.no/Documents/Pdf-filer/Datablad/Toshiba%20kWsmart%20luft-vann%20-%20for%20nybygg%20og%20passivhus.pdf

[97] David Zijdemans (2012): Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer. Skarland press, Oslo: s138

[98] gg, and bolig og eiendom. "Elektrisitetspriser - SSB." *Forside - SSB*. N.p., n.d. Web. 24 Apr. 2013. <http://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris>.

[99] "SSB - Tidenes nest dyreste strømpris." NA24. N.p., n.d. Web. 28 May 2013. <http://www.na24.no/article2881499.ece>.

[100] Tor Helge Dokka, Guro Hauge, Marit Thyholt, Michael Klinski og Anders Kirkhus. "Energieffektivisering i bygninger – mye miljø for pengene!." SINTEF byggforsk. Version Prosjektrapport 40. N.p., 1 Jan. 2009. Web. 22 May 2013. <www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/SB%20prrapp%2040.pdf>

[101] Aadland, Camilla. "15 av disse skulle vært passivhus -Bergens Tidende." Forsiden -Bergens Tidende. N.p., 16 Oct. 2012. Web. 28 May 2013. <http://www.bt.no/bolig/15-av-disse-skulle-vart-passivhus-2781404.html#.UZi0CSt5xnI>.

[102] Aadland, Camilla. "15 av disse skulle vært passivhus -Bergens Tidende." Forsiden -Bergens Tidende. N.p., 16 Oct. 2012. Web. 28 May 2013. <http://www.bt.no/bolig/15-av-disse-skulle-vart-passivhus-2781404.html#.UZi0CSt5xnI>.

[103] Tor Helge Dokka, Guro Hauge, Marit Thyholt, Michael Klinski og Anders Kirkhus. "Energieffektivisering i bygninger – mye miljø for pengene!." SINTEF byggforsk. Version Prosjektrapport 40. N.p., 1 Jan. 2009. Web. 22 May 2013. <www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/SB%20prrapp%2040.pdf>

[104] Kostnadsoptimalitet Energiregler i TEK

[105] Knudsen, Knut Olav. "Passivhus er ikke nødvendigvis det rette for husene våre i nær fremtid i vvs-bloggen." VVS-bloggen | VVS-bloggen er ett fora for alle som er interessert i VVS tekniske spørsmål. Vi ønsker å sparke litt, si litt i fra, samt gjøre en del informasjon også tilgjengelig for huseiere.. N.p., 30 Oct. 2012. Web. 28 May 2013. <http://vvsbloggen.no/passivhus-er-ikke-nodvendigvis-det-rette-for-husene-vare-i-naer-fremtid/>.