

# Energioppgradering av eldre murbygninger

**Hege Næve**

Bygg- og miljøteknikk (2-årig)

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Stig Geving, BAT

Medveileder: Torbjørn Bratteberg, HENT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg, anlegg og transport





Oppgavens tittel: Energioppgradering av eldre murbygninger	Dato: 7. juni 2015		
	Antall sider (inkl. bilag): 140		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Hege Næve			
Faglærer/veileder: Stig Geving			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Torbjørn Bratteberg			

**Ekstrakt:**

Denne oppgaven tar utgangspunkt i energioppgradering av eldre murbygninger og har en tredelt oppbygging. Del 1 er basert på en litteraturstudie, del 2 er en casestudie av 1930-bygget som er en teglbygning ved St. Olavs Hospital i Trondheim, mens det i del 3 gjøres en oppsummering og konklusjon av funn i litteraturstudie og casestudie.

Formålet med del 1 er å kartlegge murbygningers oppbygging som er relevant ved energioppgraderinger, med fokus på U-verdier og andre viktige forhold. I tillegg ønsker man å finne aktuelle tiltak og kombinasjoner av tiltak for slike bygg med bakgrunn i relevant faglitteratur og konkrete oppgraderingsprosjekter.

Formålet med del 2 er å koble funn i litteraturstudiet opp mot praksis gjennom et casestudie av 1930-bygget for å se hvordan kombinasjoner av tiltak og variasjon i enkelttiltak vil påvirke energibehovet i case- bygget. Her kartlegges først byggets oppbygning og verdier som er sentrale for utregning av energibehov beregnes eller estimeres. Fordi det ikke finnes gode nok tall for normalisert kuldebroverdi for slike bygg er dette beregnet ved bruk av programmet THERM. Videre presenteres tre tiltakspakker 1,2 og 3 som tilsvarer en mindre, moderat og en omfattende oppgradering, og tiltakenes effekt på energibehov, lekkasjetall og energibudsjett bestemmes ut fra beregninger i SIMIEN. I del 2 gjennomføres også en enkel lønnsomhetsvurdering av tiltak og kombinasjoner av tiltak ved bruk av tilbakebetalingsmetoden.

Aktuelle tiltak som er kartlagt for murbygninger i denne oppgaven omfatter hovedsakelig tiltak på bygningskroppen som etterisolering, tetting og utskifting av vinduer samt tiltak på ventilasjonsanlegg. Tiltak kan settes sammen med bakgrunn i simulerte enkelttiltak som presenterer best, et definert ambisjonsnivå, hvor stort inngrep tiltakspakken tilsvarer og hvordan dette påvirker for eksempel vern eller ut fra en tiltaksmatrise («toolbox»).

Tiltakspakke 3 gir størst reduksjon i energibehov for casebygget, men tiltakspakke 2 gir kortest tilbakebetalingstid. For casebygget anbefales tiltakspakke 2 fordi den tilsvarer en moderat oppgradering med moderat risiko og fordi den gir kortest tilbakebetalingstid.

**Stikkord:**

1. Energioppgradering
2. Eldre murbygninger
3. Energioppgraderingstiltak
4. Tiltakspakker

\_\_\_\_\_  
(sign.)



## **Forord**

Denne oppgaven er utarbeidet i forbindelse med avslutning av det 2-årige masterprogrammet ved sivilingeniørstudiet Bygg- og Miljøteknikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet. Oppgaven er tatt ut ved Institutt for Bygg, Anlegg og Transport med fordypning i Bygnings- og Materialteknikk. Entreprenør HENT AS har vært samarbeidspartner, og oppgaveteksten er utarbeidet i felleskap med de ulike partene.

Arbeidet har vært utfordrende og spennende. Spesielt har arbeidet med casebygget vært utfordrende på grunn av vanskeligheter med å finne underlag for beregninger som har ført til en forskyving av opprinnelig fremdriftsplan. Dette har ført til at fokus i oppgaven er endret noe og litteraturstudie har fått større fokus.

Jeg vil takke hovedveileder ved NTNU Stig Geving for god hjelp og veiledning gjennom arbeidet med oppgaven. Jeg ønsker også å takke Torbjørn Bratteberg og Jonas Lundli Buan hos HENT AS for god hjelp gjennom perioden.

Trondheim 7. juni 2015

---

Hege Næve



## Sammendrag

I Norge står energiforbruk i bygningsmassen for om lag 40 % av det netto innenlandske sluttforbruket (Dokka et al., 2009), og man anslår at om lag 80 % av dagens bygningsmasse vil stå i 2050 (KMD, 2009). Kommunal- og regionaldepartementets arbeidsgruppe for energieffektivisering av bygg (2010) hevder at «energieffektivisering er det enkleste og billigste klimatiltaket [...]» og at hoveddelen av energibesparelsen på sikt må hentes inn i eksisterende bygningsmasse. I rapporten fokuseres det på energioppgraderinger av eldre murbygninger frem til ca. 1950, hvor enkelte bygg er vernet. Rapporten er tredelt, hvor del 1 er basert på et litteraturstudie, del 2 er en casestudie og del 3 er en oppsummering og konklusjon av funn i del 1 og 2.

I del 1 kartlegges først oppbygging av murbygninger. Slike bygg har ofte uoppvarmede kjeller og loftsrom. Yttervegger er enten murt massive eller som hulmurskonstruksjoner, hvor sistnevnte er sikrere med hensyn på fukt og frostsprengning. Etasjeskillere i slike bygg er enten trebjelkelag med eventuelt stubbloftsleire i hulrom eller armerte betongdekker som ble vanlig litt ut på 1900-tallet. Der hvor bjelkeender ligger inne i murveggen kan det oppstå problemer med fukt, noe som kan bli forverret ved innvendig etterisolering. Slike bygg er ofte naturlig ventilert og U-verdier for yttervegger varierer med densitet for steinen og veggtykkelse.

Videre i del 1 kartlegges aktuelle enkelttiltak som kan gjennomføres ved en oppgradering av murbygninger. Etterisolering av yttervegg kan gjøres innvendig eller utvendig. En utvendig etterisolering kan komme i konflikt med vernehensyn, men er en bedre løsning med hensyn på fukt og kuldebroer. Etterisolering kan også gjøres for etasjeskiller mot kaldt loft og kald kjeller, og for konstruksjoner i oppvarmet kjeller. Tiltak kan også gjøres for vinduer og dører, i tillegg til at det bør gjennomføres tetttiltak. Når tetthet i bygget øker anbefales det å installere balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. Kombinasjoner av tiltak kan settes sammen som tiltakspakker med bakgrunn i for eksempel inngripen i konstruksjonen, gitte energimål eller ut fra påvirkning på vernehensyn.

I del 2 presenteres casebygget: 1930-bygget ved St. Olavs Hospital i Trondheim, hvor eksteriøret er vernet. Etter beregning/estimering av kuldebroer, U-verdier, tetthet og så videre ble byggets spesifikke energibehov beregnet i SIMIEN til 221,8 kWh/m<sup>2</sup>. Tre tiltakspakker ble vurdert for bygget: en mindre, en moderat og en stor oppgradering hvor yttervegger etterisoleres innvendig i tiltakspakke 2 og 3 med henholdsvis 50 og 100 mm isolasjon. For

tiltaksprogrammene er nye U-verdier og ny normalisert kuldebroverdi etter tiltak er gjennomført, beregnet. Resultater fra SIMIEN og fra en forenklet beregning av tilbakebetalingstid er presentert i tabellen under:

	<b>Eksisterende bygg</b>	<b>Tiltakspakke 1</b>	<b>Tiltakspakke 2</b>	<b>Tiltakspakke 3</b>
<b>Spesifikt energibehov [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	221,8	174	147,5	132
<b>Tilbakebetalingstid [år]</b>		8.4	6.2	7.0

For tiltakspakke 2 ble tiltak variert og det tiltaket som ga størst reduksjon i tilbakebetalingstid var en ytterligere isolering av yttervegger med totalt 100 mm isolasjon og en reduksjon av isolasjon mot loft til 200 mm.

For 1930-bygget anbefales tiltakspakke 2 hvor yttervegg etterisoleres med 50 mm innvendig, etasjeskiller mot kaldt loft etterisoleres med 300 mm, varevinduer monteres innenfor eksisterende vinduer, nye dører og nytt balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning installeres. Tiltakspakke 2 gir korter tilbakebetalingstid, samtidig som det tilsvarer en moderat oppgradering med moderat fare for fuktskader ved innvendig etterisolering.



## Summary

In Norway the energy consumption from the building stock represents about 40 % of the total net domestic final energy consumption (Dokka et al., 2009), and it is estimated that about 80 % of today's building stock will still exist in 2050 (KMD, 2009). The Ministry of Local Government and Regional Developments (KRD) work group for energy efficiency improvements of buildings (2010) state that energy efficiency improvements are the simplest and cheapest climate measure and that the main part of the energy-saving in a long-term perspective has to be done in the existing building mass. In this report, the main focus is energy upgrading of older brick buildings up about 1950, where some buildings are a part of the cultural heritage. The report is divided in to three parts, where part 1 is based on a literature study, part 2 is a case study and part 3 summarizes and gives a conclusion to the report.

In part one it is first examined how brick buildings are built. These kinds of buildings often have unheated cellars and attics. Outer walls are either built as massive walls or as cavity walls, where the latter is safer with regard to moisture and frost burst. Floor slabs in such buildings are either wooden joists with pugging as cavity filling or reinforced concrete slabs that became more common in the 1900s. There are often problems with moisture where beam ends are placed in the outer wall, and this problem can be worsened when insulating on the interior side. Such buildings are often naturally ventilated, and U-values for outer walls vary with brick density and wall thickness.

In part 1 the work is continued by mapping individual measures that can be implemented when doing an energy upgrade of brick buildings. Insulation of outer walls can either be done on the exterior or the interior side. Exterior insulation might interfere with conservation considerations, but is a better solution with regard to moisture and thermal bridges. It is also possible to insulate floor slabs towards cold attics and cellars, and to insulate constructions below ground level in heated cellars. Measures can also be done for windows and doors in addition to making the building fabric more air tight. When the building is made more air tight installing a balanced ventilation system with heat recovery is recommended. Individual measures can be combined to packages of measures with regard to e.g. how the measures affect the existing construction, given energy targets or with regard to influence on conservation considerations.

In part 2 the case building is presented: the 1930-building at St. Olav's Hospital in Trondheim, where the exterior is protected. After calculation/estimation of thermal bridges, U-values, air tightness and so on, the buildings specific energy demand was calculated in SIMIEN to 221,8 kWh/m<sup>2</sup>. Packages of measures were evaluated for the building: one smaller, one moderate and one big upgrade where outer walls were insulated on the interior side in package 2 and 3 with 50 and 100 mm insulation, respectively. For all packages where measures were implemented new U-values and a new normalized thermal bridge value was calculated. Results from SIMIEN and from a simplified calculation of payback time are presented in the table below.

	<b>Existing building</b>	<b>Package 1</b>	<b>Package 2</b>	<b>Package 3</b>
<b>Specific energy demand [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	221,8	174	147,5	132
<b>Payback time [years]</b>		8.4	6.2	7.0

For package 2 the measures are varied and the measure that gave the biggest reduction in payback time was increasing the insulation of the outer wall to 100 mm insulation and a reduction of insulation of the floor slab towards the attic to 200 mm.

For the 1930-building package 2 is recommended. In this package outer walls are insulated with 50 mm on the interior side, floor slab towards the attic is insulated with 300 mm, secondary frame is installed on the inside of the existing windows, new doors and a new balanced ventilation system with heat recovery is installed. Package 2 gives the shortest payback time in addition to being a moderate upgrade with moderate risk of moisture damages as a result of the interior insulation.

## **Innhold**

Forord .....	3
Sammendrag .....	5
Summary .....	7
Innhold .....	9
Figurliste.....	13
Tabelliste .....	15
1. Innledning.....	1
1.2 Bakgrunn .....	1
1.3 Avgrensning av oppgaven .....	1
1.3 Problemstilling .....	2
1.4 Rapportens oppbygging.....	2
2. Teori og bakgrunnsstoff .....	4
2.1 Energioppgraderinger .....	4
2.1.1 Sentrale begreper .....	4
2.2 Lovverk .....	7
2.3 Vernehensyn.....	7
2.4 Økonomi og lønnsomhet .....	7
2.4.1 Inntjeningsmetoden/tilbakebetalingsmetoden .....	8
3. Metode.....	9
3.1 Litteraturstudie .....	9
3.2 Casestudie.....	9
3.3 Energiberegninger .....	10
3.4 Kuldebroberegning .....	11
3.5 Økonomi og lønnsomhet .....	11
4. Del 1 Litteraturstudie .....	12
4.1 Eldre murbygninger.....	12
4.2 Beskrivelse av enkelttiltak .....	16
4.2.1 Etterisolering av yttervegg .....	16

4.2.2 Etterisolering mot kaldt loft .....	20
4.2.3 Etterisolering av etasjeskiller mot uoppvarmet kjeller .....	21
4.2.4 Etterisolering av konstruksjoner i kjeller .....	22
4.2.5 Tiltak for vinduer .....	23
4.2.6 Tiltak for dører .....	24
4.2.7 Tetting .....	25
4.2.8 Ventilasjonsanlegg .....	26
4.2.9 Temperaturstyring .....	28
4.3 Andre gjennomførte prosjekter .....	29
4.3.1 Kort om to prosjekter .....	36
4.4 Diskusjon av funn.....	37
4.4.1 Eldre murbygninger.....	37
4.4.2 Enkeltiltak .....	37
4.4.3 Andre prosjekter .....	39
5. Del 2 Casestudie.....	41
5.2 Presentasjon av casebygg .....	41
5.2.1 Konstruksjon .....	43
5.2.2 Tiltak som er gjort og skal gjennomføres.....	44
5.3 Casebyggets energibehov før oppgradering .....	46
5.3.1 U-verdier .....	46
5.3.2 Normalisert kuldebroverdi .....	47
5.3.3 Lekkasetall .....	50
5.3.4 Ventilasjon .....	50
5.3.5 Resultater fra SIMIEN .....	51
5.4 Presentasjon av tiltakspakker .....	53
5.4.1 Tiltakspakke 1 .....	54
5.4.2 Tiltakspakke 2 .....	55

5.4.3 Tiltakspakke 3 .....	56
5.4.4 Tiltakspakke 2 med variasjon av enkelttiltak .....	58
5.5 Resultater fra simuleringer .....	59
5.5.1 Tiltakspakke 1 .....	59
5.5.2 Tiltakspakke 2 .....	61
5.5.3 Tiltakspakke 3 .....	62
5.5.4 Oppsummering av resultater for tiltakspakker .....	64
5.5.5 Tiltakspakke 2 med variasjon av tiltak.....	65
5.6 Økonomiske beregninger .....	67
5.6.1 Resultater for tiltakspakker .....	68
5.6.2 Tiltakspakke 2 med variasjon av tiltak.....	69
5.7 Diskusjon av resultater fra case-studie.....	71
5.7.1 Eksisterende bygg .....	71
5.7.2 Tiltakspakke 1 .....	72
5.7.3 Tiltakspakke 2 .....	73
5.7.4 Tiltakspakke 3 .....	74
5.7.5 Tiltakspakke 2 med variasjoner.....	75
6. Del 3 Oppsummering og konklusjon .....	76
6.1 Litteraturstudie .....	76
6.2 Casestudie.....	77
6.2.1 Anbefaling .....	77
6.3 Videre arbeid .....	78
7. Kilder.....	79
8. Vedlegg .....	83



## Figurliste

Figur 1 Tilleggsvarmetap på grunn av kuldebro. Kilde: Gustavsen (2008).....	6
Figur 2 Hulmurskonstruksjoner. Kilde: Bugge (1918) .....	12
Figur 3 Konstruksjonssnitt murgård. Kilde: Sandaker (1986) .....	14
Figur 4 Effekter på temperaturvariasjonen av utvendig og innvendig etterisolering. Kilde: Blom og Bøhlerengen (2014) .....	17
Figur 5 Temperaturfordeling i teglvegg for uisolert vegg (a), utvendig etterisolert vegg (b) og innvendig etterisolert vegg (c). Kilde: Blumberga et al. (2013) .....	18
Figur 6 Tilslutning til betongdekke i teglvegg med innvendig påføring med isolasjon. Kilde: Blom og Bøhlerengen (2014) .....	19
Figur 7 Etterisolering av gulv og vegg i kjeller. Kilde: Tommerup (2010) .....	22
Figur 8 Montering av vareramme innenfor eksisterende vindu. Kilde: Homb og Uvsløkk (2012) .....	24
Figur 9 Prinsipp for naturlig ventilasjon, mekanisk avtrekksventilasjon og mekanisk balansert ventilasjon med mulighet for varmegjenvinning. Kilde: AktivHMS.....	26
Figur 10 Skisse 1930-bygget. Kilde: HOD (2010) .....	41
Figur 11 Fasade mot park etter rehabilitering. Foto hentet fra: Sykehusbygg (2015) .....	42
Figur 12 Vindu i 1930-bygget. Foto: Leif Maliks, Forsvarsbygg .....	42
Figur 13 Snitt av 1930-bygget. Kortsida .....	43
Figur 14 Trondheimsmur i 2 1/4 utførelse. Kilde:Sandaker (1986).....	43
Figur 15 1930-bygget under riving. Foto: Sindre Ekli.....	45
Figur 16 Plantegning 1.etg etter oppgradering. Opphavsrett PKA arkitekter .....	45
Figur 17 Ribbedekke i 1930-bygget.....	49
Figur 18 Prinsipp for å finne kuldebroverdi for overgang mellom kjellervegg og gulv. Referansekonstruksjon med konduktivitet lik 0 W/mK i overgang. Hentet fra: Gustavsen et al. (2008) .....	49
Figur 19 Varmetapsbudsjett og varmetapstall for 1930-bygget før oppgradering .....	51
Figur 20 Årlig energibudsjett for 1930-bygget før oppgradering .....	52
Figur 21 Varmetapsbudsjett og varmetapstall for 1930-bygget etter tiltakspakke 1 .....	59
Figur 22 Årlig energibudsjett for 1930-bygget etter tiltakspakke 1 .....	60
Figur 23 Varmetapsbudsjett og varmetapstall for 1930-bygget etter tiltakspakke 2 .....	61
Figur 24 Årlig energibudsjett for 1930-bygget etter tiltakspakke 2.....	62
Figur 25 Varmetapsbudsjett og varmetapstall for 1930-bygget etter tiltakspakke 3 .....	63
Figur 26 Årlig energibudsjett for 1930-bygget etter tiltakspakke 3.....	63

Figur 27 Spesifikt netto energibehov for tiltakspakke 2 og variasjoner av tiltak. V står for varierte tiltak og korresponderer med Tabell 15 .....	65
Figur 28 Tilbakebetalingstid for tiltakspakke 1, 2 og 3 .....	69
Figur 29 Tilbakebetalingstid for variasjon av tiltak .....	70



## Tabelliste

Tabell 1 Typiske veggtykkelser i antall steiner. Kilde: Edvardsen (2013) .....	13
Tabell 2 U-verdier for eldre murvegger. Kilde: Edvardsen (2013).....	15
Tabell 3 Utettheter i eldre bygninger .....	25
Tabell 4 Tiltakspakke for holistisk oppgradering .....	33
Tabell 5 Etasjeskillere i 1930-bygget.....	44
Tabell 6 U-verdier, lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget før oppgradering.....	47
Tabell 7 Normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget før oppgradering. *Verdi fra Gustavsen (2008) .....	48
Tabell 8 Sentrale verdier 1930-bygget. ....	51
Tabell 9 U-verdier, lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget for tiltakspakke 1.....	55
Tabell 10 U-verdier, lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget for tiltakspakke 2.....	55
Tabell 11 U-verdier, lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget for tiltakspakke 3.....	57
Tabell 12 Variasjon i tiltak med tilhørende U-verdi/lekkasjetall.....	58
Tabell 13 Endringer i spesifikt netto energibehov [kWh/m <sup>2</sup> ] for 1930-bygget .....	64
Tabell 14 Endringer i varmetapstall [W/m <sup>2</sup> K] totalt og for ulike komponenter for 1930-bygget .....	64
Tabell 15 Endring i energibehov ved variasjon i tiltak .....	66
Tabell 16 Tilbakebetalingstid for tiltakspakke 1, 2 og 3. N <sub>0</sub> er tilbakebetalingstid i antall år. 68	
Tabell 17 Tilbakebetalingstid for variasjon av tiltak. N <sub>0</sub> er tilbakebetalingstid i antall år.....	69



## **1. Innledning**

I dette kapitlet vil arbeidets bakgrunn og hensikt presenteres. Samtidig vil omfang og begrensninger oppgis, i tillegg gis en leserveiledning som angir oppbygning av oppgaven.

### **1.2 Bakgrunn**

I Norge står energiforbruk i bygningsmassen for om lag 40 % av det netto innlandske sluttforbruket, det vil si at tiltak for å redusere energibruk i bygningsmassen kan ha store positive konsekvenser for landets samlede energiforbruk (Dokka et al., 2009). Samtidig anslår man at om lag 80 % av dagens bygningsmasse vil stå i 2050, noe som medfører at det største potensialet for å forbedre miljøtilstanden i bygningsmassen fins i eksisterende bygninger (KMD, 2009). Kommunal- regionaldepartementets arbeidsgruppe for energieffektivisering av bygg (KRD, 2010) hevder at «energieffektivisering er det enkleste og billigste klimatiltaket [...]». Arbeidsgruppen argumenterer videre for at hoveddelen av energibesparelsen på sikt på hentes inn i eksisterende bygningsmasse, og at det i fremtiden må stilles strengere krav ved rehabiliteringer, gjerne opp til passivhusnivå.

Hvilket potensiale som ligger i eksisterende bygningsmasse for energisparing avhenger av flere faktorer som byggets opprinnelige tilstand, hvilke rehabiliteringer som er gjort i byggets historie og hvordan bygget brukes i dag (Hole et al., 2011). Hvor stor energibesparelse som kan oppnås vil avhenge av fysiske begrensninger og andre hensyn, mens valg av tiltak som faktisk gjennomføres også vil avhenge av forhold som økonomisk lønnsomhet eller at tiltak ikke strider med vernehensyn.

En løsning for energioppgraderinger vil sjelden gjelde for alle typer bygninger, da ulike utfordringer er knyttet til trehus, murbygninger og så videre. Forskjeller i utfordringer vil forplante seg videre til valg av tiltak som er mulig for de ulike bygningstypene, og det er derfor interessant å se på en enkelt bygningstype for en grundigere kartlegging.

### **1.3 Avgrensning av oppgaven**

Den første og viktigste avgrensningen som er gjort er at arbeidet kun omhandler eldre murbygninger frem til ca. 1950 når strengere krav til isolasjon ble introdusert i Byggeforskriftene av 1949 (Krohn, 1998). Dette er gjort for å kunne gå dypere inn i fagstoffet for en bygningstype, samtidig var et av case-byggene som ble foreslått en murbygning fra denne perioden. Fokus i oppgaven er energiberegninger og reduksjon av energibehov som følge av gjennomførte tiltak og kombinasjoner av tiltak. Problemer forbundet med endringer i

fuktforhold trekkes også frem, men for å begrense omfanget av oppgaven er det ikke utført beregninger for hvordan fuktforhold i konstruksjonene endres. Analyser av hvordan tiltak kan påvirke dagslys, inn klima og så videre er heller ikke gjennomført, da dette er tidkrevende og ansett som mindre relevant her.

I forbindelse med arbeidet er det gjennomført et case-studie. På grunn av praktiske og tidsmessige årsaker er det kun gjennomført en studie av en murbygning og ikke flere, som hadde vært mer gunstig med tanke på validering av resultater. Det er ikke tatt hensyn til alle oppgraderinger som er gjort for bygget etter byggeår, for å gjøre resultatene mer anvendelige. Det er ikke gjennomført omfattende analyser av økonomiske aspekter da dette ville vært tidkrevende og heller ikke hovedfokus i oppgaven.

### **1.3 Problemstilling**

Oppgaven tar utgangspunkt i energioppgradering av eldre murbygninger, og formål med oppgaven kan oppsummeres som følgende:

- Kartlegging av aspekter ved murbygningers oppbygging som er relevant ved energioppgraderinger
- Kartlegging av aktuelle tiltak og kombinasjoner av tiltak for slike bygg med bakgrunn i relevant faglitteratur og i konkrete oppgraderingsprosjekter
- Koble funn opp mot praksis gjennom et casestudie av en eldre murbygning for å se hvordan kombinasjoner av tiltak og variasjon i enkelttiltak vil påvirke energibehovet i case-bygget.
- Gjennomføring av enkel lønnsomhetsvurdering av tiltak og kombinasjoner av tiltak for casebygg.

### **1.4 Rapportens oppbygging**

Rapporten består av en innledning, en introduksjon til relevant teori og bakgrunnsstoff og et metodekapittel før den videre er delt opp i tre deler:

- Del 1 – litteraturstudie
- Del 2 – casestudie
- Del 3 – oppsummering og konklusjon

I del 1 er det først en gjennomgang av hvordan eldre murbygninger er konstruert, før aktuelle tiltak for energioppgradering av murbygninger er gjennomgått. Kartleggingen av oppbygging

er gjort med bakgrunn i hovedsakelig norsk litteratur, mens aktuelle tiltak er hentet fra både norsk litteratur og engelske artikler og rapporter. Kombinasjoner av tiltak er kartlagt i kapitlet «andre prosjekter». Prosjektene er ikke kun begrenset til murbygninger og viser hvordan tiltak kombineres i ulike prosjekter og hvordan ulike tiltakspakker settes sammen ut fra en bestemt målsetning eller vernehensyn og så videre. Del 1 avsluttes med en diskusjon av funn i denne delen.

Del 2 tar for seg casestudiet hvor casebygget først presenteres, og deretter beregnes energibehov for eksisterende bygg. For å beregne energibehovet i bygget før tiltak er gjennomført gjøres beregninger og estimer for valg av U-verdi, normalisert kuldebroverdi, lekkasjetall og ventilasjon, og resultater fra beregningene presenteres. Deretter presenteres de tre tiltakspakkene som er valgt i tillegg til variasjon av tiltak for en av tiltakspakkene før disse simuleres og resultatene presenteres. Før diskusjon av resultatene gjøres en forenklet lønnsomhetsberegning med tilbakebetalingstid som utgangspunkt.

I Del 3 oppsummeres funn i litteraturstudiet og i casestudiet og det gis en anbefaling for valg av tiltakspakke for casebygget. I tillegg gis forslag til videreføring av arbeidet.

## 2. Teori og bakgrunnsstoff

### 2.1 Energioppgraderinger

En energioppgradering kan bestå av et enkelt tiltak, som for eksempel etterisolering av yttervegger, eller flere tiltak som utføres samtidig. I denne oppgaven vil kombinasjon av flere tiltak omtales som tiltakspakker. Målsetning med en energioppgradering kan være ulik fra prosjekt til prosjekt, hvor enkelte prosjekter har fokus på og nå et energikrav, som for eksempel passivhusnivå (Standard Norge, 2012b) eller krav i Teknisk Forskrift (2010), mens i andre prosjekter er forbedret innemiljø målsetningen.

#### 2.1.1 Sentrale begreper

I forbindelse med energioppgraderinger er begreper relatert til bygningers energiytelse sentrale, disse vil bli presentert i de følgende kapitlene.

##### *Energibehov og levert energi*

Ved energioppgraderinger ser man ofte på hvordan et tiltak vil redusere energibehovet eller andel levert energi i bygget. En bygningens netto energibehov angis uten hensyn til energisystemenes virkningsgrad eller tap i energikjeden, og oppgis i kWh. Spesifikt energibehov er energibehovet per kvadratmeter av oppvarmet del av bruksareal (BRA). Levert energi til bygget er summen av energi som leveres til bygget for å dekke bygningens samlede energibehov, inkludert systemtap som ikke gjenvinnes. Beregnet levert energi vil derfor være høyere enn beregnet energibehov, og er basis for utregning av redusert strømkostnad. (Standard Norge, 2014)

##### *U-verdi, varmekonduktivitet og varmemotstand*

En av verdiene som er sentrale i forbindelse med energioppgraderinger er ulike konstruksjoners U-verdi. U-verdien, eller varmegjennomgangskoeffisienten, forteller hvor lett en bygningsdel slipper igjennom varme. Den «[...] angir hvor mye varme per tidsenhet, målt i watt (W), som kan strømme gjennom et areal på 1 m<sup>2</sup> ved en konstant temperaturforskjell på 1 Kelvin (K) mellom omgivelsene på varm og kald side av konstruksjonen» (Kristensen, 2003). En svært godt isolert konstruksjon vil ha en lav U-verdi.

U-verdien bestemmes av dimensjonerende varmekonduktivitet  $\lambda$  (W/mK) og tykkelsen på konstruksjonen  $d$  (m), eller dimensjonerende varmemotstand,  $R$  (m<sup>2</sup>K/W).

$$U = \frac{1}{R} \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \text{ og } R = \frac{d}{\lambda} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

Et materiale med lav varmekonduktivitet vil være et godt varmeisolerende materiale og motsatt. For eksempel har mineralull en varmekonduktivitet på 0,037 W/mK, mens armert betong har en varmekonduktivitet på 2,5 W/mK. Ved utregning av R-verdien må man også ta hensyn til innvendig og utvendig varmeovergangsmotstand ( $R_{si}$  og  $R_{se}$ ) i henhold til (Standard Norge, 2007b). (Kristensen, 2003)

### **Varmetapstall, $H''$**

Varmetapstallet,  $H''$ , er varmetransportkoeffisienten for transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon,  $H$ , delt på oppvarmet del av BRA og oppgis i  $W/m^2K$  (Standard Norge, 2014).

Varmetransportkoeffisienten,  $H$ , regnes ut som:

$$H = H_D + H_U + H_g + H_v + H_{inf} \left[ \frac{W}{K} \right]$$

Hvor

$H_D$  er direkte varmetransmisjonstap til det fri [W/K]

$H_U$  er varmetransmisjonstap til uoppvarmede soner [W/K]

$H_g$  er varmetap mot grunnen [W/K]

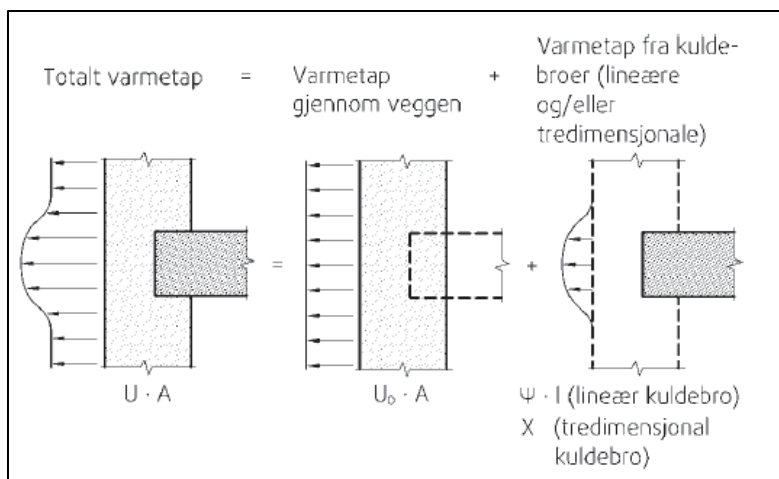
$H_v$  er ventilasjonsvarmetap [W/K]

$H_{inf}$  er infiltrasjonsvarmetap [W/K]

### **Kuldebro og normalisert kuldebroverdi**

Kuldebroer er et annet sentralt begrep ved energioppgraderinger, da kuldebroer bidrar til økt varmetap i bygg. En kuldebro betegnes som en del av klimaskjermen der varmemotstanden er høyere enn ellers i konstruksjonen. Dette kan skyldes at klimaskjermen brytes av et materiale med annen varmekonduktivitet, at det er forskjell i veggtykkelse eller at det er en forskjell mellom størrelsen på innvendige og utvendige flater (geometrisk kuldebro). (Gustavsen, 2008)

En geometrisk kuldebro kan for eksempel være et hjørne. Etasjeskillere eller innvendige vegger som møter ytterveggen vil være eksempler på bryting av klimaskjermen. Varmetapet gjennom en bygningsdel vil bestå av både varmetapet gjennom feltet uten kuldebroen og tilleggsvarmetapet på grunn av kuldebroen (Figur 1).



Figur 1 Tilleggsvarmetap på grunn av kuldebro. Kilde: Gustavsen (2008)

Ved oppgraderinger når bygningen etterisoleres får kuldebroene relativt sett større betydning. Risiko for fuktproblemer øker og man kan oppnå redusert termisk komfort på grunn av kuldebroer. (Mellegård og Svensson, 2014)

Normalisert kuldebroverdi,  $\Psi''$ , er definert som summen av varmetapet fra alle kuldebroene, delt på oppvarmet bruksareal (BRA),  $A_{fl}$  (Gustavsen, 2008). Verdien bestemmes for bygget som helet og beregnes som:

$$\Psi'' = \frac{\sum_k \Psi_k \cdot l_k + \sum_j \chi_j}{A_{fl}} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Der

$\Psi_k$  er kuldebroverdi (lineær varmegjennomgangskoeffisient [W/mK])

$l_k$  er lengden på lineær kuldebro  $k$  [m]

$A_{fl}$  er oppvarmet del av bruksareal (BRA) [m<sup>2</sup>]

$\chi_j$  er kuldebroverdi for tredimensjonale kuldebroer [W/K]

### Lekkasjetall

Et byggs lekkasjetall sier noe om hvor tett bygget er. Stor andel luftlekkasjer gjennom klimaskjermen kan gi vesentlig varmetap. Dersom kald luft trekker inn i bygget ukontrollert vil dette bidra til økt oppvarmingsbehov da denne luften må varmes opp. Luftlekkasjer kan kjøle ned konstruksjonene og svekke isolasjonsevnen til bygningskroppen. Lekkasjetall,  $n_{50}$  [h<sup>-1</sup>], angir total luftlekkasje ved en trykkforskjell mellom inne og uteluft på 50 Pa, målt etter en standardisert metode angitt i (Standard Norge, 2010). Ved energioppgradering av



eksisterende bygninger kan forbedring av lufttetthet og dermed lekkasjetall gi store energibesparelser. (Holde og Aurlien, 2013; Novakovic et al., 2007)

## **2.2 Lovverk**

Gjeldende regelverk for byggesaker i Norge er Plan- og bygningsloven (2014) og tilhørende Teknisk Forskrift (2010). Et av problemene ved energioppgradering av eksisterende bygninger er at tiltak som utføres kan utløse plikt om at krav i TEK 10 må oppfylles, noe som kan føre til store kostnadskonsekvenser for byggherre.

Forskriftens kapittel 14 omhandler energi, og legger føringer for byggeprosjekter og angir minimumsnivå man må oppnå med hensyn til energibruk, U-verdier og så videre. Forskriften angir minstekrav som må oppfylles i tillegg til enten energiltak eller energirammekrav. (TEK, 2010)

I forskriftens § 14-1 står det at «For tiltak der oppfyllelse av krav i dette kapittel ikke er forenlig med bevaring av kulturminner og antikvariske verdier, gjelder kravene så langt de passer». Dette medfører at man kan fravike fra krav til for eksempel U-verdi på yttervegger dersom dette kommer i strid med vernehensyn. (TEK, 2010)

## **2.3 Vernehensyn**

I Norge er det to nivåer for vern av bygninger: fredning og bevaringsverdig/verneverdig. Den strengeste formen for vern er fredning, og innebærer at alle inngrep utover vanlig vedlikehold må godkjennes av myndighetene. Dersom en bygning er fredet kan dette innebære fredning av både interiør og eksteriør. Den mindre strenge formen for vern er bygninger som er klassifisert som verneverdige, og da er vern normalt begrenset til eksteriøret. (Riksantikvaren)

I Trondheim er det Byantikvaren som registrerer og klassifiserer, samt gir råd om kulturminner. Statlige eiendommer er vurdert i landsverneplanarbeidet med hensyn til kulturhistorisk verdi. De mest verdifulle eiendommene er plassert i verneklasse 1, og resterende i verneklasse 2. Vernehensyn kan komme i konflikt med energioppgraderinger, blant annet ved ønske om utvendig etterisolering. (Riksantikvaren, 2015; Trondheim Kommune, 2014)

## **2.4 Økonomi og lønnsomhet**

I de fleste oppgraderingsprosjekter vil også økonomi være et viktig aspekt. Få byggherrer kan forsvare å gjennomføre oppgraderingsprosjekter som ikke er lønnsomme, selv om disse

oppgraderingene kan være de beste ut fra et tekniske eller andre hensyn. Ved energioppgraderinger av eksisterende bygninger kan man søke om støtte fra Enova. Støtte gis til «[...] fysiske tiltak som reduserer energibruk, og omlegging til fornybare energikilder» (Enova). Det regnes ikke med støtte fra Enova her, men slik støtte kan gi bedre lønnsomhet og bør undersøkes ved vurdering av ulike tiltak. I denne oppgaven vil lønnsomhet av oppgraderingene vurderes med inntjeningsmetoden også kalt tilbakebetalingsmetoden.

#### 2.4.1 Inntjeningsmetoden/tilbakebetalingsmetoden

Bakgrunn for inntjeningsmetoden er nåverdimetoden, hvor alle inn- og utbetalinger blir tilbakeført til et gitt tidspunkt, vanligvis investeringstidspunktet. Alle tidligere og fremtidige kapitalverdier blir diskontert til dagens nivå. Formel for nåverdi er gitt som

$$NV = B \frac{1 - (1 + r)^{-N}}{r} + S(1 + r)^{-N} - I$$

Hvor

NV er nåverdien

B er fortjeneste, besparelse eller avkastning

r er kalkulasjonsrenten

N er levetid, økonomisk eller fysisk

S er restverdi, utraneringsverdi

I er investeringen

Inntjeningstiden,  $N_0$ , er den tiden som gjør nåverdisummen av fremtidige inntekter like stor som investeringskostnadene. Det vil si at vi setter nåverdien, NV, lik null, som gir følgende formel:

$$N_0 = \frac{\ln \left[ \left( 1 - \frac{I}{B} r \right)^{-1} \right]}{\ln(1 + r)}$$

Lav tilbakebetalingstid er positivt, da man raskt vil ha tjen inn investeringen. (Novakovic et al., 2007)

### **3. Metode**

Metode for del 1 er en litteraturstudie, hvor sentral litteratur forbundet med energioppgradering av murbygninger er gjennomgått. Vurdering av case-bygget i del 2 gjøres med bakgrunn i energiberegninger og en forenklet økonomisk vurdering

#### **3.1 Litteraturstudie**

En stor del av denne masteroppgaven er basert på et omfattende litteraturstudie. Søk etter litteratur er hovedsakelig gjort i Bibsys Asks database, i Google scholar, i Elsevier og i SINTEF Byggforsk sin database. Undersøkt litteratur spenner seg fra forskningsartikler til projektrapporter, men ikke all litteratur er gjengitt i oppgaven.

Formålet med litteraturstudiet har vært å finne informasjon om energioppgradering av eldre murbygninger i kaldt klima, eller annen litteratur som er relevant, men ikke direkte knyttet til slike bygninger. Hvilke tiltak som kan gjennomføres, for hvilket som helst oppgraderingsprosjekt, vil være avhengig av byggets konstruktive utforming og begrensninger dette gir. En undersøkelse av oppbygging for eldre murbygninger, i Norge spesielt, er derfor gjennomført. Aktuelle tiltak og tiltakspakker er avdekket ved å undersøke gjennomførte prosjekter i Norge og Europa, samt ved undersøkelse av annen, hovedsakelig norsk faglitteratur som byggforskdatablader.

#### **3.2 Casestudie**

Del 2 av oppgaven består av en casestudie. En casestudie er en studie av én enhet og formålet med metoden er, som oftest, å kaste lys over en hel gruppe fenomener ut fra en inngående undersøkelse av det ene tilfellet. En fordel med metoden er at man kan undersøke en enhet i dybden, og dermed oppnå mer detaljer informasjon om denne enheten. En av svakhetene med metoden er at man ikke nødvendigvis har funnet en case som er representativt for det man ønsker å undersøke, og dermed ikke kan trekke generelle slutninger. (Wähle og Sterri, 2014).

En casestudie ble valgt for å knytte sammen de teoretiske prinsippene som ble funnet i litteraturstudiet og praktiske implikasjoner. Før arbeidet ble igangsatt ble både casestudie på et eksisterende byggverk og en «tenkt» situasjon vurdert, men valget falt på et eksisterende bygg som ble foreslått av samarbeidspartner HENT AS. Resultater fra vurderinger av dette bygget vil ikke nødvendigvis kunne generaliseres for å gjelde alle eldre murbygninger, men enkelte slutninger kan dras.

Casebygningens energibehov er vurdert både for eksisterende tilstand, tre ulike tiltakspakker og en vurdering av individuelle tiltak for en av tiltakspakkene. Valg av tiltakspakker og enkelttiltak ble gjort med bakgrunn i gjennomført litteraturstudie, samt begrensninger gitt av bygget. For både det eksisterende bygget og tiltakspakkene er det gjort energivurderinger med programmet SIMIEN, samt en utregning av normalisert kuldebroverdi i THERM, i tillegg er det utført en forenklet lønnsomhetsberegning.

I forbindelse med arbeidet med case-bygget har det vært ønskelig å finne flere tegninger utover det som ble gitt av HENT AS i forbindelse med deres arbeid i bygget. I den forbindelse har Statsarkivet på Dora vært besøkt, i tillegg har Morten Uv ved St. Olavs hospitals driftsavdeling vært behjelpelig med både utlån av litteratur og tegninger. Det har ikke lyktes å finne tegninger fra byggeår, men man har fått tilgang til en data-modell av bygget som var utarbeidet av PKS Arkitekter i forbindelse med oppgraderingen av bygget.

### **3.3 Energiberegninger**

Energiberegninger i oppgaven er gjort ved bruk av programmet SIMIEN. Det er et beregningsprogram som simulerer tilstanden i bygninger for «[...] evaluering mot byggeforskrifter, energimerking, beregning av energibehov, validering av inneklima og dimensjonering av oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling» (Programbyggerne). Det er også mulig å kjøre evaluering mot lavenergi- eller passivhusstandard. Simulering kan kjøres for sommerforhold, vinterforhold og årssimulering. Programmet er bygd på dynamisk beregningsmetode gitt i NS 3031: 2014 *Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data* (Standard Norge, 2014), og er validert mot NS-EN 15265:2007 (Standard Norge, 2007a).

Simuleringer utføres med hensyn til blant annet klimafaktorer, internlaster, og varmelagring og varmeavgivelse fra bygningsdeler. Inndata for simuleringer er klimadata, informasjon om bygningens geometri, ventilasjon, oppvarming, kjøling og teknisk utstyr samt U-verdier og lignede for de enkelte bygningsdelene. Programmet lar deg også legge inn tiltak og tiltakspakker for evaluering av redusert energibehov mv.

### **3.4 Kuldebroberegning**

For beregning av kuldebroverdier der det ikke finnes tabulerte verdier er programmet THERM benyttet. THERM er et dataprogram utviklet ved Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), hvor man kan modellere to-dimensjonale varmetransporteffekter i bygningsdeler som vinduer, vegger, konstruksjoner under grunnen, tak og dører hvor effekt av kuldebroer er viktig. (LBNL, 2014)

På grunn av manglende detaljtegninger av bygningsdeler med kuldebroer kan detaljer som er simulert i THERM avvike fra virkelig situasjon. Overganger mellom bygningsdeler er simulert i programmet med bakgrunn i informasjon fra faglitteratur, befaring i bygget og lite detaljerte snitt-tegninger. Vanligvis anslås en usikkerhet på  $\pm 5\%$  (Gustavsen et al., 2008), men avviket kan være større her på grunn av nevnte antakelser.

### **3.5 Økonomi og lønnsomhet**

For tiltakspakkene som er simulert i SIMIEN er det også gjort en forenklet lønnsomhetsvurdering. Det samme er gjort for tiltakspakken hvor effekt av variasjon av enkelttiltak er vurdert. Beregninger av tilbakebetalingstid er gjort med bakgrunn i erfaringstall fra HENT AS Kalkulasjons- og innkjøpsavdeling i Trondheim, og er sterkt forenklet, se kapittel 5.6. Dette er først og fremst gjort for å kunne sammenligne de ulike tiltakspakkene, og gjelder kun dette prosjektet og verdiene kan ikke nødvendigvis overføres til andre prosjekter.

## 4. Del 1 Litteraturstudie

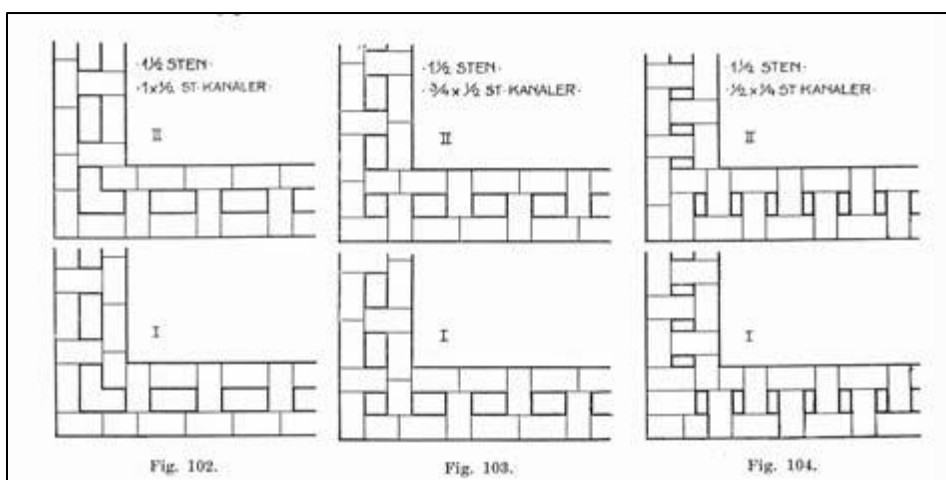
I denne delen av oppgaven presenteres en kartlegging av oppbygging av eldre murbygninger, en beskrivelse av tiltak, samt en presentasjon av andre prosjekter som er gjennomført i Norge og Nord-Europa.

### 4.1 Eldre murbygninger

Norge har siden 1200-tallet hatt egenproduksjon av tegl, men det var først på 1700-tallet at produksjonen ble av noen betydning. Teglsteinsbygg i Norge var lite utbredt før midten av 1800-tallet, da murte bygninger var kostbare. Da murtvang ble innført i byene på grunn av hensyn til brannsikkerhet, førte dette til økt bruk av murmaterialer, som i praksis var tegl. Teglfasadene ble vanligvis pusset utvendig, men noen er også uten puss og da ble det benyttet hardbrent tegl. (Edwardsen, 2013; Grytli, 2004).

Teglkonstruksjoner i Norge ble murt massive frem til 1890, da de etter hvert ble erstattet av hulmurer. Disse massive murveggene var ofte utsatt for frostsprengning på grunn av vannmetting i konstruksjonen, og var svært tunge og arbeidskrevende og oppføre.

Hulmurskonstruksjonene som senere tok over hadde vertikale luftkanaler mellom veggens to vanger, var tettere mot slagregn, hadde bedre varmeisoleringssegenskaper og tørket raskere ut. Det finnes flere varianter av eldre hulmurskonstruksjoner, blant annet Trondheimshulmur, Bergenshulmur og engelsk hulmur, (Figur 2). De gamle veggene har ofte stått seg godt gjennom mange år fordi den ytre vangen har fått varmetilførsel innenfra, noe som bidrar til å drive fuktigheten ut av veggen. Hulmurskonstruksjonene ble senere erstattet av skallmurskonstruksjoner. (Edwardsen, 2013; SNL, 2009; Svendsen og Boysen, 1976; Vesterlid, 1985)



Figur 2 Hulmurskonstruksjoner. Kilde: Bugge (1918)

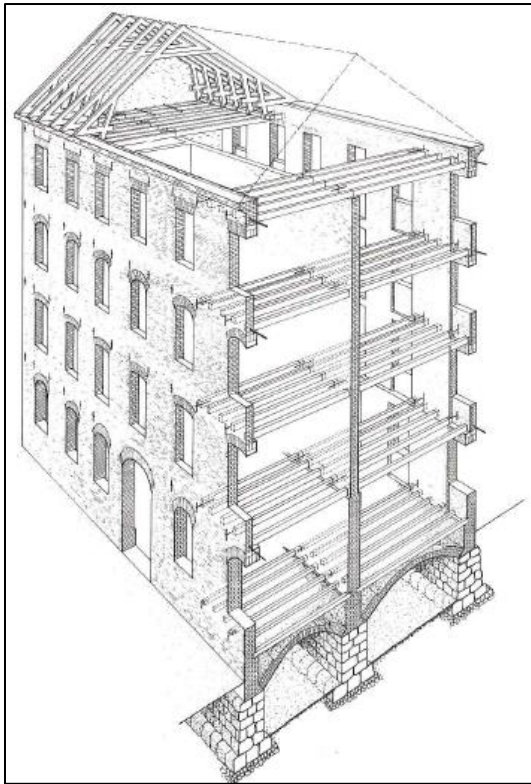
Kjennetegn ved eldre murgårder frem til 1950 er at det er forholdsvis tunge bygninger som krever et solid fundament. På 1900-tallet ble det etter hvert vanlig å ha armert grunnsåle med støpt gulv på grunnen og betong i kjellermurene. Teglgårdene hadde uisolerte bærende yttervegger i tegl, murt med kalkmørtel og var som oftest pusset utvendig med kalkpuss. Veggtykkelsen i slike bygg vil variere med høyde, typisk 2-steins tykkelse i de to nederste etasjene, og 1,5-steins i de to øverste (Tabell 1). Enkelte bygg var murt med samme tykkelse i alle etasjer. (Edwardsen, 2013; Riksantikvaren, 2012a)

**Tabell 1** Typiske veggtykkelser i antall steiner. Kilde: Edwardsen (2013)

Etasje	Bærende frontvegger		Bærende innvendige vegger
	$l \leq 7$ m	$l > 7$ m	
Øverste etasje	1-1 1/2	1 1/2	1-1 1/2
Andre ovenfra	1 1/2	2	1 1/2-2
Tredje ovenfra	2	2 1/2	2
Fjerde ovenfra	2	3	2 1/2
Femte ovenfra	2 1/2		

Vinduene var enten enkelt vanlig glass i ramme, to vanlige glass i koblet vindu, eller vindu med vareramme med to glass. (Edwardsen, 2004)

Etasjeskillere besto av trebjelkelag, som hvilte på front- eller bakfasaden og innvendige bærevegger frem til tidlig 1900-tall. Stubbeloftet ble vanligvis fylt med stubbeloftsleire, og bjelkeendene lå ut i veggen. Senere ble også etasjeskillerne helt eller delvis oppført i betong. Taket ble som regel utført som sperretak med hanebjelke og knebukkløsning med murgesims. Senere ble takkonstruksjonene utført spinklere, ofte også uten knevegg noe som førte til mindre volum i loftsetasjen. (Riksantikvaren, 2012a). Konstruksjonssnitt for bygård i tegl med trebjelkelag er vist i Figur 3.



**Figur 3** Konstruksjonssnitt murgård. Kilde: Sandaker (1986)

Ved energioppgraderinger er det flere momenter man bør være klar over med hensyn på blant annet materialbruk, fukt, varmeisolering, tetthet og ventilering. Moderne bygningsmaterialer har andre egenskaper enn tradisjonelle materialer, og er oftere tettere. Dette kan føre til at uttørking går saktere eller hindres, og i kombinasjon med økt innvendig fuktbelastning kan dette få negative konsekvenser for uttørking. I murbygninger er det viktig at den utvendige overflaten er diffusjonsåpen, slik at fuktighet kan tørke ut utover. Dette er spesielt av betydning for hindre oppfukning av bjelkeender. (Riksantikvaren, 2012a)

Dersom overflaten er pusset kan bruk av sterkere materialer enn opprinnelig ha uheldig effekt, med for eksempel sprekker, noe som øker faren for frostskafer ved at vann lettere kan trenge inn i veggen. Andre inngrep i konstruksjonen, som tillaging av åpninger kan svekke konstruksjonen. (Riksantikvaren, 2012a). Slike problemstillinger tas det ikke videre stilling til i oppgaven.

Eldre bygninger har vanligvis naturlig ventilasjon, med oppdrift og vind som drivkraft. Naturlig ventilasjon i bygninger fungerer ved at frisk luft trekkes inn gjennom utettheter og ventiler, og varm luft stiger opp. Tetthet vil variere fra bygg til bygg, og derav også i hvilken grad bygget ventileres. Ved denne typen ventilasjon bruker man, i motsetning til mekanisk ventilering, ikke energi til drift av vifter og varmevekslere. (Novakovic et al., 2007)



U-verdien varierer med teglsteinens densitet og veggens tykkelse (Tabell 2). Høy densitet gir høyere U-verdi, mens stor veggtykkelse gir lavere U-verdi.

**Tabell 2 U-verdier for eldre murvegger. Kilde: Edvardsen (2013)**

Mur-type	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Veggtykkelse (stein)							
		½	1	1 ¼	1 ½	1 ¾	2 <sup>1)</sup>	2 ¼	2 ½
Massiv mur	1 200	2,2	1,3		1,0		0,7		
	1 600	2,8	1,8		1,3		1,1		
	2 000	3,1	2,1		1,6		1,3		
Bergens- hulmur	1 200				1,1		0,9 (0,8)		
	1 600				1,4		1,2 (1,1)		
	2 000				1,6		1,4 (1,3)		
Trond- hjems- hulmur	1 200					0,8		0,7	0,6 <sup>2)</sup>
	1 600					1,1		0,9	0,8 <sup>2)</sup>
	2 000					1,3		1,0	0,9 <sup>2)</sup>
Engelsk hulmur	1 200			1,1					
	1 600			1,4					
	2 000			1,6					

<sup>1)</sup> Verdiene i parentes gjelder for bergenshulmur med 1-steins vanger

<sup>2)</sup> To hulromsrader

## **4.2 Beskrivelse av enkelttiltak**

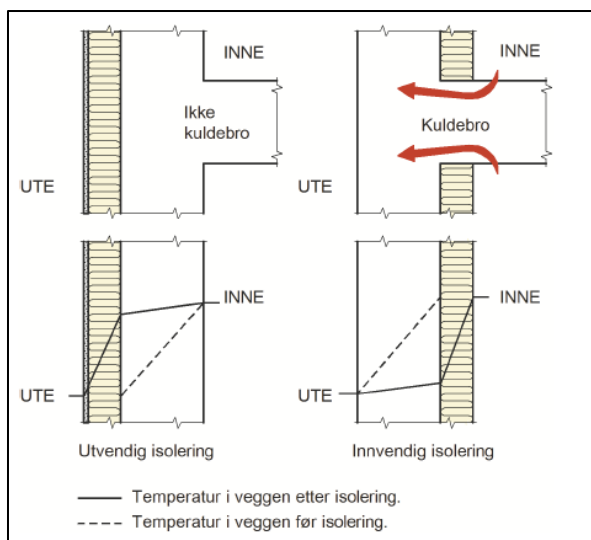
De ulike tiltakene som presenteres i dette kapitlet vil ikke nødvendigvis kunne gjennomføres i alle prosjekter, heller ikke her, men er tatt med for at oppgaven skal kunne brukes for ulike murbygninger. Enkelttiltakene som presenteres omhandler i hovedsak etterisolering, utskiftning av vinduer og dører, tettetilak, samt utskiftning eller installasjon av ventilasjonsanlegg.

Før man setter i gang med en energioppgradering vil det ofte være behov for å gjennomføre en tilstandsanalyse for å kartlegge begrensninger og behov. Ved en tilstandsanalyse legges hovedvekt på tekniske forhold, men den kan også inkludere miljø, funksjonalitet, estetikk, energibruk og verneverdighet. Tilstandsanalyse utføres etter (Standard Norge, 2012c) eller (Standard Norge, 2012a) for fredete eller verneverdige bygninger. Ved en tilstandsanalyse registreres avvik fra et valgt referansenivå, for eksempel TEK 10. Funn i en slik tilstandsanalyse kan påvirke valg av tiltak. (Mellegård og Svensson, 2014)

### **4.2.1 Etterisolering av yttervegg**

Ved energioppgradering etterisoleres ofte yttervegg utvendig eller innvendig. Murvegger uten isolasjon vil ha en viss varmeisolerende evne, men også et vesentlig varmetap. Det vil si at en eldre murvegg vil ha et visst varmetap utover i veggen, noe som er med på å varme opp konstruksjonen og bidra til uttørking. Denne oppvarmingen og uttørkingen fører til at man i stor grad unngår frostskaider på teglstein, og bjelkeender som ligger inne i konstruksjonen vil holde seg tørre og dermed unngår man problemer som råte. Ved etterisolering vil disse forholdene endre seg fordi temperatur- og fuktbalanse endres, og det kan oppstå problemer. (Blom og Bøhlerengen, 2014; Riksantikvaren, 2012a).

Etterisolering utvendig vil ha en positiv effekt på kuldebroer og temperaturen i konstruksjonen (Figur 4), mens innvendig etterisolering fører til at kuldebroene blir større.



**Figur 4 Effekter på temperaturvariasjonen av utvendig og innvendig etterisolering. Kilde: Blom og Bøhlerengen (2014)**

### ***Utvendig etterisolering av yttervegg***

En av fordelene med utvendig etterisolering er at det muliggjør kontinuerlig isolering av ytterveggen, det vil si at isolasjonen går kontinuerlig forbi etasjeskillere og innervegger, noe som vil eliminere kuldebroer i konstruksjonen. Når ytterveggen etterisoleres utvendig vil temperaturen i konstruksjonen bli høyere og dermed konstruksjonen blir også tørrere, noe som er gunstig med tanke på fuktopptak og uttørkingsevne, og Grytli (2004) hevder at utvendig etterisolering er derfor mindre risikabelt med hensyn på utvikling av byggeskader. (Blom, 2014; Grytli, 2004; Hole et al., 2011)

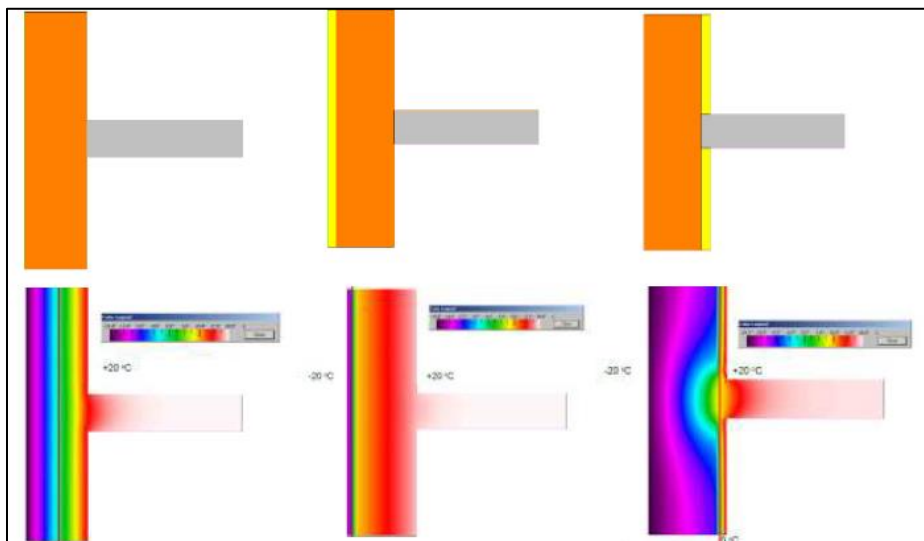
En av ulempene med utvendig etterisolering er at det medfører store endringer på fasadens utforming og uttrykk. Forholdet mellom yttervegg og takutstikk, og plassering av vinduer vil bli endret, noe som kan være uheldig. Hvis bygningen har vernestatus i henhold til Plan- og Bygningsloven, vil utvendig isolering som endrer bygningens utseende kunne være i strid med loven. I enkelte tilfeller er ikke alle fasadene vernet, og her vil utvendig isolering av ikke-vernede deler, som for eksempel bakgårdsfasader, være mulig. (Grytli, 2004; Simonsen et al., 2013)

For å unngå at fasadeuttrykket blir vesentlig endret bør vinduene flyttes lengre ut i vegglivet, noe som også er fordelaktig for å redusere kuldebro mellom vindu og yttervegg. Dersom vinduene ikke flyttes ut i konstruksjonen vil kuldebroeffekten ved vinduskarmene bli større. (Hole et al., 2011; Svensson et al., 2011)

### ***Innvendig etterisolering av yttervegg***

Innvendig etterisolering er et annet tiltak som er aktuelt i forbindelse med energioppgraderinger. Helt andre hensyn må tas enn ved utvendig etterisolering, og innvendig etterisolering anses ofte som mer krevende. En av fordelene med innvendig etterisolering er at det ikke kommer i konflikt med vernehensyn på fasader, og er ansett som mindre problematisk ut fra et rent vernehensyn, da fasaden vil bevare sitt opprinnelige uttrykk. Et av problemene med innvendig etterisolering er at det medfører en reduksjon i gulvareal, noe som kan bli svært betydelig ved store isolasjonstykkelser. På grunn av problemer knyttet til fukt og varmetransporter er det anbefalt å kun utføre innvendig etterisolering i begrenset tykkelse. (Grytli, 2004; Munch, 2012; Simonsen et al., 2013).

Når etterisolering skjer på varm side av konstruksjonen vil temperaturen i de delene som ligger utenfor isolasjonen reduseres, noe som kan føre til problemer blant annet med uttørking. Blumberga et al. (2013) har illustrert hvordan temperaturen i en yttervegg er før etterisolering og ved ut- og innvendig etterisolering (Figur 5). I det simulerte tilfellet er innnetemperaturen +20 °C og utetemperaturen -20 °C. Ved innvendig isolering kan man se at temperaturen i konstruksjonen er vesentlig lavere og kan komme ned i temperaturer under 0 °C, noe som kan føre til at vann fyser og forårsaker skader på veggen. Ved innvendig etterisolering vil temperaturen på overflatene som ligger inn mot rommet heves (Figur 5), noe som vil føre til en forbedring av innklimaet, samtidig som det muliggjør plassering av møblelement nært veggen. (Blumberga et al., 2013; Grytli, 2004; Morelli et al., 2012; Tommerup, 2010)

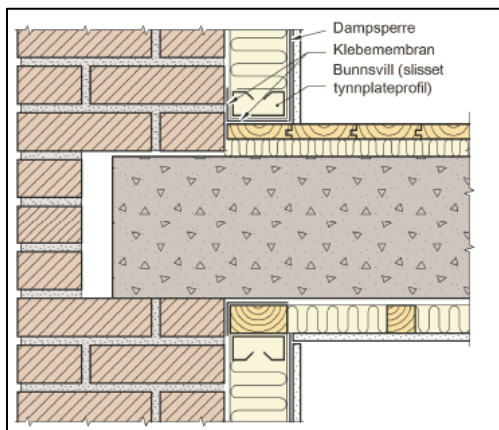


**Figur 5** Temperaturfordeling i teglvegg for uisolert vegg (a), utvendig etterisolert vegg (b) og innvendig etterisolert vegg (c). Kilde: Blumberga et al. (2013)

Innvendig etterisolering kan også øke faren for utvikling av råteskader der gulvbjelker er murt inn i ytterveggen, i takfoten og andre steder hvor treverk er i direkte kontakt med murverket. Ved etterisolering innvendig er det derfor spesielt viktig at damptetthet i indre veggsjikt er ivarett slik at kondensskader unngås. (Grytli, 2004).

Innvendig etterisolering vil medføre større kuldebroer ved for eksempel etasjeskillere og der tunge innervegger møter yttervegg. Dette er fordi differansen mellom isolert og uisolert del er større etter den innvendige etterisoleringen, i motsetning til ved utvendig etterisolering.

Dersom man har etasjeskillere av betong kan denne utgjøre en massiv kuldebro, og for å redusere varmetapet kan man dersom det er mulig isolere på under- og oversiden av etasjeskilleren med 20-30 mm isolasjon (Figur 6). (Blom og Bøhlerengen, 2014; Tommerup, 2010).



**Figur 6** Tilstlutning til betongdekke i teglvegg med innvendig påføring med isolasjon. Kilde: Blom og Bøhlerengen (2014)

Ved innvendig etterisolering er det viktig at veggen er tørr før isolasjon monteres slik at fuktighet ikke stenges inne. For å redusere risiko for kondensering på grunn av fuktig inneluft kan et damp- og lufttett sjikt monteres. Dersom veggen har god uttørkingsevne utover og påføring benyttes kan en dampsperre monteres på innsiden. Dampsperran festes langs topp- og bunnsvill, og føres kontinuerlig over vindusåpningene og tilskjæres først når kledning, lister og foringer monteres. Det er viktig at dampsperra klemmes godt mot tilliggende konstruksjoner og at skjøter er tilstrekkelig tette. Dersom det er fare for at veggen kan fuktes opp av slagregn, kan såkalte «intelligente» dampsperrer benyttes. (Blom, 2014; Blom og Bøhlerengen, 2014; Einstabland, 2007; Rasmussen, 2010)

Av bygningsfysiske hensyn bør alt organisk materiale på innsiden av den opprinnelige murveggen fjernes så langt det er mulig før innvendig etterisolering gjennomføres. Det

anbefales også å gjennomføre tilstandsanalyse som kartlegger kritiske deler av konstruksjonen med tanke på risiko for skader som kan oppstå i overgangen mellom trekonstruksjoner i dekket og murvegger. I bygninger med trebjelkelag må tilstand i bjelkeender undersøkes før innvendig etterisoleringstiltak gjennomføres. (Blom og Bøhlerengen, 2014)

En slik tilstandsanalyse bør også undersøke teglsteinskvaliteten, for vurdering av om veggen tåler den økte fuktpåkjenningen. Utvendige overflater må være i god stand slik at fukt fra utsiden ikke kan trenge inn i konstruksjonen og at fukt kan tørke ut. Blom (2014) gir en omfattende gjennomgang av hensyn som må tas for å oppnå fuktsikker innvendig etterisolering, noe det ikke går videre inn på i denne oppgaven. Ved vurdering av innvendig etterisolering bør man vurdere om utvikling av bygningsfysiske skader over tid kan gi indirekte tap av kulturhistoriske verdier. (Blom, 2014; Mellegård og Svensson, 2014)

#### **4.2.2 Etterisolering mot kaldt loft**

Eldre betong og murbygninger har som oftest uoppvarmede loftsrom med enten etasjeskillere av tre eller betong, som gir ulike muligheter for etterisolering mot kaldt loft. Betongdekker i slike bygg har som oftest oppforet tregulv, med eventuelt fyll i hulrom. Ved etterisolering av etasjeskiller mot kaldt loft vil man kunne få problemer med kondens på grunn av at temperaturen i loftsrommet senkes, og spesielt ved luftlekkasjer opp i takkonstruksjonen fra inneluft. For å redusere faren for kondens bør man sørge for at loftsrommet er godt nok luftet. Det reduserte varmetapet vil samtidig redusere faren for snøsmelting og isdannelse på taket. (Novakovic et al., 2007; Uvsløkk, 2005). Ved etterisolering kan man i utgangspunktet gjennomføre en av tre tiltak: etterisolering av etasjeskiller på kald side, varm side eller i hulrom dersom man har trebjelkelag.

Ved etterisolering på kald side vil delene som ligger utenfor isolasjonssjiktet bli kaldere, noe som øker faren for fuktskader i overliggende konstruksjoner. I murgårder hvor etasjeskiller er av tre kan der oppstå problemer med vanninntrenging ved bjelkeender. Det må samtidig vurderes om himlingen er luft- og damptett nok for å hindre inntrenging av varm luft til konstruksjonen. Ofte anbefales det å utføre hulromsisolering i tillegg for etasjeskillere av trebjelkelag dersom det ikke utføres tetttiltak langs kantene. Ved etterisolering av betongdekker er det aktuelt å fjerne eksisterende oppføring/tilfarergulv og lage en ny oppføring med isolasjon og nytt gulv. (Novakovic et al., 2007; Svensson et al., 2011).

Etterisolering av hulrom i etasjeskiller mot kaldt loft anbefales ikke dersom hulrommet har mindre tykkelse enn 50 mm. Dersom hulrommet er fylt med leire vil det være nødvendig å

fjerne leiren for så å erstatte med mineralull, som har en lavere varmeledningsevne enn leiren. For å redusere fare for sirkulasjon og gjennomblåsing av kald luft bør hulrommet fylles helt opp. (Novakovic et al., 2007; Svensson et al., 2011)

Dersom man velger å etterisolere på varm side av etasjeskiller, vil man tape romhøyde i rommet under, noe som fører til at dette tiltaket ofte velges bort. Ved etterisolering på undersiden vil etasjeskilleren over bli kaldere, og dersom bygget har etasjeskillere av tre må det vurderes hvorvidt den reduserte temperaturen i bjelkeender kan medføre råte. (Svensson et al., 2011)

#### **4.2.3 Etterisolering av etasjeskiller mot uoppvarmet kjeller**

Etterisolering av etasjeskiller mot uoppvarmet kjeller kan gjøres på tre ulike måter: på kald side, i hulrom i gulv eller på varm side. Temperaturforskjell mellom oppvarmede rom og kald kjeller er som regel mindre enn mellom kaldt loft og oppvarmet rom, noe som fører til at lønnsomhet ved isolering mot kjeller er noe dårligere. På grunn av problemer med kalde gulv (komfortproblemer) vil det ofte uansett være nødvendig å isolere mot kald kjeller. Tiltaket er anbefalt, men Grytli (2004) peker på at «etterisolering av gulv mot kalde rom kan føre til oppblomstring av sopp- og råteskader i rommene under», og at etablering av tilstrekkelig ventilasjon er av avgjørende betydning. Dersom bygget ikke har kald kjeller vil ikke de følgende tiltakene være aktuelle. (Grytli, 2004; Novakovic et al., 2007; Svensson et al., 2011)

Etterisolering av etasjeskiller fra undersiden vil redusere takhøyde i kjeller, men vil være av mindre betydning dersom kjeller ikke er i bruk. Isolering med nedforing vil føre til at temperatur på undersiden av bjelkene (ved trebjelkelag) blir høyere, noe som reduserer faren for fuktskader, og samtidig blir det enklere å montere vindsperre. Ved etterisolering på kald side er det viktig at man sikrer tetthet mellom yttervegg og etasjeskiller, slik at man unngår trekk. (Grytli, 2004; Novakovic et al., 2007; Svensson et al., 2011)

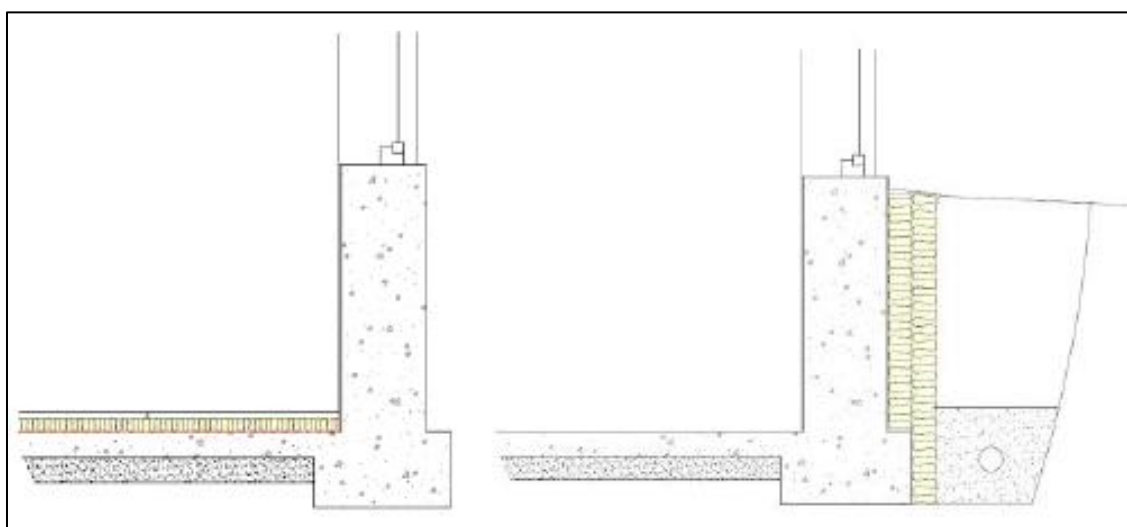
Etterisolering av hulrom er ikke ansett som et godt alternativ dersom hulrommet er mindre enn 50 mm høyt. Ved å gjennomføre et slikt tiltak vil man kun etterisolere mellom bjelkene ved trebjelkelag. Det vil føre til at bjelkeendene ved ytterveggen får lavere temperatur og kan føre til dannelse av kondens, som igjen kan føre til blant annet soppvekst. (Svensson et al., 2011)

Ved etterisolering av etasjeskiller på varm side vil man få redusert takhøyde i rommet, noe som ikke er ønskelig. Tiltaket kan derimot være aktuelt dersom gulvet uansett skal rettes opp

eller forsterkes, og romhøyden tillater det. Når man etterisolerer på varm side vil temperaturen i den opprinnelige konstruksjonen senkes, noe som kan føre til kondensdannelse og fuktskade i trebjelkelag. Tiltaket kan kombineres med isolering på kald side eller i hulrom, men bygningsfysiske aspekter bør da undersøkes nærmere. (Svensson et al., 2011)

#### 4.2.4 Etterisolering av konstruksjoner i kjeller

Etterisolering av vegg og gulv i kjeller er et tiltak som primært er aktuelt der man har oppvarmet kjellerrom. Etterisolering av kjellervegg og –gulv kan utføres både på varm og kald side av konstruksjonen. Etterisolering av gulv på varm side og vegg på kald side er vist i Figur 7. (Tommerup, 2010)



Figur 7 Etterisolering av gulv og vegg i kjeller. Kilde: Tommerup (2010)

#### **Utvendig etterisolering av kjellervegg**

Utvendig etterisolering av kjellervegg vil minske faren for fuktproblemer da kjellerveggen blir varmere og fordamping til kjelleren økes slik at veggen blir tørrere. En av fordelene er at man vil unngå kuldebroer ved innvendige kjellervegger, samt at fukttetting kan gjennomføres for utvendig overflate. Dette tiltaket bør kun vurderes dersom terrenget rundt bygget uansett skal graves opp i forbindelse med andre tiltak, som for eksempel utbedring av drenering, da flytting av masser er kostbart. Svensson et al. (2011) hevder at «Tiltaket har ikke stor betydning for energibehovet av bygningen, men forbedrer fuktforhold og innklimaet i kjelleren og dermed reduseres risikoen for fremtidige bygningsfysiske problemer». (Svensson et al., 2011; Tommerup, 2010)



### ***Innvendig etterisolering av kjellervegg***

Innvendig etterisolering av kjellervegger i eldre bygninger er ikke å anbefale på grunn av fuktpåvirkning utenfra og nedenfra. Helst bør isolasjon for plasstøpte betongvegger plasseres på utsiden av veggen, men innvendig etterisolering kan gjøres dersom bindingsverket trekkes ut fra veggen. Hulrommet mellom bakvegg og bindingsverk kan isoleres med mineralull eller ekspandert polystyren (EPS). Minst halvparten av isolasjonen anbefales å plasseres utvendig, noe som ofte gjør innvendig etterisolering uaktuelt. (Blom, 2009; Svensson et al., 2011; Tommerup, 2010).

### ***Etterisolering av gulv i kjeller***

Besparelsen som oppnås ved å etterisolere gulv i kjeller vil være begrenset, blant annet fordi varmetap mot grunnen ikke er like stort som mot det fri og at isolasjonstykkelsen vil begrenses av etasjehøyde i kjeller.

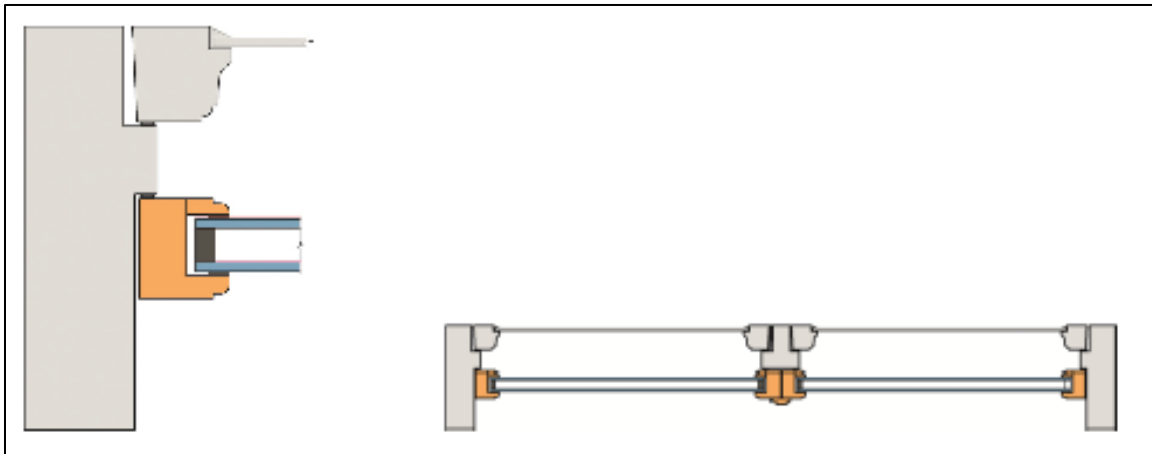
Etterisolering av gulv i kjeller kan i tillegg til energibesparelser gi bedre termisk komfort ved at gulvet vil oppleves varmere. Besparelsen som oppnås ved å etterisolere gulv i kjeller vil være begrenset, blant annet fordi varmetap mot grunnen ikke er like stort som mot det fri og at isolasjonstykkelsen vil begrenses av etasjehøyde i kjeller. Det anbefales ikke å etterisolere med mer enn 50 mm over betongplaten dersom det ikke er isolert på undersiden. Tiltaket er ansett for å være forholdsvis kostbart og med en beskjeden energibesparelse. (Tommerup, 2010). I denne rapporten er ikke etterisolering av gulv i kjeller fra kald side presentert da dette ville medført store kostnader, og anses som et urealistisk tiltak.

#### **4.2.5 Tiltak for vinduer**

Mellegård og Svensson (2014) hevder at «Vinduer er den bygningsdel som oftest har de dårligste opprinnelige U-verdiene, og har dermed stort energieffektiviseringspotensiale.». Det vil si at tiltak for å forbedre U-verdi for vinduer i eksisterende bygninger kan ha stor effekt på det totale energiforbruket i bygget. Å bytte til vinduer med bedre energiytelse vil også føre til høyere innvendig overflatetemperatur, noe som vil bedre komforten og redusere fare for innvendig kondens og kaldras. God innsetting av vinduer kan redusere trekk, og dersom man flytter vinduene inn i konstruksjonen kan en lavere kuldebroverdi oppnås. (Mellegård og Svensson, 2014; Skeie et al., 2014).

På den annen side kan tiltak for å forbedre vinduers energiytelse komme i konflikt med vernehensyn på fasaden, og for eksempel kan utskiftning av vinduer eller endret posisjon for vindu i veggen endre det arkitektoniske uttrykket for bygget. I enkelte

oppgraderingsprosjekter er originalvinduene beholdt for å bevare det arkitektoniske uttrykket. Dersom utskifting av eksisterende vinduer ikke er mulig på grunn av vernehensyn er et alternativ å montere en innvendig vareramme med gode isoleringsegenskaper innenfor det eksisterende vinduet (Figur 8). (Homb og Uvsløkk, 2012; Mellegård og Svensson, 2014; Simonsen et al., 2013; Skeie et al., 2014). Dette vil føre til at den totale energiytelsen for vinduet blir god.



Figur 8 Montering av vareramme innenfor eksisterende vindu. Kilde: Homb og Uvsløkk (2012)

Et annet alternativ til utskifting er å bare skifte ut glasset i det eksisterende vinduet med et høyisolerglass og beholde karm og ramme, Blom og Bøhlerengen (2014) hevder at det «ved utvendig etterisolering er [...] en fordel om man kan skifte vinduene samtidig. Slik får man bedre varmeisolering, og man kan plassere vinduene lenger ut i vegglivet og dermed beholde fasadeutseendet». (Blom og Bøhlerengen, 2014; Mellegård og Svensson, 2014)

Rønby et al. (2011) argumenterer for at det er viktig ikke kun å ha fokus på U-verdi, men også daglys-transmittans uansett om man velger utskiftning eller fornyelse, for å optimalisere lys i og utsikt fra boligen. Dette ses det ikke videre på i denne oppgaven, men kan være et viktig fokus ved oppgraderingsprosjekter.

#### 4.2.6 Tiltak for dører

I likhet med for vinduer er det også vanlig med vernekrav på dører, og dører med spesiell utforming er ansett som spesielt bevaringsverdige. Ved å bytte ytterdører til dører med for eksempel passivhus-egenskaper vil man oppnå vesentlig bedre varmekomfort og energisparing. Effekten av å bytte dører vil ikke ha like stor effekt som utskifting eller forbedring av vinduer, da dører totalt sett er en vesentlig mindre del av fasaden. Som for vinduer vil det ofte oppleves trekk fra ytterdører, noe som kan skyldes utettheter mellom vegg

og dørkarm. Trekk fra dører kan også skyldes utettheter og mellom karm og dørblad, noe som bør utbedres ved en energioppgradering. (Grytli, 2004; Kjølle et al., 2013).

#### 4.2.7 Tetting

Luftlekkasjer kan som nevnt tidligere ha stor betydning for bygningers varmetap. Ved gjennomføring av ulike andre tiltak knyttet til bygningskroppen er det derfor viktig å også ha fokus på tetting og eventuell fjerning av luftlekkasjer. Dersom en bygning har store luftlekkasjer med relativt høy lufthastighet vil dette oppleves som trekk, noe som reduserer termisk komfort i bygget. (Grytli, 2004; Svensson et al., 2011).

Tiltak som etterisolering og utskifting av dører og vinduer eller innsetting av varevindu vil gi bedre lufttetthet. Ved utvendig etterisolering av ytterveggen vil lufttettheten forbedres mer enn ved innvendig etterisolering, fordi tettesjikt kan føres kontinuerlig forbi etasjeskillere og lignende (Hole et al., 2011). Utettheter vil være knyttet til ulike deler av bygget (Tabell 3).

Tabell 3 Utettheter i eldre bygninger

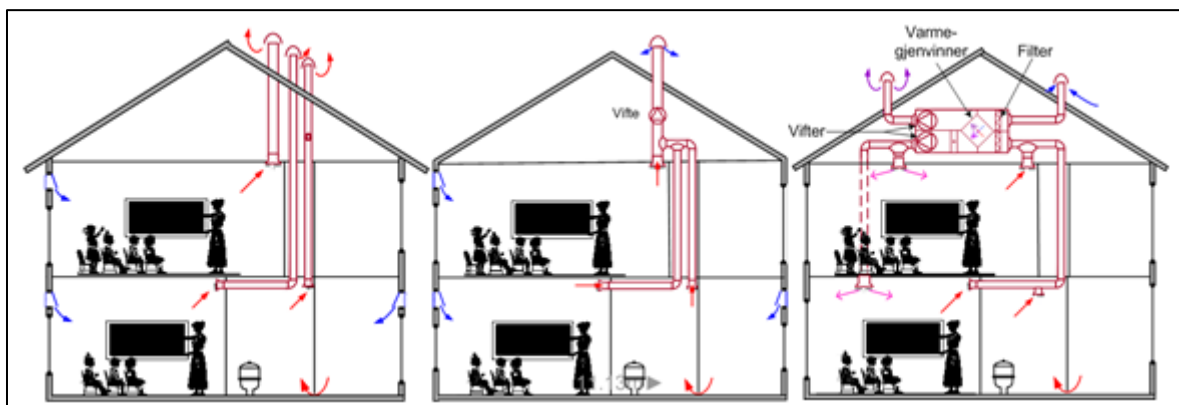
Bygningsdel	Problem
Vinduer	Utettheter mellom vegg og vinduskarm, og mellom karm og vindusrammer
Ytterdører	Utettheter mellom vegg og dørkarm, og mellom karm og dørblad
Bjelkelag/vegg Grunnmur/vegg	Utettheter i overgang mellom disse konstruksjonene.

For å redusere trekk ved vinduer, dører og langs golv og tak, kan lister demonteres og mineralull dyttes mellom veggkonstruksjon og karm. Tetthet mellom vinduskarm og rammer og i dører kan utbedres ved å montere tettelister. Dette gjøres enkles ved å de- og remontere vindu/dør. (Grytli, 2004; Svensson et al., 2011).

Dersom bygningens luftskifte tidligere har vært basert på utettheter i klimaskjermen og byggets lufttetthet bedres betraktelig er det viktig at det sikres tilstrekkelig luftskifte. Dette gjøres ofte ved installering av balansert ventilasjonsanlegg. (Tommerup, 2010)

#### 4.2.8 Ventilasjonsanlegg

Eldre bygninger ventileres som oftest ved naturlig ventilasjon (Figur 9), noe som ofte innebærer lavere luftskifte og luftkvalitet. I hvor stor grad bygget ventileres vil da være avhengig av vind, trykkforhold, og temperaturdifferanse mellom inne- og uteluft samt beliggenhet, lufttetthet, geometri og omfang av lufting. Naturlig ventilasjon krever også høyt energiforbruk til oppvarming av utelufta som trekkes inn i bygget, og ved etterisolering og tetting av bygget vil den naturlige ventileringen reduseres. Blumberga et al. (2013) hevder at inneluftkvalitet hvor naturlig ventilasjon benyttes i stor grad er avhengig av luftforurensningen i uteluften, og Simonsen et al. (2013) hevder at dårlig ventilering ofte kan resultere i soppangrep. (Blumberga et al., 2013; Grytli, 2004; Hole et al., 2011; Simonsen et al., 2013)



Figur 9 Prinsipp for naturlig ventilasjon, mekanisk avtrekksventilasjon og mekanisk balansert ventilasjon, med mulighet for varmegjenvinning. Kilde: AktivHMS

Ved energioppgraderinger på eldre bygninger er det vanlig å gjøre tiltak også på ventilasjonsanlegget i bygg hvor det er naturlig ventilasjon. Installering av mekanisk avtrekk og balansert ventilasjon vil gi et jevnt luftskifte i hele bygget, men krever også at bygget er tett for at anlegget skal fungere optimalt. (Hole et al., 2011).

Ved mekanisk ventilasjon brukes elektrisk drevne vifter for å drive luften rundt i bygget, noe som gir mulighet for varmegjenvinning fra avtrekksluften for balansert ventilasjonsanlegg (Figur 9). I motsetning til naturlig ventilasjon er ikke mekanisk ventilering avhengig av uteforholdene for å skape tilstrekkelig luftskifte i bygget. Prinsippet for mekanisk avtrekksventilasjon er at tilluft trekkes inn gjennom åpninger i fasaden, noe som ikke gir mulighet for forvarming og kan føre til problemer med trekk. Varmegjenvinning fra avtrekksluft er ikke mulig da varmen ikke kan overføres til tilluften. Ved bruk av balansert ventilasjon derimot, hvor tilluft trekkes inn gjennom kanaler, vil man kunne gjenvinne varme

fra avtrekkslufta ved å benytte en varmegjenvinner/varmeveksler. (Blumberga et al., 2013; Novakovic et al., 2007).

Morelli et al. (2012) hevder at man kan oppnå en vesentlig energibesparelse ved å installere et ventilasjonssystem med varmegjenvinning fremfor et uten varmegjenvinning, og at dette samtidig vil være med på å øke den termiske komforten i bygningen. De argumenterer videre for at man ved bruk av varmegjenvinner kan unngå behov for store isolasjonstykkelser i yttervegg.

En barriere ved installering av balansert ventilasjonsanlegg i eksisterende bygninger er at installering av kanaler krever mye plass, noe som kan resultere i redusert takhøyde og omfattende innkassing av kanaler, og at det kreves egnet sted for plassering av aggregat (Hole et al., 2011). (Kuusk et al., 2014) hevder at oppgradering av ventilasjonssystemet var det eneste tiltaket som økte de globale kostnadene sammenlignet med original tilstand. Likevel vil Kuusk et al. (2014) anbefale en slik oppgradering da eldre bygninger ofte er underventilert og ved å gjøre tiltaket vil man unngå dårlig inneluftkvalitet som kan påvirke brukernes helse. (Hole et al., 2011; Kuusk et al., 2014)

Dersom det er ulikt behov for mekanisk ventilering av bygget gjennom døgnet og året bør man installere behovsstyring. Svensson et al. (2013) hevder at man kan oppnå så mye som 40 % mindre snittluftmengde ved bruk av behovsstyring. Behovsstyrt ventilasjon vil redusere overventilering ved lav belastning, og sammen med effektivisering av vifter redusere energibehovet. (Mellegård og Svensson, 2014; Rønby et al., 2011; Svensson et al., 2013).

Dersom det allerede finnes et ventilasjonsanlegg i bygget kan gjenbruk av kanalnett kombinert med installering av nye styringskomponenter være svært kostnadseffektivt og miljøvennlig. (Mellegård og Svensson, 2014).

#### **4.2.9 Temperaturstyring**

Et energisparetiltak som er mulig å gjennomføre i eksisterende bygninger er å redusere den gjennomsnittlige innnetemperaturen, slik at differanse mellom inne og utetemperatur reduseres uten at den termiske komforten forringes. Natt- og dagsenking av temperatur fører til reduksjon av innnetemperatur i perioder hvor det er mulig, uten at det går på bekostning av termisk komfort. (Svensson et al., 2011).

I bygninger med tunge konstruksjoner, som for eksempel mur- og betongbygninger, vil disse holde lenger på varmen (på grunn av termisk treghet), og effekt av natt- og dagsenking vil ikke være like stor som i bygg med lettere konstruksjoner. (Riksantikvaren, 2012f).

### **4.3 Andre gjennomførte prosjekter**

I det følgende presenteres gjennomførte prosjekter for energioppgraderinger i Norge og Nord-Europa. Formålet med gjennomgangen er å vise hvordan og hvorfor tiltak og tiltakspakker er valgt i andre prosjekter.

#### ***Energetic Refurbishment of Historic Brick Buildings: Problems and Opportunities (Zagorskas et al., 2013)***

Artikkelen fokuserer på oppgraderingstiltak i historiske teglbygninger i den baltiske regionen, og spesifikk tiltak som er tillat på grunn av vernehensyn. Konflikt mellom utvendig etterisolering og historiske bygninger trekkes frem i artikkelen, men samtidig pekes det på problemer med murbygninger i kaldt klima og innvendig etterisolering på grunn av problemer med fukt og frostsprengning. I artikkelen fokuseres det spesielt på tiltak som forbedrer energieffektiviteten uten å påvirke konstruksjonen. Av slike tiltak nevnes blant annet optimalisering av klimaskjerm, riktig styring av klimaanlegg, utskifting av dører og vinduer og tetttiltak.

Nye isolasjons materialer trekkes frem som en mulig løsning for innvendig etterisolering for å unngå store isolasjonstykkelser. Hvor et 3 mm tykt vakuumpanel tilsvarer samme U-verdi som 150 mm mineralull. Artikkelforfatterne påstår at kun 16 % av det totale varmetapet for murbygninger vil skje gjennom vinduene, fordi murbygninger relativt sett har små vinduer. Varmetap gjennom tak står for 42 %, vegger 35 % og kjeller 7 %.

Prosjektgruppen har utarbeidet en liste med de 15 mest effektive tiltakene ved energioppgradering av historiske murbygninger. De 4 første tiltakene er relatert til klimaskjermen: nye vinduer, etterisolering av skråtak, forbedring av lufttetthet og innvendig etterisolering av yttervegger. Videre på listen er tiltak knyttet til tekniske systemer og ytterligere to tiltak knyttet til klimaskjermen.

#### ***Cost effectiveness of energy performance improvements in Estonian brick apartment buildings (Kuusk et al., 2014)***

I artikkelen studeres energioppgraderingstiltak for leilighetsbygg i Estland med fire referansebygninger. Estland har kaldt klima som Norge, og målsetningen i prosjektet er å oppnå lavt energiforbruk. Felles for referansebyggene er høye U-verdier og utilstrekkelig oppvarming og ventilasjon. Fremgangsmåten for vurdering av tiltak ses også i flere andre prosjekter hvor det først er en simulering og kalibrering av byggene ut fra estimater, beregninger og tegninger før enkelte tiltak og tiltakspakker simuleres. Artikkelforfatterne

finner at det mest effektive individuelle tiltaket er utvendig etterisolering av yttervegger, med størst effekt opp til 200 mm. Etterisolering av tak over 300 mm viste liten effekt, mens utskifting av vindu gir god besparelse. Etterisolering mot kald kjeller ble utført i alle tiltakspakkene for å unngå kalde gulv.

I tillegg til simulering av enkelttiltak er det også gjennomført simulering for tre ulike tiltakspakker: «omfattende renovering», «nybygg» og «lavenergi», hvor det i alle tilfellene installeres balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. Ved tiltakspakken «omfattende renovering» etterisoleres hele bygningskroppen og vinduer skiftes ut. Ved tiltakspakken «nybygg» kreves det en mer omfattende etterisolering av bygningsskallet, nye vinduer med svært lav U-verdi og installasjon av solfangere for oppvarming av tappevann. Tiltakspakken «lavenergibygg» er lik tiltakspakken nybygg bortsett fra at den ikke krever installasjon av solfangere.

I artikkelen viser økonomiske beregninger at den beste energioppgraderingspakken for estlandske leilighetsbygg er en oppgradering til «nybygg»-nivå. Den vanskeligste oppgaven ifølge artikkelforfatterne er oppgradering av ventilasjonsanlegg, som er det eneste tiltaket som øker den globale kostnaden sammenlignet med byggets tilstand før tiltak. Tiltaket anbefales likevel gjennomført av hensyn til inneklima i bygget. Det konkluderes med at etterisolering av fasader er det mest lønnsomme enkelttiltaket, men energioppgraderingspakkene et bedre samlet resultat. Ved å etterisolere bygningskallet, bytte vinduer og oppgradere ventilasjonssystemet med varmegjenvinner så kan nybygg-nivå nås.

***Energy retrofitting of a typical old Danish multi-family building to a “nearly-zero” energy building based on experiences from a test apartment (Morelli et al., 2012)***

Artikkelen omhandler en flermannsbolig i tegl fra 1896 som ønskes oppgradert til nZEB-nivå. Bygget består av kompakt teglmur som er verneverdig, med uisolert tak og trebjelkelag med leirefylling i etasjeskilleren. Bygningen har forholdsvis høye U-verdier, sentralt oppvarmingsanlegg og naturlig ventilasjon.

Energiforbruk i det eksisterende bygget ble kalkulert først, deretter ble individuelle tiltak simulert før disse ble kombinert og evaluert. I dette prosjektet ble tiltakene som ble vurdert som best implementert i en test-leilighet for overvåkning av temperatur og relativ fuktighet i kritiske områder, som overgang mellom vegg og isolasjon og for bjelkeender. Formålet med testingen var en vurdering om det kunne være aktuelt å implementere tiltakene for hele bygget. Tre typer energisparetiltak ble implementert i test-leiligheten: to ulike typer



innvendig isolasjon (Aerowolle og Vacupor NT), flere ulike vindustyper og installasjon av mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning.

De tiltakene som ble vurdert som mest effektivt for klimaskallet var installasjon av nye vinduer, etterisolering av vegger og høy grad av isolering av takkonstruksjonen (350 mm). Ut fra vurdering av de individuelle tiltakene ble 8 tiltak satt sammen til en tiltakspakke som ble foreslått implementert for hele bygget. En av fordelene med moderne isolasjonsmaterialer, som Aerowolle, er at de ikke tar opp like mye plass, noe som er positivt ved innvendig etterisolering. Videre trekkes det frem at installasjon av nye vinduer mindre kostbart enn å renovere eksisterende vinduer.

### ***Energy savings in retrofitted dwelling: economically viable? (Verbeeck og Hens, 2005)***

I artikkelen diskuteres måter for å velge de energisparetiltakene som er mest økonomisk lønnsomme for etterisolering, forbedring av vinduer, tekniske installasjoner og valg av fornybare energikilder. Fem referansebygg ble valgt som representasjon for den belgiske boligmassen, begrenset til eneboliger og terrassehus. Isolasjonstiltak ble simulert for tak, fasade og gulv, med ulik isolasjonstykkelse, samt ulike vindusoppgraderinger.

Tiltak er vurdert i to trinn: Første trinn er tiltak relatert til bygningskroppen, som for eksempel etterisolering og forbedring av vinduer. Andre trinn er å kombinere disse tiltakene med forbedring av oppvarmingssystemer og fornybare energisystemer. Da enkelttiltak på bygningskroppen ble kombinert med tiltak på tekniske anlegg ble fire ulike tiltakspakker satt sammen: to ekstreme nivåer, og to økonomisk interessante nivåer. Dette er en annen måte å sette opp tiltakspakker på enn det man ser i andre artikler.

Det enkelttiltaket som ble vurdert som mest effektivt med hensyn på energibesparelse og økonomi var etterisolering av tak, fordi takflaten er en stor del av bygningskroppen. Etterisolering av fasader og utskifting av vindusrammer ble vurdert som de mest kostbare tiltakene. Utskifting til nye vinduer med svært lav U-verdi ble ansett som et av de mest optimale tiltakene. Etterisolering av gulv ble vurdert som lønnsomt i de fleste tilfeller. Artikkelforfatterne oppsummerer med et hierarki med energisparetiltak, hvor de mest effektive er listet opp først:

1. Etterisolering av tak
2. Etterisolering av gulv, dersom det er lett å komme til
3. Nye vinduer med LE-belegg og luft- eller argonfylt hulrom
4. Mer energieffektive oppvarmingssystem
5. Fornybare energisystemer

***Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region (Alev et al., 2014)***

Artikkelen analyserer oppgraderingsalternativer for å forbedre energiytelse i historiske landlige bygg i tre land (Estland, Finland og Sverige) i den baltiske regionen (kaldt klima). Tiltakspakker kalkuleres for ulike scenarier for ulike energisparenivåer. Analysen viser at forbedring av servicesystemer har det høyeste energisparepotensialet for bygningene i studien. Det pekes samtidig på et behov for forbedringer på bygningskroppen på grunn av høy varmetap og store luftlekkasjer. Eksempelbyggene i Estland og Finland var trebygninger, mens det i Sverige ble valgt en steinbygning hvor sistnevnte er mest relevant for dette arbeidet.

De tre tiltakspakkene var som følgende:

- Tiltakspakke 1: Fokus på ivaretagelse av verneverdige aspekter ved minst mulig endringer på bygningene utvendig. Først og fremst tiltak som ikke endrer bygningens karakter, som for eksempel etterisolering av tak og etasjeskillere
- Tiltakspakke 2: Konsentrert om forbedring av termisk komfort. Fokus på etterisolering av bygningskroppen og deretter utbedring av tekniske anlegg.
- Tiltakspakke 3: Først forbedring av tekniske anlegg, deretter forbedringer av bygningsdeler

Simuleringer for tiltakspakker er gjort for 3 ulike energisparenivåer for reduksjon av årlig energiforbruk, nivå 1 tilsvarer reduksjon på 20 %, nivå 2 tilsvarer reduksjon på 60 % og nivå 3 tilsvarer reduksjon på 80 % (ikke mulig å oppnå for steinhuset).

Resultatene viser at etterisolering av yttervegg har det største individuelle energisparepotensialet, hvor lufttetting bør utføres samtidig. Dette skyldes blant annet den relativt høye opprinnelige U-verdien og at ytterveggene relativt sett er en stor del av bygningskroppen.

Selv om alle tiltak ikke alltid vil være økonomisk lønnsomme mener artikkelforfatterne at det likevel kan forsvares fordi økning i termisk komfort bør være viktigere for beboeren enn investeringskostnadene for tiltaket. Både inneklima og termisk komfort vil bli vesentlig forbedret ved installasjon av mekanisk ventilasjon, etterisolering og reduksjon av trekk.

***Holistic energy retrofitting of multi-story building to low energy level (Morelli et al., 2011)***

Artikkelen beskriver en holistisk energioppgradering av en fleretasjes teglbygning fra 1930 med bevaringsverdige fasader. Da fasadene er bevaringsverdige er det gjennomført innvendig etterisolering, men i begrenset tykkelse på grunn av at reduksjon i gulvareal ikke er ønskelig. Ulike enkelttiltak som for eksempel vinduer og etterisolering av yttervegger er vurdert med hensyn til energisparing og økonomi. De enkelttiltakene som etter vurdering er ansett å yte best er satt sammen til en tiltakspakke som kalles «holistisk oppgradering» (Tabell 4). De simulerte enkelttiltakene er innvendig etterisolering av fasader med ulik isolasjonstykkelse, ulike vindusløsninger, ulike isolasjonsmaterialer for å redusere kuldebro ved vinduer, samt installasjon av mekanisk ventilasjon.

**Tabell 4 Tiltakspakke for holistisk oppgradering**

<b>Tiltakspakke for holistisk tilnærming</b>
200 mm innvendig etterisolering av yttervegg
Etterisolering av brystning
300 etterisolering av loftsgulv
Etterisolering av etasjeskiller mot kjeller
Nye trelags vinduer
Behovskontrollert ventilasjon med varmegjenvinning

Beregningene i rapporten viser at det er mulig å oppnå store besparelser ved å gjennomføre en holistisk energioppgradering, men ved vurdering av økonomiske aspekter ser man at en slik holistisk oppgradering til et svært lavt energibehov ikke er kostnadseffektivt. Derimot er flere av enkelttiltakene kostnadseffektive.

### ***Refurbishment of residential buildings: a design approach to energy-efficiency upgrades (Konstantinou og Knaack, 2011)***

Denne artikkelen diskuterer en tilnærming til oppgraderingsprosjekter som kan benyttes for flere ulike typer bygninger, ikke begrenset til murbygninger. Alternativer til tiltak er systematisert i ulike kategorier som sammen skaper en verktøykasse («toolbox»).

Sammensetting av ulike tiltak, eller «verktøy» om du vil, skaper en strategi for energioppgradering, en tiltakspakke. Det er med andre ord ikke presentert predefinerte tiltakspakker, men en tiltaksmatrise som skal støtte beslutningstakingsprosessen og resulterer i en integrert strategi som skal forbedre energiytelsen i bygget. Det er samtidig presentert en kvantifisering av reduksjon i energibehov som hvert enkelt tiltak vil representere, noe som skal hjelpe i beslutningstaking, men det legges ikke vekt på synergieffekter og samvirkning mellom tiltak, noe som i realiteten kan være vesentlig.

### ***Comprehensive investigation on energy retrofits in eleven multi-family buildings in Sweden (Liu et al., 2014)***

Målsetningen med prosjektet er å finne energisparepotensialet i flerfamilieboliger i Gävleregionen i Sverige. Målinger og simuleringer er gjennomført for 11 ulike bygg, hvor en av disse bygningene er et teglbygg fra 1899. Det presenteres flere ulike tiltakspakker og gjøres en analyse av lønnsomhet og energibruk av ulike enkelttiltakene og tiltakspakkene. Det er utarbeidet tre ulike tiltakspakker for teglbygningene, hvor innetemperatur senkes med 1 grad i alle tiltakspakkene.

- Tiltakspakke 1: Innvendig etterisolering av yttervegger med 40 mm isolasjon, utskifting av vinduer og installering av nytt ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning
- Tiltakspakke 2: Installasjon av solceller, gjenvinning av spillvann, ny lavenergibelysning med nærværskontroll. Ingen tiltak på klimaskjerm.
- Tiltakspakke 3: Justering av varmesystemene. Ingen tiltak på klimaskjerm.

I denne studien er fokus større på tekniske anlegg enn i de andre prosjektene som gjennomgås, og tiltak velges ut fra andre kriterier. For murbygningen i studien ble kun tiltakspakke 2 og 3 vurdert som økonomisk lønnsomme, men tiltakspakke 1 ga størst energibesparelse, etterfulgt av tiltakspakke 2 og 3.

### ***Upgrading the energy performance of Elmehuset in the old peoples town (Munch, 2012)***

Rapporten omhandler Elmehuset som er en tre-etasjes teglbygning fra 1887 med betongdekker, hvor fasadene er vernet. I rapporten undersøkes enkelttiltak for denne bygningen, hvor fokus er størst på vern og bevaring. Valgte hovedtiltak for bygget var isolasjon av yttervegger og tak. I rapporten pekes det på at utskifting av dører og vinduer kan komme i konflikt med vernehensyn, men at det ofte vil være nødvendig med utskifting på grunn av myndighetskrav. Utskifting av dører og vinduer bidrar også i stor grad til energibesparelsene i bygget og har en positiv effekt på termisk komfort i bygget.

På grunn av råteskader i tak ble dette skiftet ut og isolert med 300 mm isolasjon, og fylte dermed myndighetenes krav med hensyn på ny bruk av loftsetasje og energibesparelser. En av ulempene med etterisolering av tak er at det krever mye plass, noe som går utover romhøyden i loftsetasje.

I utgangspunktet ble det foreslått av rådgivergruppen å etterisolere vegger på innsiden med 200 mm mineralull. Innvendig etterisolering av alle vegger ble ikke ansett som kostnadseffektivt som følge av den relativt store reduksjonen i leieinntekter på grunn av redusert gulvareal. Samtidig ble det pekt på usikkerhet rundt muggvekst og lignende problemer forbundet med innvendig etterisolering. Kun gavlvegger ble derfor etterisolert, selv om dette ga moderat effekt på energiforbruk. Det ble også gjort tiltak på tekniske anlegg, som lys, oppvarmingsanlegg og ventilasjon.

Her ender man med andre ord opp med en «tiltaks pakke» hvor innvendig etterisolering velges bort, ikke bare på grunn av problemer med fukt, men også på grunn av reduksjon i av tilgjengelig gulvareal.

### ***Mer kunnskap om energieffektivisering i eksisterende bygningsmasse (Hole et al., 2011)***

Rapporten ser på hvilke energisparetiltak som er nødvendig for seks eksempelbygg for at byggene skal tilfredsstillte kriterier for lavenerginivå. Energisparepotensialet er beregnet for hvert eksempelbygg både med hensyn til kulturminnevern og uten hensyn til dette. De to eksempelbyggene som er mest interessante for oppgaven er «murgård fra 1800-tallet» som er oppført i tegl med trebjelkelag og «førkrigs leiegårder» oppført i tegl med betongdekker. For hvert bygg er det satt opp to tiltakspakker: En tiltakspakke som tar hensyn til vern av fasadene og en tiltakspakke som ikke tar hensyn til dette.

De to tiltakspakkene er like for etterisolering av etasjeskiller mot kaldt loft og kald kjeller, og etterisolering av kjeller, utskifting av panelovner og installasjon av balansert ventilasjonsanlegg. Vernehensyn påvirker tiltakspakkene ved at tiltakspakke som tar hensyn til vern på fasader etterisoleres innvendig og eksisterende vinduer beholdes og varevinduer monteres på innsiden. For tiltakspakken uten vernehensyn etterisoleres fasadene utvendig og vinduer erstattes med nye vinduer med svært lav U-verdi. I rapporten fremheves redusert besparelse ved vektlegging av vernehensyn.

#### **4.3.1 Kort om to prosjekter**

(Güçyeter og Günaydın, 2012) setter opp tiltakspakker som hos (Alev et al., 2014) hvor fokus er på hvordan tiltakene påvirker bygget, og angir tre tiltakspakker som «mindre», «moderat» og «større» inngrep.

I forbindelse med prosjektet Arildsgate 6, en verneverdig murgård fra 1906, har prosjektgruppen (Simonsen et al., 2013; Trondheim Kommune, 2012) satt opp tre nivåer for oppgradering:

- Ambisiøst nivå nærmest mulig passivhus så langt det er mulig med realistiske løsninger
- Et mellomnivå hvor de dyreste tiltakene fjernes
- TEK 10-nivå

Nivåene settes med andre ord opp med referanse i standarder som passivhus-standarden eller gjeldende lovverk, TEK 10.

## **4.4 Diskusjon av funn**

### **4.4.1 Eldre murbygninger**

For yttervegger er det flere momenter som må kartlegges før en oppgradering kan igangsettes. Dersom ytterveggene er murt massive vil fare for frostsprengning være høyere og det vil være enda mer risikabelt å gjennomføre en innvendig etterisolering. Hulmurer derimot vil ha en bedre uttørkingsevne i tillegg til at de har bedre varmeisolasjonsegenskaper, noe som igjen vil påvirke U-verdien. Hvilken tykkelse veggen har vil også påvirke U-verdien, og ved en oppgradering er det viktig å være klar over at tykkelse på murvegger kan variere i ulike etasjer. Hvorvidt en etterisolering kan gjennomføres innvendig vil være avhengig av steinens kvalitet, og om det tåler de endrede belastningene som følge av en innvendig etterisolering. Steinens densitet vil påvirke U-verdien, men kan være vanskelig å fastslå sikkert.

Hvilke etasjeskillere det er i bygget og hvordan disse er lagt opp i ytterveggen vil påvirke blant annet kuldebroverdien i bygget. Dersom det er trebjelkelag i bygget vil problemer med fare for oppfukting av bjelkeender kunne føre til at tiltak velges bort, og bjelkeender bør undersøkes ved vurdering av tiltak. Ved etasjeskiller av betong vil man ikke ha de samme problemene med fukt, men etasjeskilleren kan utgjøre en massiv kuldebro og det er viktig å kartlegge hvordan dekket er lagt opp i veggen.

Hvor tett bygget er og hvordan det er ventilert vil i stor grad påvirke energiforbruket i bygget, og feil estimering av for eksempel tetthet kan føre til store avvik mellom virkelig energiforbruk og beregnet energiforbruk. Det anbefales å utføre tetthetsmålinger før slike bygg simuleres for å unngå store avvik. Kvalitet på vinduer bør undersøkes nøyaktig, da dårlig utført håndverk kan føre til store avvik mellom faktisk U-verdi for vinduer og U-verdier oppgitt i litteraturen.

### **4.4.2 Enkeltiltak**

I alle energioppgraderingsprosjekter med eldre murbygninger bør det gjennomføres en tilstandsanalyse av bygget, hvor man har mulighet for å avdekke problemer eller muligheter i det eksisterende bygget. Dette kan være spesielt viktig ved vurdering av for eksempel innvendig etterisolering og tilstand i bjelkeender.

Ved etterisolering av yttervegger er det flere hensyn som må tas. Ut fra hensyn til fukt- og temperaturendringer i konstruksjonen og eliminering av kuldebroer er utvendig etterisolering å anse som det bedre tiltaket, men må ofte velges bort på grunn av vernehensyn på fasader.

Dersom man velger å etterisolere utvendig vil man også kunne benytte større isolasjonstykkelser, noe som vil føre til en lavere U-verdi. Ved en utvendig etterisolering vil man også unngå problemer med råte i bjelkeender. Det er tidligere nevnt flere problemer med innvendig etterisolering, disse vil ikke bli tatt opp igjen her. I alle tilfeller hvor innvendig etterisolering anses som et aktuelt tiltak bør beregninger og vurderinger gjøres for hvordan temperatur- og fuktforhold endrer seg, og innvendig etterisolering bør utføres i begrenset tykkelse.

Etterisolering av etasjeskiller mot kaldt kjeller eller kaldt loft er aktuelle tiltak ved en energioppgradering. Etterisolering på varm side av konstruksjonen vil føre til at man taper romhøyde, og i tillegg vil etasjeskilleren bli kaldere, noe som ved trebjelkelag fører til problemer med råte. Etterisolering på kald side av konstruksjonen derimot vil føre til at etasjeskilleren blir varmere, men temperaturen utenfor isolasjonen vil reduseres.

Hulromsisolering er ikke anbefalt dersom hulrommet har mindre høyde enn 50 mm, på grunn av den beskjedne energibesparelsen. Dersom man vurderer og enten etterisolere mot kaldt loft eller kaldt kjeller vil det anbefales å isolere mot kaldt loft da temperaturen er lavere, og man derfor oppnår en større besparelse. I alle tilfeller må endringen i temperaturer, fuktforhold og eventuelt tap av romhøyde vurderes. Det bør også gjøres en vurdering av om tiltaket har god nok effekt.

Etterisolering av konstruksjoner i kjeller kan være aktuelt dersom kjelleren er oppvarmet, men siden varmetapet mot grunnen ikke er like stort som varmetapet mot det fri vil man oppnå begrenset besparelse ved å gjennomføre et slikt tiltak. Utvendig etterisolering av kjellervegg anbefales kun dersom massene uansett skal graves opp og innvendig etterisolering av kjellervegger er heller ikke anbefalt på grunn av fuktpåvirkning, og dersom det vurderes bør det gjøres vurderinger for hvordan fuktforhold endrer seg. Tykkelse for etterisolering av gulv i kjeller vil begrenses av etasjehøyden dersom kjellerrommet er i bruk.

Det finnes flere ulike tiltak for vinduer og hvilket man velger vil ofte være påvirket av vernehensyn. Dersom fasadene er vernet vil man ikke ha mulighet til å skifte ut eksisterende vinduer og da kan montering av en innvendig vareramme være et alternativ. Ved vurdering av tiltak for vinduer er det viktig å ha fokus på momenter som dagslystransmittans og ikke bare forbedring av U-verdi. Selv om vinduer ikke kan skiftes ut vil man fortsatt oppnå en lav U-verdi ved å montere en innvendig vareramme. Dersom eksisterende vinduer skal beholdes er det viktig at disse undersøkes og eventuelt repareres før tiltak gjennomføres. Som for vinduer



så vil også vernehensyn påvirke dører, og alternativ til utskifting er reparasjon av eksisterende. U-verdi på dører er ikke like viktig som U-verdi for vinduer, da dører utgjør en svært liten del av bygningsskallet.

I forbindelse med utførelse av andre tiltak bør også tetteltak gjennomføres da forbedret tetthet vil føre til reduserte luftlekkasjer. Når bygget blir tette anbefales det samtidig å oppgradere ventilasjonssystemet til balansert ventilasjon med varmegjenvinning for å unngå at luftskiftet i bygget blir for lavt. Ved oppgradering av ventilasjonsanlegget må man være klar over at dette tiltaket vil øke strømforbruket i bygningen, men tiltaket er en naturlig del av en energioppgradering. Temperaturstyring er også nevnt som et aktuelt tiltak, men dette tiltaket må gjennomføres uten at det går på bekostning av inneklimate.

#### **4.4.3 Andre prosjekter**

Det gjennomgått en del andre energioppgraderingsprosjekter hvor ulike enkelttiltak er vurdert som mest effektive og hvor tiltak er satt sammen ulikt. Kuusk et al. (2014) anser utvendig etterisolering av yttervegger som et av de mest effektive tiltakene, mens Zagorskas et al. (2013) vurderer innvendig etterisolering som det fjerde mest effektive tiltaket i tilfeller hvor det ikke er mulig å etterisolere utvendig. Andre (Morelli et al., 2012; Munch, 2012), anser etterisolering av yttervegger som et av de mest effektive individuelle tiltakene.

Zagorskas et al. (2013) hevder at utskifting av vinduer er det mest effektive tiltaket, og tiltaket er vurdert som svært effektivt hos flere (Verbeeck og Hens, 2005). I tillegg er etterisolering av tak ansett som et effektivt tiltak (Morelli et al., 2012; Munch, 2012). Alev et al. (2014) vurderer forbedring av tekniske anlegg og distribusjonssystemer som det mest effektive tiltaket. Det siste tiltaket som er trukket frem som svært effektivt hos flere er tiltak for å forbedre tetthet.

I flere av rapportene og artiklene kan man se at de samme tiltakene ansett som effektive, men det er ikke alltid samsvar mellom hvilke tiltak som er vurdert som mest effektive. Dette kan ha flere årsaker, for eksempel kan vern føre til at tiltak må velges bort, og andre tiltak derfor vil vurderes høyere. En annen årsak kan være at tiltak vurderes ut fra ulike kriterier eller med ulike beregningsmetoder. Det gir også ulikt resultat at det i enkelte prosjekter kun er vurdert tiltak på bygningskroppen, mens det i andre tilfeller også er vurdert tiltak på tekniske anlegg. Dersom man hadde sett på flere prosjekter ville man kanskje funnet en sterkere korrelasjon, men det er samtidig vanskelig å generalisere ut fra noen få eller et tilfelle.

Fra de gjennomgåtte prosjektene kan man se at hvilke tiltak som velges er avhengig av flere faktorer. I de fleste prosjektene simuleres først en rekke enkelttiltak for å se hvilken effekt disse har på energibehovet. Hvilke tiltak som simuleres er i stor grad avhengig av hvorvidt bygget/ene er vernet eller andre begrensninger som er gitt. I alle tilfeller hvor innvendig etterisolering av yttervegg er vurdert er fokus på fuktproblematikk stort.

De ulike prosjektene setter sammen tiltakspakkene på ulike måter. Morelli et al. (2011) velger tiltak til tiltakspakken utelukkende med bakgrunn i de simulerte enkelttiltakene for å finne en holistisk energioppgradering, mens i andre tilfeller (Kuusk et al., 2014; Simonsen et al., 2013) ser man at tiltakspakkene settes sammen ut fra et definert ambisjonsnivå, for eksempel nybygg-standard, eller som hos Güçyeter og Günaydın (2012) hvor stort inngrep tiltakspakken tilsvare. Løsningen som Konstantinou og Knaack (2011) foreslår hvor tiltakspakkene settes sammen ut fra en definert «toolbox» fremstår ikke som noen helhetlig løsning, da den ikke tar hensyn til samvirkning mellom tiltak. Hos Hole et al. (2011) er tiltakspakker satt sammen for å illustrere forskjellen i redusert energibehov ved å ta hensyn til vern og ved og ikke gjøre det.

## 5. Del 2 Casestudie

Del 2 består av et case-studie av en murbygning og innebærer en analyse av energibehov i eksisterende bygg, energibehov etter gjennomføring av tiltak samt en forenklet lønnsomhetsanalyse. Tegninger av casebygget er vedlagt i Vedlegg 1.

### 5.2 Presentasjon av casebygg

Casebygget i denne oppgaven er 1930-bygget ved St. Olavs hospital i Trondheim (Figur 10), men er også kjent som kjøkkenbygget eller kantinebygget. Bygningen er murt i teglstein og sto ferdig i 1930 og er blant de eldste bygningene på sykehusområdet. 1930-bygget ligger mellom 1902-bygget (tidligere hovedbygningen) og Bevegelsessenteret. Sammen med 1902-bygget er 1930-bygget det eneste gjenværende bygningene fra før utbyggingen av dagen St. Olavs.



Figur 10 Skisse 1930-bygget. Kilde: HOD (2010)

Som navnene tilsier er bygget tidligere brukt både til kjøkken og kantine, og har fått flere tilbygg er senere bygget til for å tilfredsstillere andre behov ved sykehuset. Bygget var planlagt revet, men ble i 2010 oppført på landsverneplan for helsebygninger. Bygningen er ansett som helsehistorisk verdifullt som eksempel på en av de mange økonomibygningene som fantes på sykehus før krigen, og tilbyggene er derfor i senere tid revet. Bygget er oppført på landsverneplanen da det er ansett å ha høy arkitektonisk kvalitet, og eksteriøret er derfor vernet i verneklasse 1, altså fredet. (Carstens og Grankvist, 2002; HOD, 2010).



**Figur 11 Fasade mot park etter rehabilitering. Foto hentet fra: Sykehusbygg (2015)**

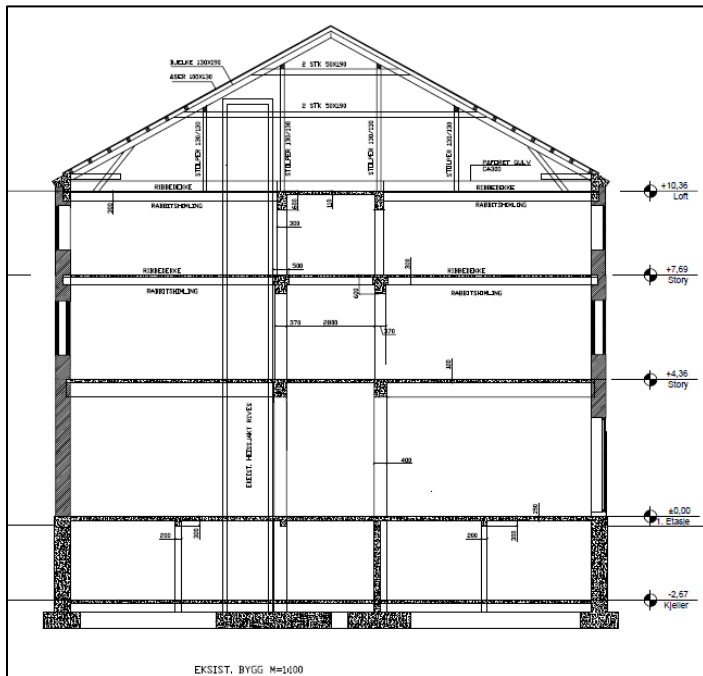
1930- bygget består av tre ordinære etasjer, kaldt loft og oppvarmet kjeller med full takhøyde hvor det tidligere var grovkjøkkenfunksjoner (Figur 11). Ytterveggene består av tegl og innervegger og etasjeskillere i jernbetong, ikke trebjelkelag som også var vanlig i perioden. De tre ordinære etasjene har ulik høyde, og vinduene har derfor 5 ruter i 1.etasje, 4 i 2. etasje og 3 i 3.etasje. Vinduene er plassert helt ut i vegglivet (Figur 12) og noen av vinduene er skiftet ut i senere tid. (HOD, 2010)



**Figur 12 Vindu i 1930-bygget. Foto: Leif Maliks, Forsvarsbygg**

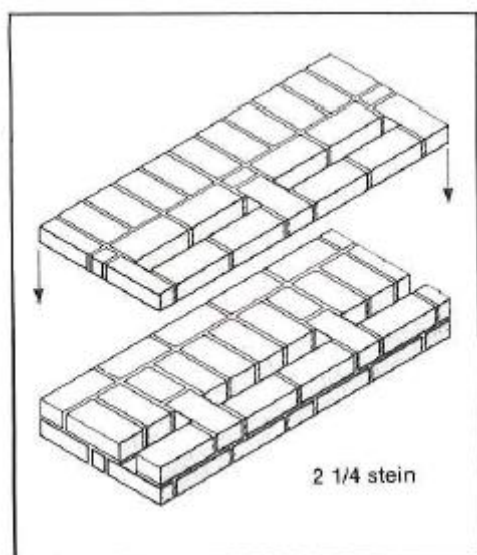
## 5.2.1 Konstruksjon

1930-bygget har ulike etasjeskillere mellom de ulike etasjene (Figur 13) og de ulike dekketyperne er oppsummert i Tabell 5.



Figur 13 Snitt av 1930-bygget. Kortsida

Ytterveggene i bygget er murt som trondheimshulmur med teglstein i  $2 \frac{1}{4}$  tykkelse, og uisolert (Figur 14). Ulikt andre murbygninger i perioden er ytterveggene murt med lik tykkelse i alle tre etasjer. Teglsteinen er pusset innvendig, men er ikke pusset utvendig (Figur 11).



Figur 14 Trondheimsmur i  $2 \frac{1}{4}$  utførelse. Kilde:Sandaker (1986)

Takkonstruksjonen i bygget er valmet og består av sperretak med hanebjelker, og er uisolert. Samtlige etasjeskillere er, som nevnt tidligere, av jernbetong, men har ulik utførelse (Tabell 5). Ribbedekke mot loft hadde opprinnelig tilfarergulv og mest sannsynlig fylt hulrom (enten leire eller kiselgur), men må anses for å være uisolert etter dagens standard.

Tabell 5 Etasjeskillere i 1930-bygget

Etasjeskiller	Type
Kjeller til 1. etasje	150 mm betongdekke
1. etasje til 2.etasje	100 mm betongdekke
2.etasje til 3. etasje og 3.etasje til loft	Ribbedekker (300m)

Kjelleren er oppvarmet og uisolert. Veggene består av 500 mm armert betong, og kjellergulvet av 100 mm betong. Dørene i bygget er uisolerte og flere skiftet etter byggeår. Vinduene består av to-lags glass i koblet ramme og ikke en-lags glass som man kunne forventet. Dette gir en forholdsvis god U-verdi i forhold til vinduer med en-lags glass. Noen steder er vinduene byttet og enkelte steder er innvendig vareramme montert, men ved simulering av bygget antar man at alle vinduene er opprinnelige.

Bygget er oppvarmet med vannbåren varme og er tilknyttet fjernvarmenettet. Ved byggeår var bygget mest sannsynlig oppvarmet med en oljekjel. Bygget var opprinnelig naturlig ventilert.

### 5.2.2 Tiltak som er gjort og skal gjennomføres

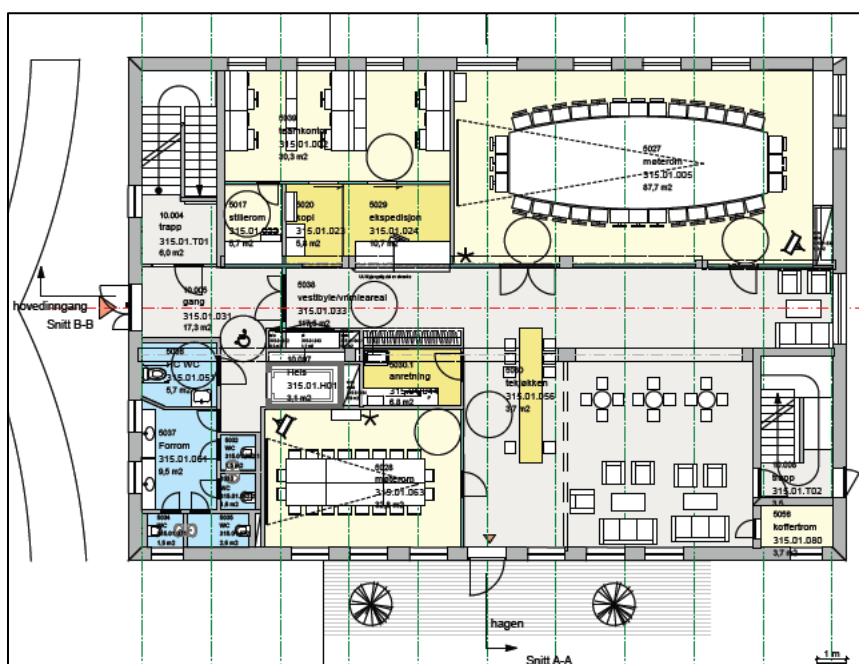
Bygget var opprinnelig planlagt revet, men dette ble stanset da bygget ble oppført på landsverneplanen for helsebygninger. Tilbygg til kjøkkenbygget er revet og eksteriør tilbakeført til opprinnelig tilstand.

Entreprenør HENT AS gjennomfører våren 2015, en innvendig oppgradering av bygget, med overlevering 18.mai, og bygget er strippet ned til bærekonstruksjonene, slik at blant annet himlinger og tilfarergulv på loft er revet (Figur 15). Oppgraderingen som HENT gjennomfører er ikke like omfattende som de oppgraderingene som er tenkt gjennomført her, for eksempel gjennomføres ikke innvendig etterisolering av yttervegger.



Figur 15 1930-bygget under riving. Foto: Sindre Ekli

Bygget skal etter oppgraderingen benyttes til kontorbygg, og har i hovedsak lettvegger (Figur 16). Etter oppgraderingen er det svært få tunge innervegger igjen, noe det også antas å være etter oppgradering her. I denne rapporten vil det ikke fokuseres videre på tiltak som faktisk gjennomføres i bygget, men på tiltak som er valgt gjennomført i tiltakspakkene.



Figur 16 Plantegning 1.etg etter oppgradering. Opphavsrett PKA arkitekter

### 5.3 Casebyggets energibehov før oppgradering

Før videre arbeid er det nødvendig å se på byggets ytelse før tiltak er gjennomføres. Ved oppgradering av eldre bygninger er det flere usikkerheter da komplette tegninger og dokumentasjon ofte er vanskelig å oppdrive. Med bakgrunn i dette, vil sentrale verdier og begrunnelse for valg av disse bli gjennomgått.

#### 5.3.1 U-verdier

Ytterveggen består av 2 ¼ Trondhemshulmur og U-verdi er bestemt med utgangspunkt i Edvardsen (2013). U-verdien vil variere avhengig av hvilken densitet steinen har, og i beregningene ble det valgt å simulere med  $1600 \text{ kg/m}^3$  som gir en U-verdi på  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ved simulering av bygget med en U-verdi på  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , altså en differanse på  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  fra valgt verdi, ser man at energibehovet øker med 3,1 % til 402 227 kWh.

Det er knyttet stor usikkerhet til U-verdi for etasjeskiller mot kaldt loft og takkonstruksjonen i casebygget. Etasjeskiller mot loftet består av ribbedekker med Rabitzhimling, men det er usikkert i hvilken utstrekning etasjeskilleren var isolert. Det er antatt at det var lagt tilfarergolv over etasjeskilleren og at dette var isolert med 48 mm kiselgur eller leire. Takkonstruksjonen er uisolert, og praktiske årsaker ble det valgt å legge inn en verdi for etasjeskiller og takkonstruksjon kombinert i SIMIEN, noe som også er gjort i andre publikasjoner (Hole et al., 2011). U-verdien er estimert ut fra verdier hos Edvardsen (2015) og Uvsløkk (2005).

Vinduene er 2-lags glass i koblet ramme oppgis hos Bugten (2014) å ha en U-verdi mellom  $2,5\text{-}2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . For simuleringene er det valgt en mellomverdi  $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , noe som samsvarer med verdier hos blant annet Grytli (2004) og Korsaksel og Stige (2011). U-verdi for vinduer kan fravike på grunn av annen materialkvalitet eller dårlig utførelse. Ved simulering med en U-verdi på  $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  for vinduer økes kun energibehovet med 0,95 %, noe som ikke kan anses for å være mye.

For dører er standard U-verdi for uisolert dør lagt inn fra U-verdibiblioteket i SIMIEN. Valg av denne verdien vil ikke påvirke det totale energibehovet i særlig stor grad da dører utgjør en liten del av bygningsskallet.

U-verdi for kjellerkonstruksjoner er bestemt ved håndberegning etter metode hos Karlsson (1998) med  $\lambda$ -verdi for betong på  $2,5 \text{ W/mK}$  (Kristensen, 2003). I Tabell 6 vises ekvivalent U-verdi fra SIMIEN.



Som nevnt er bygget i svært liten grad isolert, og bygningskroppen har derfor forholdsvis høye U-verdier. Tabell 6 viser 1930-byggets oppbygning oppsummert, med tilhørende egenskaper for de ulike bygningsdelene.

Tabell 6 U-verdier, lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget før oppgradering.

Bygningsdel	Beskrivelse	Egenskap	Kilde
<b>Yttervegg</b>	2 ¼ Trondhjemshulmur, pusset innside, uisolert	U-verdi= 0,9 W/m <sup>2</sup> K	(Edvardsen, 2013)
<b>Tak og etasjeskiller mot kaldt loft</b>	Ribbedekke med tilfarergulv, uisolert takkonstruksjon	U-verdi=0,8 W/m <sup>2</sup> K	(Edvardsen, 2015; Uvsløkk, 2005)
<b>Vinduer</b>	To lag glass i koblet ramme	U-verdi=2,6 W/m <sup>2</sup> K	(Bugten, 2014)
<b>Dører</b>	Uisolerte tredører	U-verdi=2,4 W/m <sup>2</sup> K	SIMIEN U-verdibibliotek
<b>Kjellervegg</b>	500 mm uisolert armert betong.	Ekvivalent U-verdi: 0,95 W/m <sup>2</sup> K	Håndberegning
<b>Kjellergulv</b>	100 mm uisolert armert betong.	Ekvivalent U-verdi: 0,12 W/m <sup>2</sup> K	Håndberegning
<b>Lekkasjetall</b>		n <sub>50</sub> = 7,0 h <sup>-1</sup>	(Falaker, 2009)
<b>Normalisert kuldebroverdi.</b>		Ψ''= 0,03 W/m <sup>2</sup> K	Beregnet, se kapittel 5.3.2..

### 5.3.2 Normalisert kuldebroverdi

Kuldebroverdi for uisolerte bygninger vil vanligvis være forholdsvis lav. Det finnes ikke gode nok tall eller estimer for normalisert kuldebroverdi for slike bygg, og en beregning av normalisert kuldebroverdi er derfor gjennomført. Verdi for overgang mellom vindu og vegg er hentet hos Gustavsen (2008), men for resterende kuldebroer hvor det ikke fins tabellverdier er beregninger i THERM gjennomført. Beregninger er gjort med bakgrunn i metode og data fra Aurlien (1999), Gustavsen (2008), Kristensen (2003) og Gustavsen et al. (2008). Tabell 7 gir en oversikt over kuldebroer i bygningen. Først er varmetap i konstruksjon uten kuldebro beregnet, deretter er varmetap i konstruksjon med kuldebro beregnet i THERM. Differanse i varmetap multiplisert med lengden av kuldebroen gir kuldebroverdien. Kuldebroenes lengde er beregnet ut fra tegninger og datamodellen og kan være unøyaktig. Resultatet på 0,03

$W/m^2K$  ser ut til å stemme godt med tall fra andre rapporter hvor lignende bygninger er simulert (Hole et al., 2011).

Tabell 7 Normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget før oppgradering. \*Verdi fra Gustavsen (2008)

Overgang	Varmetap «perfekt» overgang	Varmetap overgang	$\Delta$ Varmetap [W/mK]	Lengde kuldebro [m]	Kuldebroverdi [W/K]
Kjellervegg/gulv	5,154	5,176	0,022	84,440	1,864
Etasjeskiller: Kjeller/1.etg	3,603	3,750	0,147	80,920	11,920
Etasjeskiller: 1.etg/2.etg	1,801	1,852	0,051	80,920	4,127
Etasjeskiller: 2.etg/3.etg (ribbe)	1,801	2,002	0,201	6,800	1,367
Etasjeskiller: 2.etg/3.etg	1,801	1,864	0,064	74,120	4,714
Etasjeskiller: 3.etg/loft (ribbe)	3,892	3,979	0,087	6,800	0,589
Etasjeskiller: 3.etg/loft	3,892	3,899	0,007	74,120	0,504
Vinduer/dører			0,020*	176,470	3,529
Hjørner	1,801	2,007	0,206	41,400	8,545
YV/IV	1,801	2,033	0,232	42,320	9,827
SUM					46,987
BRA (m <sup>2</sup> )					1759,3
Normalisert kuldebroverdi (W/m <sup>2</sup> K)					<b>0,03</b>

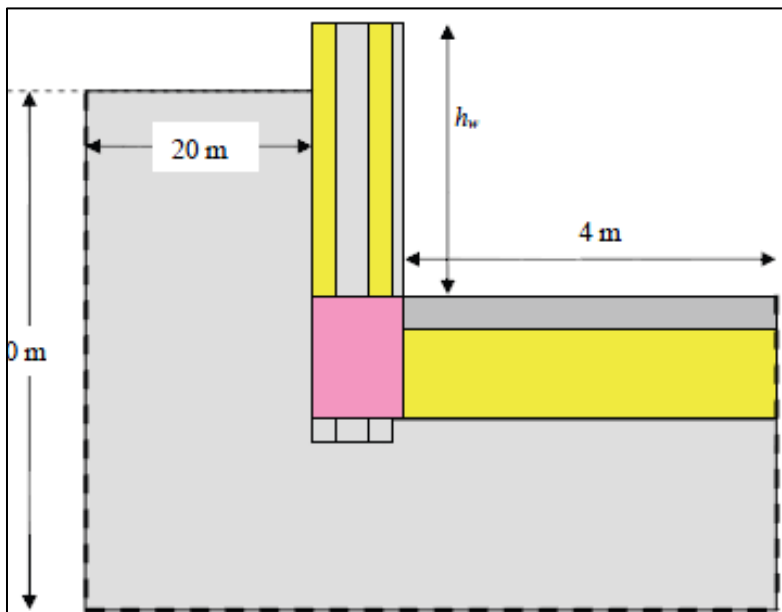
For ribbedekker (mellom 2. etasje og 3. etasje og 3. etasje og loft) er det gjennomført 2 beregninger. Dekket består av ribber 300 mm med mellomliggende partier på 50 mm (Figur 17). Kuldebroen ved ribben vil være større og det er derfor gjennomført 2 beregninger.

Ribbedekkene ligger 1 stein inn i teglveggen, mens dekke mellom 1. og 2. etasje, som er et betongdekke på 100 mm, ligger en halv stein inn i veggen.



Figur 17 Ribbedekke i 1930-bygget.

For overgang mellom kjellervegg og kjellergulv er metode hos Gustavsen et al. (2008) fulgt, hvor materialene i overgang kjellervegg og –gulv erstattes med et materiale med en konduktivitet på  $0 \text{ W/mK}$  som tilsvarer «perfekt» overgang (Figur 18).



Figur 18 Prinsipp for å finne kuldebroverdi for overgang mellom kjellervegg og gulv. Referansekonstruksjon med konduktivitet lik  $0 \text{ W/mK}$  i overgang. Hentet fra: Gustavsen et al. (2008)

For å illustrere påvirkningen valg av kuldebroverdi kan ha på det totale energiforbruket ble bygget også simulert med normalisert kuldebroverdi på  $0,04 \text{ kWh/m}^2$ , noe som ga en forskjell i energibehov på 0,5 %.

### **5.3.3 Lekkasetall**

Det er svært vanskelig å angi korrekt lekkasetall for eksisterende bygninger uten å foreta målinger, da tetthet i stor grad vil variere fra bygg til bygg. Verdien som er satt for det eksisterende bygget er hentet fra Falaker (2009), hvor en mellomverdi på 7 luftskifter per time er valgt. Simulering med 6 luftskifter per time ga en variasjon i energibehov på 4,3 %, noe som må sies å være vesentlig da det er stor usikkerhet rundt fastsettelsen av denne verdien.

### **5.3.4 Ventilasjon**

Bygget er som nevnt tidligere naturlig ventilert, men det finnes lite data for ventilasjonsmengder for dette i eksisterende bygninger. Verdiene som er brukt er tatt fra Blom og Skåret (1995) for naturlig ventilasjon av flerfamilieboliger i Sverige, da dette ble ansett som den verdien som ville ligge nærmest 1930-bygget.

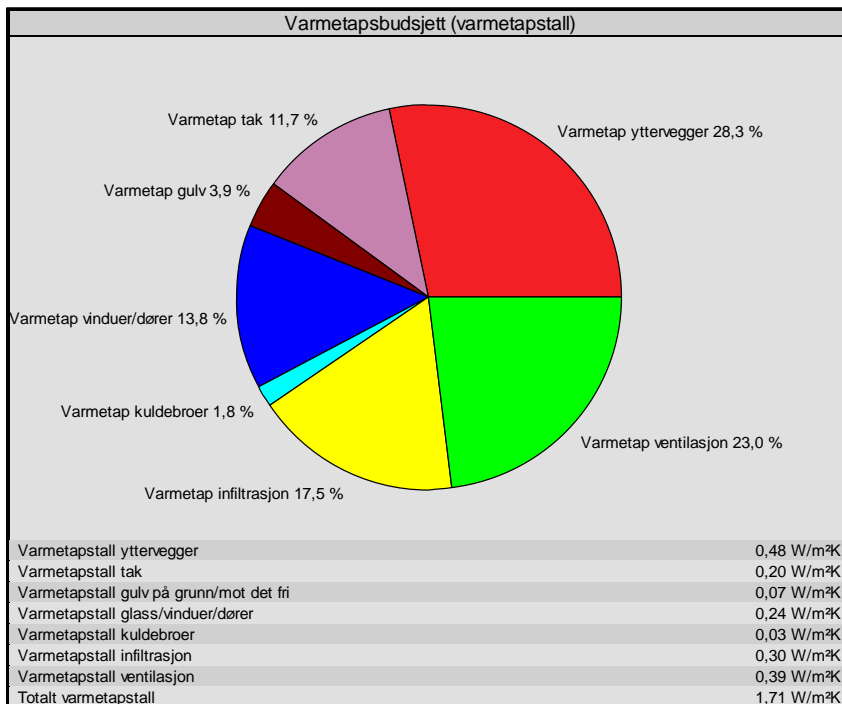
### 5.3.5 Resultater fra SIMIEN

I forbindelse med SIMIEN-beregningen er oppvarmet volum og gulvareal, samt andre arealer sentrale (Tabell 8). I 1930-bygget er arealet av yttervegger og tak stort, og dersom U-verdien for disse konstruksjonene er lav vil dette påvirke varmetapet i stor grad.

Tabell 8 Sentrale verdier 1930-bygget.

Parameter	Verdi
Oppvarmet gulvareal	1759 m <sup>2</sup>
Oppvarmet volum	5390 m <sup>3</sup>
Areal vinduer og ytterdører	161 m <sup>2</sup>
Areal yttervegger	931 m <sup>2</sup>
Areal tak	438 m <sup>2</sup>

Simulering i programmet SIMIEN har vist at det spesifikke totale netto energibehovet før oppgradering er 221,8 kWh/m<sup>2</sup>, de mest sentrale resultatene fra simuleringen fins i Vedlegg 2.

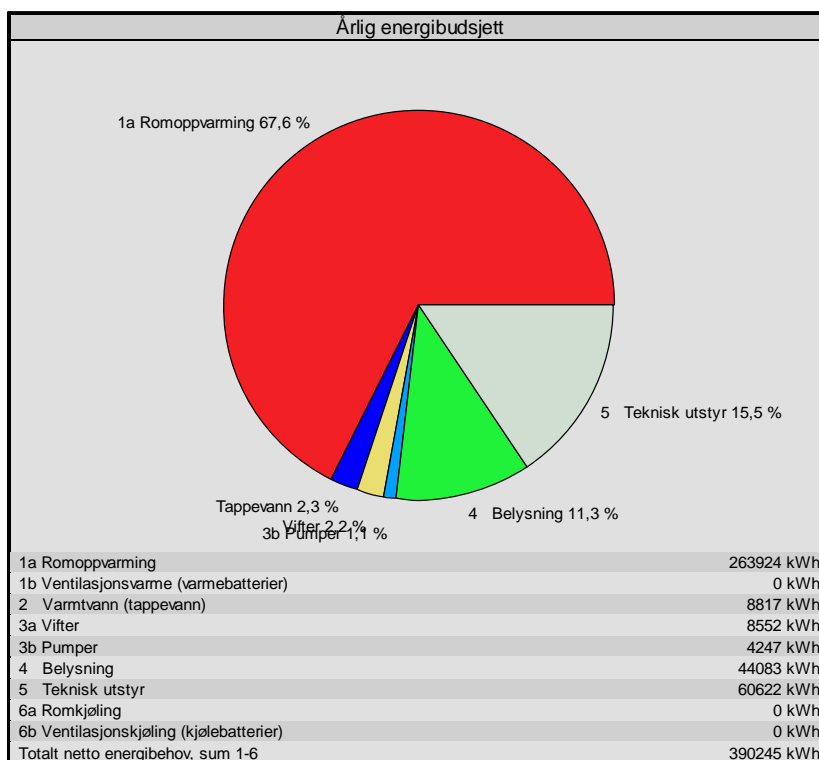


Figur 19 Varmetapsbudsjet og varmetapstall for 1930-bygget før oppgradering

Varmetapsbudsjetet (Figur 19) viser at varmetap gjennom yttervegger forårsaker 28,3 % av det totale varmetapet i bygget. Ved å studere varmetapsbudsjetet kan man se at en vesentlig del av det totale varmetapet, 23 %, er på grunn av ventilasjon. Bygget er som nevnt naturlig

ventilert noe som ikke gir mulighet for gjenvinning av varme fra innelufta som forsvinner ut av bygget. På grunn av det høye lekkasjetallet ser vi også at en vesentlig del av varmetapet skjer på grunn av infiltrasjon. Høy U-verdi på vinduer gir et høyere varmetap enn tak, selv om arealet er mye mindre. Det totale varmetapstallet er  $1,71 \text{ W/m}^2\text{K}$ , og ikke uventet bidrar kuldebroer i liten grad, da kuldebroverdien i bygget er forholdsvis lav.

En vesentlig del av det årlige energibudsjettet går med til romoppvarming, 67,6 % (Figur 20). Teknisk utstyr, belysning og tappevann er antatt å være likt som for dagens nivå, og tilsvarer en mindre andel i energibudsjettet i forhold til romoppvarming.



Figur 20 Årlig energibudsjett for 1930-bygget før oppgradering

## 5.4 Presentasjon av tiltakspakker

I denne oppgaven er det valgt 3 ulike tiltakspakker, en mindre oppgradering, en moderat, og en omfattende oppgradering i det følgende omtalt som tiltakspakke 1, 2 og 3. Enkelttiltak og tiltakspakkene er valgt med bakgrunn i gjennomført litteraturstudie, samt begrensninger som er gitt på grunn av casebyggets utforming og vernehensyn. For hver tiltakspakke vil flere ulike tiltak simuleres samtidig. For tiltakspakke 2, vil tiltak varieres for å finne effekten av variasjon av enkelttiltak når andre tiltak gjennomføres samtidig. I denne oppgaven er det ikke lagt vekt på hensyn til regelverk, og tiltak og tiltakspakker er bestemt uten å ta hensyn til minstekrav for U-verdier. Det er ikke undersøkt om eventuelle tiltak og tiltakspakker kan komme i konflikt med regelverket.

I alle tilfeller hvor etasjeskiller mot loft etterisoleres er eksisterende tilfarergulv fjernet, for å få plass til mest mulig isolasjon som har lavere varmekonduktivitet enn eventuelt leire/kiselgurl i tilfarergulv. Etterisolering av etasjeskilleren gjøres i dette tilfellet på kald side av konstruksjonen, for å unngå å miste takhøyde i tredje etasje samt for å unngå større kuldebroer ved etasjeskiller mot loft.

Rabitzhimling under ribbedekker mellom 2. etasje og 3. etasje, og 3. etasje og loft er antatt revet i alle tilfeller, noe som er spesielt viktig i tiltakspakkene hvor ytterveggen etterisoleres innvendig. Ved å gjøre dette vil isolasjon kunne føres helt opp til underkant av dekket slik at varmetapet reduseres. Ny himling vil legges i underkant av ribber ut til isolasjon.

Ved etterisolering av ytterveggene må veggene renses for organisk materiale. Dampsperre monteres mellom teglveggen og den påforede etterisoleringen, og klemmes mot etasjeskillere. For å forbedre tettheten i bygget er det viktig at skjøter i dampsperran klemmes, og at overganger mot tilsluttende konstruksjoner er tilfredsstillende tette. For å bidra ytterligere til tettheten i bygget bør tettelisten monteres ved vinduer og dører der hvor det er mulig. For alle tiltakspakkene blir ventilasjonsanlegget oppgradert til balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. Bygget skal etter oppgraderingen fungere som kontorbygg, noe som stiller krav til ventilasjon (VTEK, 2011). Som nevnt tidligere er ofte eldre bygninger utette, men ved en oppgradering vil tettheten i bygget øke som følge av tiltakene som gjennomføres, noe som ofte vil kreve installasjon av mekanisk ventilasjon

Enkelte av tiltakene som er nevnt tidligere er valgt bort, av hensyn til hvordan bygget er konstruert, vernehensyn eller fordi tiltaket er ansett å ha begrenset effekt eller på annen måte ikke er å anbefale. Enkelte tiltak, som for eksempel etterisolering av hulrom i trebjelkelag,

faller bort som følge av at bygget ikke har trebjelkelag. Dette medfører også at problemer som råte ved bjelkeender ved innvendig etterisolering ikke lenger er en relevant problemstilling. Etterisolering av etasjeskiller mot kjeller er uaktuelt da kjelleren i case-bygget er oppvarmet. Utvendig etterisolering er ikke aktuelt på grunn av vernehensyn, det samme er installasjon av nye vinduer. Dører skiftes ut i alle tiltakspakkene, selv om dette er i strid med vernehensyn, fordi flere av dørene allerede er skiftet ut etter byggeår. Installasjon av nye vinduer er simulert for tiltakspakke 2, for å illustrere hvor stor besparelse dette kunne utgjort selv om dette er i strid med vernehensyn. Reduksjon av temperatur er heller ikke simulert, da etterisolering vil dempe effekten av dette tiltaket.

#### **5.4.1 Tiltakspakke 1**

Tiltakspakke 1 skal tilsvare en mindre oppgradering. I noen tilfeller vil ikke innvendig etterisolering være aktuelt på grunn av ønske fra byggherre for eksempel på grunn av tap av innvendig areal eller av hensyn til murkonstruksjonen og problemer med fukt. I tiltakspakke 1 er derfor ikke innvendig etterisolering et av tiltakene, men murveggene pusses på nytt for å forbedre tetthet.

I denne tiltakspakken er følgende tiltak valgt bygningskroppen: ribbedekke mot kaldt loft etterisoleres fra oversiden med 200 mm mineralull, dører skiftes til dører med lavere U-verdi, og det monteres varerammer innenfor eksisterende vinduer. Det installeres balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner, hvor varmegjenvinnerens virkningsgrad er 80 % og SFP-faktor for anlegget er  $2 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ .

Det ikke er gjennomført innvendig etterisolering, noe som ville ført til høyere kuldebroverdi, og etterisolering av etasjeskiller mot loft medfører ikke økt kuldebroverdi. Beregning for denne tiltakspakken vist at den normaliserte kuldebroverdien er tilnærmet lik som for det opprinnelige bygget (utregning finnes i Vedlegg 3). Tiltak som gjennomføres og sentrale inputverdier er presentert i Tabell 9.



Tabell 9 U-verdier, lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget for tiltakspakke 1.

Bygningskomponent	Tiltak	Verdi etter tiltak
Etasjeskiller mot kaldt loft	Etterisoleres på kaldt side med 200 mm isolasjon	U-verdi: 0,15 W/m <sup>2</sup> K (håndberegning)
Vinduer	Montering av innvendig vareramme med U-verdi	U-verdi: 0,93 W/m <sup>2</sup> K (håndberegning)
Dører	Nye dører	U-verdi: 1,2 W/m <sup>2</sup> K (SIMIEN)
Ventilasjonsanlegg	Installasjon av balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning.	80 % varmegjenvinning SFP-faktor: 2 kW/m <sup>3</sup> /s
Forbedring av lufttetthet	Forbedring av lufttetthet	n <sub>50</sub> = 2 h <sup>-1</sup>
Normalisert kuldebroverdi	Uendret	Ψ''=0,03 W/m <sup>2</sup> K (beregnet)

#### 5.4.2 Tiltakspakke 2

Tiltakspakke 2 er noe mer omfattende, og skal tilsvare en moderat oppgradering. Yttervegger etterisoleres med 50 mm mineralull, som påføres på innsiden av veggen, noe som vil føre til økt kuldebroverdi ved blant annet etasjeskillere. I tillegg etterisoleres etasjeskiller mot loft med 300 mm mineralull, noe som er en økning på 100 mm fra tiltakspakke 1. Som i tiltakspakke 1 er det montert vareramme på innsiden av eksisterende vinduer, og dørene skiftes ut. Ventilasjonsanlegget er oppgradert som i tiltakspakke 1. Tiltak som gjennomføres er vist i Tabell 10, med tilhørende sentrale verdier.

Tabell 10 U-verdier, lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget for tiltakspakke 2

Bygningskomponent	Tiltak	Verdi etter tiltak
Etasjeskiller mot kaldt loft	Etterisoleres på kaldt side med 300 mm isolasjon	U-verdi: 0,11 W/m <sup>2</sup> K (håndberegning)
Yttervegg	Innvendig etterisolering med 50 mm mineralull	U-verdi: 0,41 W/m <sup>2</sup> K (THERM)

Bygningskomponent	Tiltak	Verdi etter tiltak
Vinduer	Montering av innvendig vareramme	U-verdi: 0,93 W/m <sup>2</sup> K (håndberegning)
Dører	Nye dører	U-verdi: 1,2 W/m <sup>2</sup> K (SIMIEN)
Ventilasjonsanlegg	Installasjon av balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning.	80 % varmegjenvinning SFP-faktor: 2 kW/m <sup>3</sup> /s
Forbedring av lufttetthet	Forbedring av lufttetthet	n <sub>50</sub> = 2 h <sup>-1</sup>
Normalisert kuldebroverdi	Økning	Ψ''=0,05 W/m <sup>2</sup> K

Ettersom man gjennomfører en innvendig etterisolering for denne tiltakspakken er det nødvendig å regne ut en ny normalisert kuldebroverdi. Den innvendige etterisoleringen påvirker i hovedsak kuldebroene ved etasjeskillere og overgang mellom tunge innervegger og yttervegg. Beregninger ved hjelp av programmet THERM har vist at den normaliserte kuldebroverdien øker til 0,05 W/m<sup>2</sup>K, se Vedlegg 3.

### 5.4.3 Tiltakspakke 3

Tiltakspakke 3 er den mest ambisiøse og omfattende tiltakspakken. Her isoleres ytterveggene på innsiden helt opp til grensen for hva som er anbefalt med 100 mm isolasjon. Ved en slik etterisolering bør man, som nevnt tidligere, være sikker på at murveggen er av god nok kvalitet slik at man unngår problemer med for eksempel frostsprengning. Etasjeskiller mot kaldt loft er etterisolert med 400 mm mineralull, som er den maksimale tykkelsen det er plass i loftsetasjen. Kjellergulvet er isolert med 50 mm EPS, med 50 mm påstøp, noe som vil gi en etasjehøyde på 2,5 meter i kjelleren. Dette kan anses som noe knapt, men kjelleren skal i hovedsak brukes til lager og garderober så etasjehøyden er ikke vurdert som like viktig som i de øvrige etasjene. Tiltakene som gjennomføres er beskrevet i Tabell 11.

Tabell 11 U-verdier, lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi for 1930-bygget for tiltakspakke 3

Bygningskomponent	Tiltak	Verdi etter tiltak
Etasjeskiller mot kaldt loft	Etterisoleret på kaldt side med 400 mm isolasjon	U-verdi: 0,08 W/m <sup>2</sup> K (håndberegning)
Yttervegg	Innvendig etterisolering med 100 mm mineralull	U-verdi: 0,28 W/m <sup>2</sup> K (THERM)
Gulv i kjeller	Etterisoleret med 50 mm isolasjon	Ekvivalent U-verdi: 0,19 W/m <sup>2</sup> K (håndberegning)
Vinduer	Montering av innvendig vareramme	U-verdi: 0,93 W/m <sup>2</sup> K (håndberegning)
Dører	Nye dører	U-verdi: 1,2 W/m <sup>2</sup> K (SIMIEN)
Ventilasjonsanlegg	Installasjon av balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning.	80 % varmegjenvinning SFP-faktor: 2 kW/m <sup>3</sup> /s
Forbedring av lufttetthet	Forbedring av lufttetthet	n <sub>50</sub> = 1 h <sup>-1</sup>
Normalisert kuldebroverdi	Økning	Ψ''=0,06 W/m <sup>2</sup> K

Å etterisolere innvendig med 100 mm vil føre til at kuldebroene spesielt ved etasjeskillere og massive innvendige vegger øker. Etterisolering av kjellergulvet vil føre til en økning i kuldebroverdi i overgangen mellom kjellervegg og – gulv. Beregninger i THERM har vist at den normaliserte kuldebroverdien ved gjennomføring av dette tiltaket øker til 0,06 W/m<sup>2</sup>K (Vedlegg 3).

#### 5.4.4 Tiltakspakke 2 med variasjon av enkelttiltak

For å illustrere effekten av enkelttiltak er det gjort flere variasjoner av tiltakspakke 2. Først er tiltakspakken som helhet lagt inn i SIMIEN og deretter er enkelttiltak variert. Ved energioppgraderinger er der sjelden at man kun gjennomfører et tiltak, og derfor er det interessant å se på variasjon i enkelttiltak når andre tiltak gjennomføres samtidig. Flere tiltak kan også ha innvirkning på det samme aspektet ved varmetapet i bygget slik av effekten av et enkelttiltak ikke nødvendigvis er lik når det gjennomføres alene og sammen med andre tiltak. Det er hovedsakelig gjort variasjon i etterisolering av gulv på kaldt loft og yttervegger, samt innsetting av ulike vindustyper. Enkelttiltakene som er variert og simulert er listet opp i Tabell 12.

Tabell 12 Variasjon i tiltak med tilhørende U-verdi/lekkasjetall

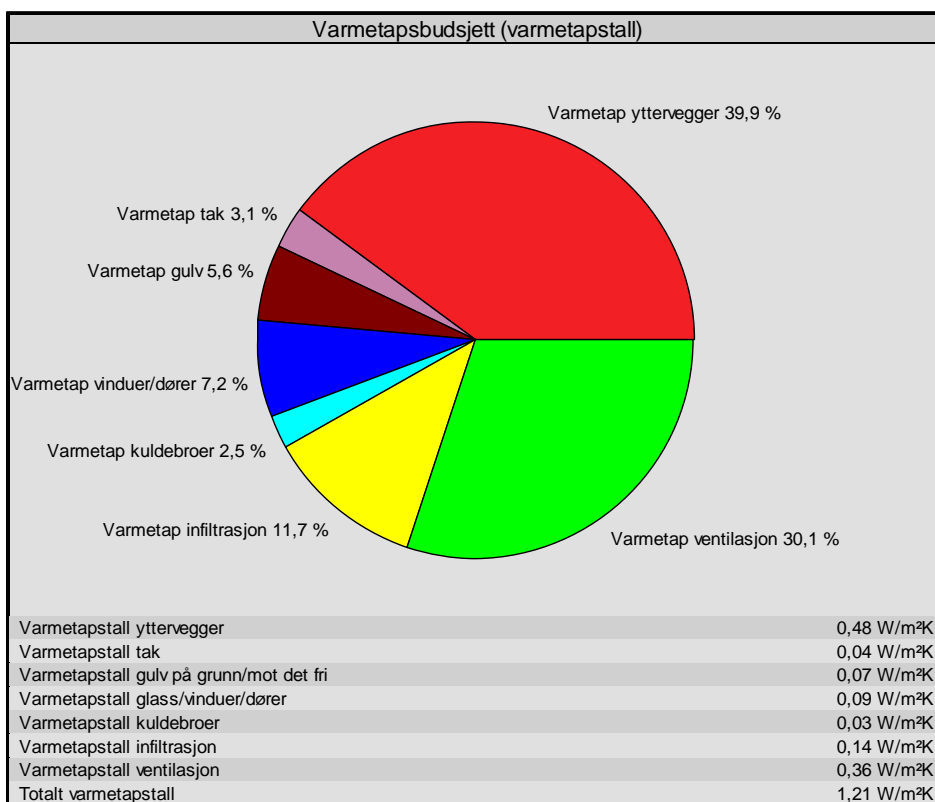
Tiltak som varieres	Variasjon	Verdi
<b>Etterisolering yttervegg</b>	0 mm innvendig etterisolering	U-verdi= 0,9 W/m <sup>2</sup> K
	100 mm innvendig etterisolering	U-verdi: 0,28 W/m <sup>2</sup> K
<b>Etterisolering etasjeskiller mot kaldt loft</b>	0 mm etterisolering	U-verdi=0,8 W/m <sup>2</sup> K
	200 mm etterisolering	U-verdi: 0,15 W/m <sup>2</sup> K
	400 mm etterisolering	U-verdi: 0,08 W/m <sup>2</sup> K
<b>Lufttetthet</b>	Ytterlige forbedring av lufttetthet	1 h <sup>-1</sup>
<b>Gulv i kjeller</b>	50 mm etterisolering	Ekvivalent U-verdi: 0,19 W/m <sup>2</sup> K
<b>Vindu</b>	Ingen tiltak	U-verdi=2,6 W/m <sup>2</sup> K
	Nye 3-lags vinduer med argonfylling	U-verdi= 0,8 W/m <sup>2</sup> K

## 5.5 Resultater fra simuleringer

Resultater fra SIMIEN-beregningene er for tiltakspakke 1, 2, 3 og tiltakspakke 2 med variasjoner av variable er i de følgende delkapitlene presentert. Hovedfokus er reduksjon av spesifikt netto energibehov og endringer i varmetapstall og energibudsjett.

### 5.5.1 Tiltakspakke 1

Simulering av tiltakspakke 1 har gitt et spesifikt netto energibehov på  $174 \text{ kWh/m}^2$ , noe som er en reduksjon på  $47,8 \text{ kWh/m}^2$  fra opprinnelig tilstand for bygget. Det totale varmetapstallet (Figur 21), er etter tiltak  $1,21 \text{ W/m}^2\text{K}$  noe som tilsvarer en reduksjon på  $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De mest sentrale verdiene fra simuleringen fins i Vedlegg 2.

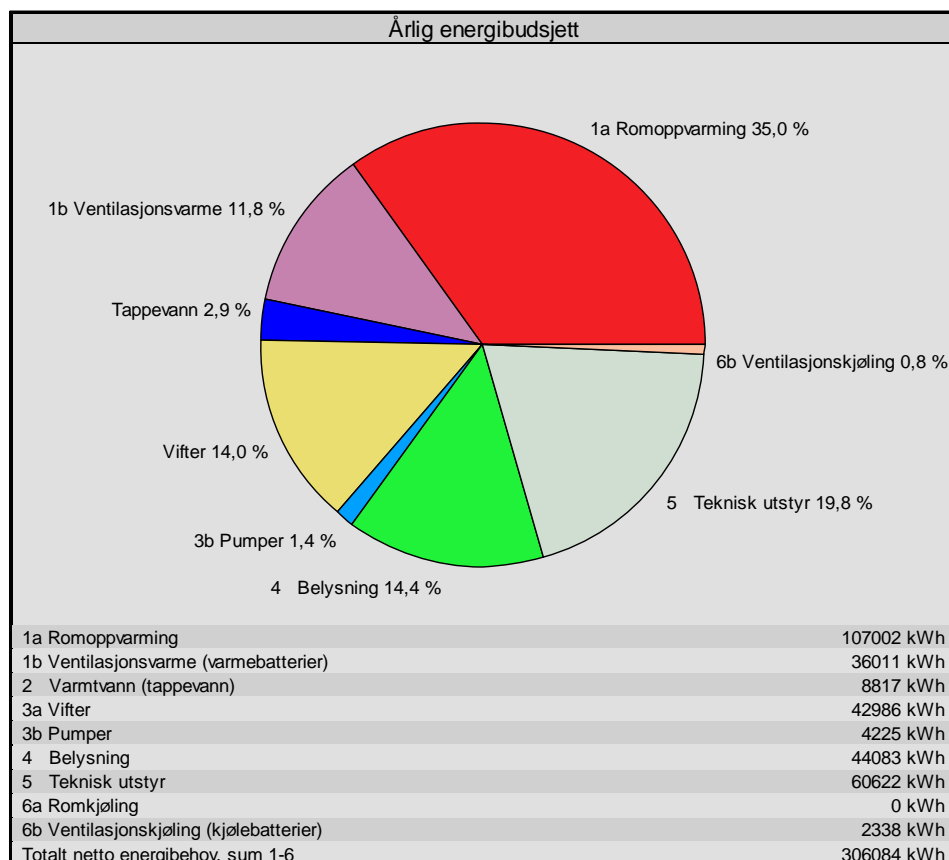


Figur 21 Varmetapsbudsjett og varmetapstall for 1930-bygget etter tiltakspakke 1

Ikke uventet, ut fra tiltakene som er gjennomført, kan vi se at varmetapstallet for tak, vinduer og dører, infiltrasjon og ventilasjon er redusert. Selv om varmetapstallet for kuldebroer, gulv på grunnen og yttervegger er uendret kan vi se at varmetapets relative betydning gjennom disse bygningsdelene har økt (Figur 21). Varmetapstallet for ventilasjon er redusert som følge av montering av balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner. Varmetap gjennom ytterveggene tilsvarte før tiltakspakke 1 ble gjennomført 28,3 % av det totale varmetapet, men

har økt med 11,6 prosentpoeng og er nå en enda større del av varmetapet. Dette er ikke uventet, da det ikke er gjort tiltak på ytterveggene.

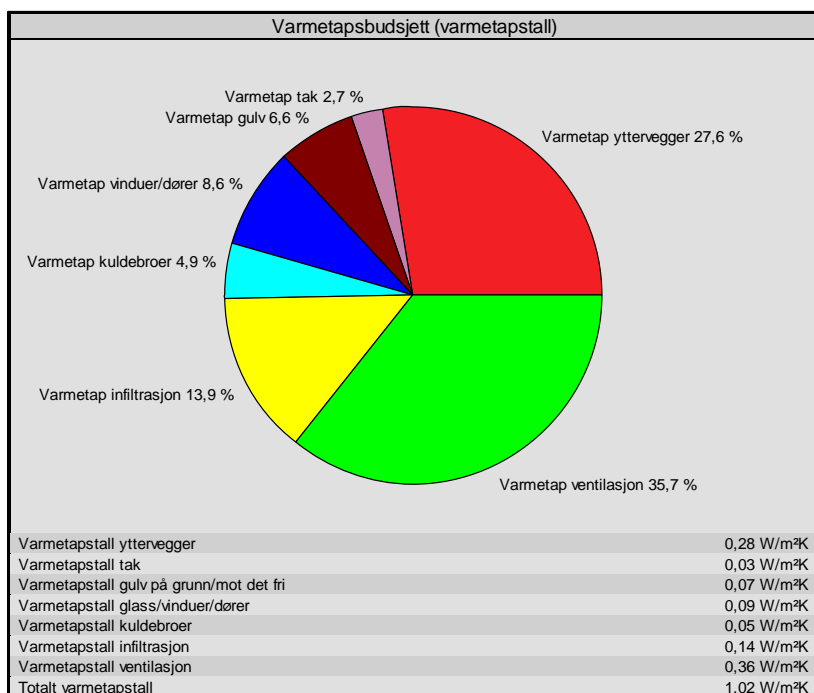
Romoppvarming tilsvarende nå en vesentlig mindre del av det årlige energibudsjettet (Figur 22), og dette skyldes forbedring av klimaskjermen. Dersom man kun ser på posten romoppvarming er det en total besparelse på 156 922 kWh, noe som er mer enn den totale besparelsen ved å gjennomføre tiltak i tiltakspakke 1. Installasjon av balansert ventilasjonsanlegg fører til en økning i forbruk for ventilasjonsvarme, vifter og ventilasjonskjøling. Verdier for teknisk utstyr, belysning og tappevann er satt like for opprinnelig bygg og alle tiltakspakkene, og er derfor uendret. Kuusk et al. (2014) rapporterer også at installasjon av balansert ventilasjonsanlegg vil øke energiforbruket.



**Figur 22** Årlig energibudsjett for 1930-bygget etter tiltakspakke 1

## 5.5.2 Tiltakspakke 2

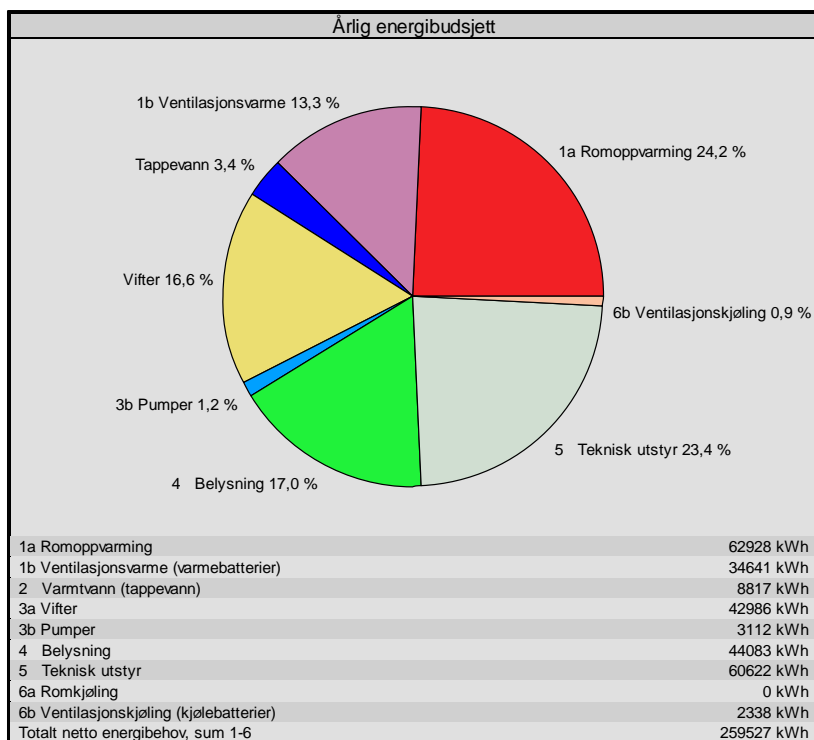
Etter gjennomføring av tiltakspakke 2 reduseres det spesifikke totale netto varmebehovet til  $147,5 \text{ kWh/m}^2$ , noe som tilsvarer en reduksjon på  $74,3 \text{ kWh/m}^2$  fra opprinnelig tilstand. Dette tilsvarer en ytterligere reduksjon fra tiltakspakke 1 på  $34 \text{ kWh/m}^2$ . De mest sentrale verdiene fra simuleringen fins i Vedlegg 2.



Figur 23 Varmetapsbudsjet og varmetapstall for 1930-bygget etter tiltakspakke 2

Varmetapstallet er redusert med  $0,69 \text{ W/m}^2\text{K}$  til  $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Figur 23). Reduksjonen kan i stor grad tilskrives tiltak på yttervegg, hvor varmetapstallet er redusert med  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dette tiltaket fører samtidig til en økning i varmetapstall for kuldebroer, noe som bidrar til økning i energibehov. Det relative varmetapet gjennom yttervegger i forhold til det totale varmetapet er nå redusert til 27,6 %, noe som også er lavere enn opprinnelig tilstand. Tiltak som øker tetthet (reduksjon av infiltrasjon), samt ytterligere isolering av tak gir en relativt sett mindre reduksjon.

Av det årlige energibudsjettet (Figur 24) kan man se at energibehov til romoppvarming og ventilasjonsvarme er redusert fra tiltakspakke 1, og romoppvarming står nå for kun 24,2 % av det totale energibehovet. Dersom man ser på reduksjon i energibehov til romoppvarming alene er det en total besparelse på 200 996 kWh, noe som er noe større enn den totale besparelsen fra opprinnelig tilstand.



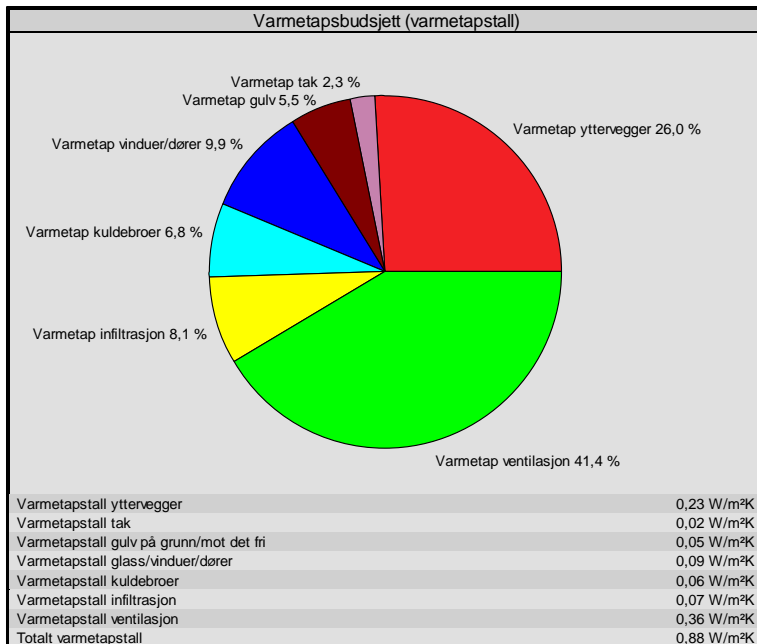
**Figur 24** Årlig energibudsjett for 1930-bygget etter tiltakspakke 2

### 5.5.3 Tiltakspakke 3

Det spesifikke totale netto energibehovet er  $132,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  etter gjennomføring av tiltak i tiltakspakke 3. Totalt tilsvarer dette en reduksjon på  $89,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  fra opprinnelig tilstand, og en ytterligere reduksjon fra tiltakspakke 2 på  $15,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De mest sentrale verdiene fra simuleringen fins i Vedlegg 2.

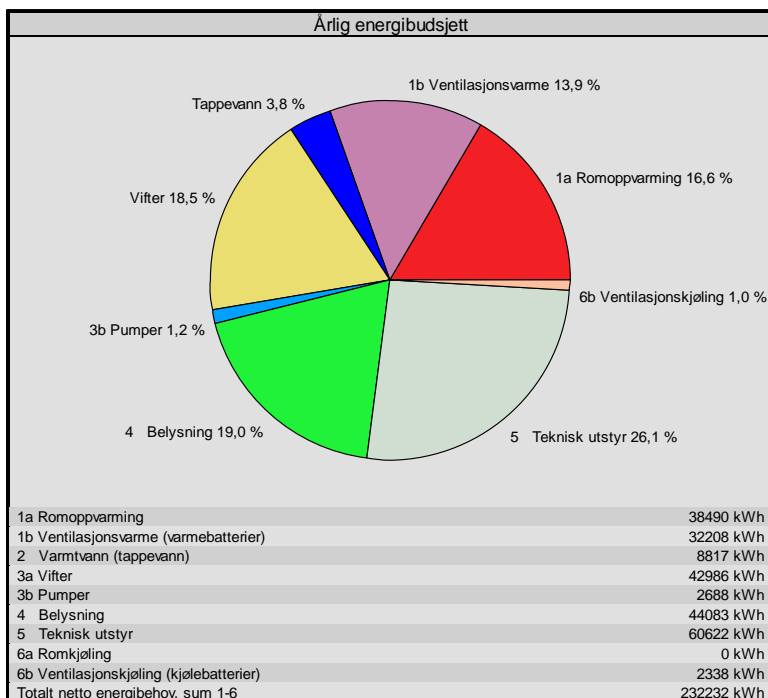
Varmetapstallet (Figur 25) er redusert til  $0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$ , som tilsvarer en reduksjon på  $0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$  fra opprinnelig tilstand. Reduksjonen fra tiltakspakke 2 kan i størst grad tilskrives ytterligere etterisolering av yttervegg og reduksjon av infiltrasjon. Etterisolering av gulv i kjeller fører til en reduksjon på  $0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ , mens varmetap på grunn av kuldebroer øker. Større isolasjonstykkelse på etasjeskiller mot loft fører kun til en reduksjon på  $0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ .





**Figur 25 Varmetapsbudsjett og varmetapstall for 1930-bygget etter tiltakspakke 3**

Energibudsjettet (Figur 26) viser at energibehov til romoppvarming og ventilasjonsvarme er redusert fra tiltakspakke 2, og romoppvarming står nå for kun 16,6 % av det totale energibehovet. Dersom man ser på reduksjon i energibehov til romoppvarming alene er det en total besparelse på 225 434 kWh fra opprinnelig tilstand.



**Figur 26 Årlig energibudsjett for 1930-bygget etter tiltakspakke 3**

### 5.5.4 Oppsummering av resultater for tiltakspakker

I Tabell 13 er resultater fra simuleringene av tiltakspakke 1, 2 og 3 oppsummert for endring i energibehov. Den største reduksjonen totalt sett er, ikke uventet, for tiltakspakke 3, hvor det er en reduksjon på 47,8 %. Ved å gjøre mer omfattende tiltak enn i tiltakspakke 1 gis en ytterligere reduksjon på 26,5 kWh/m<sup>2</sup> til tiltakspakke 2. Derimot ser man at å gjøre mer omfattende tiltak fra tiltakspakke 2 til 3 kun gir en reduksjon på 15,5 kWh/m<sup>2</sup>.

Tabell 13 Endringer i spesifikt netto energibehov [kWh/m<sup>2</sup>] for 1930-bygget

	Opprinnelig	Tiltakspakke 1	Tiltakspakke 2	Tiltakspakke 3
Spesifikt netto energibehov	221,8	174	147,5	132
Reduksjon totalt (og prosentvis)	0	47,8 (21,6)	74,3 (33,5)	89,8 (40,5)
Differanse forrige	0	47,8	26,5	15,5

I Tabell 14 er en oversikt over varmetapstall for original tilstand og tiltakspakke 1, 2 og 3. For yttervegg ser vi en stor forbedring av å etterisolere veggen med 50 mm i tiltakspakke 2, men ingen stor ytterligere forbedring ved å øke isolasjonstykkelsen med 50 mm,

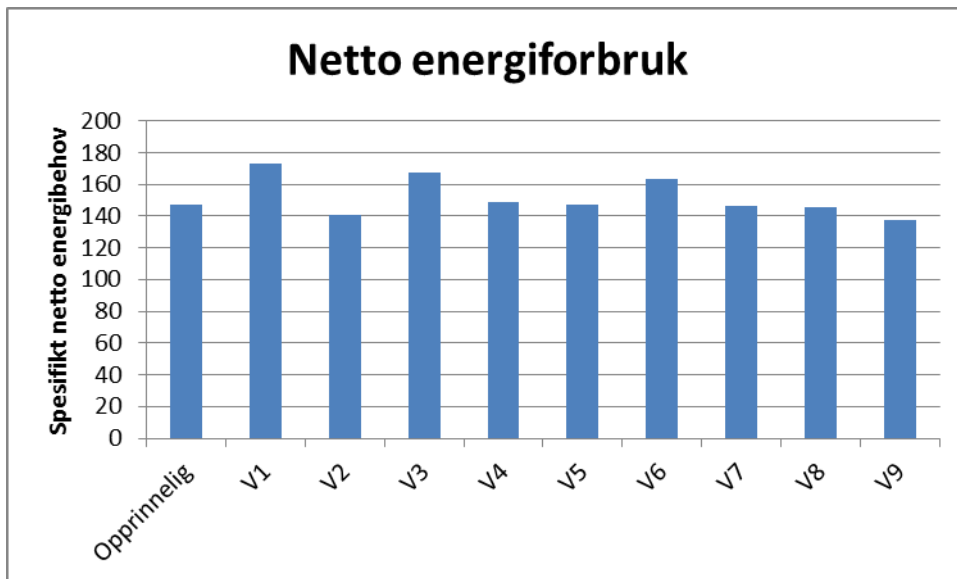
For etterisolering av etasjeskiller mot kaldt loft ser vi det samme, en stor forbedring ved å utføre etterisoleringstiltak, men beskjeden reduksjon ved å etterisolere ytterligere med 100 og 200 mm. Forbedring av tetthet gir stor forbedring på infiltrasjon i alle tilfeller.

Tabell 14 Endringer i varmetapstall [W/m<sup>2</sup>K] totalt og for ulike komponenter for 1930-bygget

	Opprinnelig	T1	T2	T3
Yttervegger	0,48	0,48	0,28	0,23
Tak	0,20	0,04	0,03	0,02
Gulv på grunn	0,07	0,07	0,07	0,05
Vinduer/dører	0,24	0,09	0,09	0,09
Kuldebroer	0,03	0,03	0,05	0,06
Infiltrasjon	0,30	0,14	0,14	0,07
Ventilasjon	0,39	0,36	0,36	0,36
Total	1,71	1,27	1,02	0,88

### 5.5.5 Tiltakspakke 2 med variasjon av tiltak

Formålet med variasjon av tiltak for tiltakspakke 2 er å vise hvilken effekt som oppnås ved å gjennomføre enkelte tiltak, når andre tiltak allerede er implementert. Tabell 15 viser hvordan det å redusere/fjerne tiltak eller å legge til tiltak vil påvirke energibehovet i bygget. For tilfellet hvor tiltak er variert er ikke resultatfil fra SIMIEN vedlagt, da verdiene kun er variert opp til nivå i tiltakspakke 3 eller ned til nivå i tiltakspakke 1. Spesifikt energibehov for tiltakspakke 2 og variasjon av tiltak vist i Figur 27.



Figur 27 Spesifikt netto energibehov for tiltakspakke 2 og variasjoner av tiltak. V står for variert tiltak og korresponderer med Tabell 15

Dersom man ikke gjennomførte etterisolering av yttervegg for tiltakspakke 2 ville energibehovet vært vesentlig større, med en økning på 44 841 kWh eller 34,3 %. Det samme ses for etterisolering mot loft og ingen tiltak på vinduer.

Montering av nye vinduer i stedet for løsning med varevindu fører ikke til en vesentlig besparelse, og montering av varevindu er derfor et godt alternativ ved oppgradering av bygninger der det må tas hensyn til vern av fasader.

Tabell 15 Endring i energibehov ved variasjon i tiltak

	Variasjon		Endring i energibehov [kWh] (og prosent endring i besparelse)
<b>Yttervegg</b>	V1	Ikke etterisolering yttervegg	+44 841 (34,3 %)
	V2	Etterisolere med ytterligere 50 mm (100 mm totalt)	-11 571 (8,9 %)
<b>Etasjeskiller mot loft</b>	V3	Ikke etterisolere mot loft	+35 341 (27,0 %)
	V4	Isolere med 100 mm mindre (totalt 200 mm)	+1 748 (1,3 %)
	V5	Isolere med 100 mm mer (totalt 300 mm)	-1 199 (0,9 %)
<b>Vindu</b>	V6	Ingen tiltak på vinduer	+28 067 (21,5)
	V7	Montere nye vinduer	-2 125 (1,6 %)
<b>Kjeller</b>	V8	Etterisolering av gulv i kjeller	-3 493 (2,7 %)
<b>Tetthet</b>	V9	Ytterlige forbedring av tetthet (til 1 /h)	-17 306 (13,2 %)

For etterisolering av etasjeskiller mot loft ser vi at og ikke etterisolere medfører en økning i energibehov på 27 %. Å øke eller redusere isolasjonstykkelsen med 100 mm fører til en mindre endring. Etterisolering av gulv i kjeller fører også til en beskjeden besparelse, noe som ikke er uventet da varmetap for denne delen av bygget ikke er vesentlig. Forbedring av tetthet fører til en stor endring i energibehov med 13,2 %, og man ser her viktigheten av å utføre tetttiltak.

## 5.6 Økonomiske beregninger

Formålet med denne økonomiske vurderingen er først og fremst å vise hvordan tiltak på klimaskjermen påvirker energibehovet i bygget og hvor lønnsomme tiltakspakkene er dersom man ser på deres tilbakebetalingstid. For denne vurderingen er det gjort en rekke forenklinger:

- Antar at alle rivearbeider innvendig allerede er gjennomført, da bygget opprinnelig var planlagt revet. Kostnader for rivearbeider er ikke tatt med i vurderingen.
- Kostnad for oppgradering av ventilasjonsanlegg, som er svært kostbart, er ikke tatt med i vurderingen. Installasjon av balansert ventilasjonsanlegg øker energiforbruket i bygget og vil drive opp kostnadene vesentlig sammenlignet med tiltak som etterisolering.
- Kostnader til prosjektering og rigg/drift er ikke tatt med da de vanligvis estimeres til en prosent av investeringskostnaden
- Alle kostnader som er forbundet med en oppgradering av bygninger , men som ikke er relatert direkte til tiltakene er ikke vurdert.

Data for beregningene er primært hentet fra erfaringstall hos entreprenør og samarbeidspartner HENT AS sin kalkulasjon- og innkjøpsavdeling. For hver tiltakspakke er tilbakebetalingstid beregnet.

Besparelsen er basert på redusert levert energi til bygget. For å beregne inntjeningstid trenger man, i tillegg til informasjon om investeringskostnad og energibesparelser, å fastsette kalkulasjonsrente og levetid. Kalkulasjonsrenten for dette prosjektet er satt til 7 %, som er vanlig for byggeiere som har samfunnsøkonomiske bindinger og forpliktelser, som for eksempel sykehus (Novakovic et al., 2007). Strømpris er satt til 1 kr/kWh.

For tiltakspakke 2 med variasjon av tiltak er utskifting av vinduer utelatt, da det har samme investeringskostnad som montering av vinduer og med stor sikkerhet ville ført til en økning i tilbakebetalingstid. Tilbakebetalingstid for forbedring av tetthet er også utelatt, da det er svært vanskelig å gi et slikt tiltak en investeringskostnad.

### 5.6.1 Resultater for tiltakspakker

Resultater fra tiltakspakke 1, 2 og 3 et oppsummert i Tabell 16, detaljert utregning er å finne i Vedlegg 4.

Tabell 16 Tilbakebetalingstid for tiltakspakke 1, 2 og 3.  $N_0$  er tilbakebetalingstid i antall år.

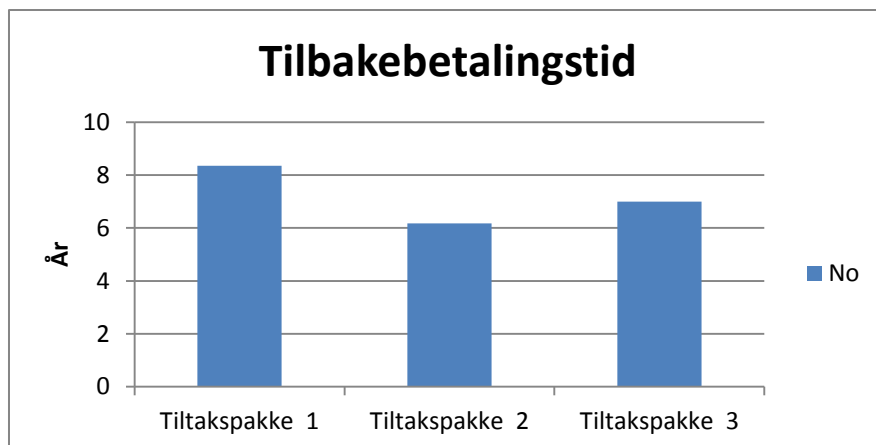
Tiltakspakke	Investeringskostnad [kr]	Besparelse [kr]	$N_0$ [År]
1	677 275	109 799	8.4
2	805 030	164 966	6.2
3	1 066 485.00	197 298	7.0

Investeringskostnaden for tiltakspakke 1 innebærer pussing av yttervegg, etterisolering av etasjeskiller mot loft med 200 mm mineralull, montering av innvendig vareramme og montering av nye dører. De mest kostbare tiltakene var pussing av yttervegger med i overkant av 300 000 kr, og montering av innvendige vareramme med ca. 220 000 kr.

For tiltakspakke 2 innebærer investeringskostnaden innvendig etterisolering av yttervegg med 50 mm mineralull, dampspærre og gips, etterisolering av etasjeskiller mot loft med 300 mm mineralull, og samme tiltak for vinduer og dører. Det dyreste tiltaket i denne tiltakspakken er etterisoleringstiltaket for yttervegger, som samlet (med gips og dampspærre) tilsvarer ca. 415 000 kr. I likhet med tiltakspakke 1 er montering av varerammer det nest dyreste tiltaket.

For tiltakspakke 3 innebærer investeringskostnaden innvendig etterisolering av yttervegg med 100 mm mineralull, dampspærre og gips, etterisolering av etasjeskiller mot loft med 400 mm mineralull, etterisolering av gulv i kjeller med 50 mm EPS og 50 mm påstøp og samme tiltak for vinduer og dører. Ikke uventet er etterisolering av yttervegger inkludert gips og dampspærre det dyreste tiltaket med en kostnad på 476 000 kr. Etterisolering av gulv i kjeller ga en beskjeden reduksjon i energibehov, men har en forholdsvis høy investeringskostnad på 178 000 kr.

Tiltakspakke 2 gir kortes tilbakebetalingstid, mens tiltakspakke 1 gir lengst tilbakebetalingstid (Figur 28).



Figur 28 Tilbakebetalingstid for tiltakspakke 1, 2 og 3

### 5.6.2 Tiltakspakke 2 med variasjon av tiltak

Variasjon i tiltak for tiltakspakke 2 er undersøkt for å finne ut om endring i tiltak vil øke eller redusere tilbakebetalingstiden. Funnene er oppsummert i Tabell 17 og Figur 24. Det er variasjon av 2 tiltak som gir en kortere tilbakebetalingstid enn for tiltakspakke 2: en ytterligere isolering av yttervegg med 50 mm, totalt 100 mm og å redusere isolasjonstykkelsen på loft til 200 mm. Selv om etterisolering av yttervegg med 100 mm mineralull gir den nest høyeste investeringskostnaden av tiltakene ser vi at den gir en stor besparelse, noe som samlet sett gir en lavere tilbakebetalingstid.

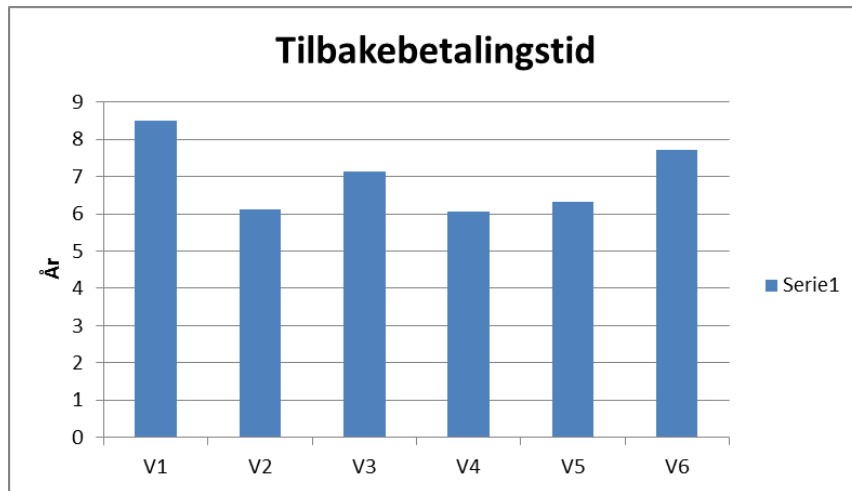
Tabell 17 Tilbakebetalingstid for variasjon av tiltak.  $N_0$  er tilbakebetalingstid i antall år

	Tiltak	Investering [kr]	Besparelse [kr]	$N_0$ [År]
<b>Tiltakspakke 2</b>	Ingen variasjon	805 030	164 966	6.2
<b>V1</b>	0 mm YV	699 190	111 836	8.5
<b>V2</b>	100 mm YV	866 770	178 762	6.1
<b>V3</b>	0 mm loft	673 540	123 048	7.1
<b>V4</b>	200 mm loft	783 115	162 895	6.1
<b>V5</b>	400 mm loft	826 945	166 495	6.3
<b>V6</b>	50 mm kjeller	982 830	169 111	7.7

Å øke isolasjonstykkelsen med 100 på loft med 100 mm til 400 mm fører kun til en økning i tilbakebetalingstid på 0,1 år. Av tabellen kan man også registrere at å fjerne tiltak på yttervegg og loft (V1 og V3) gir en større økning i tilbakebetalingstid. Å ikke gjennomføre tiltak på

yttervegg og loft gir de to laveste investeringskostnadene men også de to laveste besparelsene. Etterisolering av kjeller øker også tilbakebetalingstiden, noe som ikke er uventet dersom man vurderer besparelsen mot den høye investeringskostnaden.

Tilbakebetalingstiden er grafisk fremstilt i Figur 29.



**Figur 29** Tilbakebetalingstid for variasjon av tiltak



## **5.7 Diskusjon av resultater fra case-studie**

Ved energioppgraderinger i en reell situasjon må det også tas hensyn til gjeldende regelverk, som er Plan- og bygningsloven (2014) og tilhørende Teknisk Forskrift (2010). Fokus har ikke vært på lovgivning i denne oppgaven, og enkelte tiltak og tiltakspakker kan utløse krav til oppgradering av andre deler av bygget.

I kapittel 5.6 nevnes en rekke forenklinger som er gjort for beregning av lønnsomhet, noe som bør tas med i betraktningen ved vurdering av de ulike tiltakspakkene og enkelttiltakene. Ved energioppgraderinger av eksisterende bygninger kan man søke Enova om økonomisk støtte, dette er ikke tatt med i utregningen, men kan påvirke resultatet av lønnsomhetsberegningen.

Ved oppgraderinger av eksisterende bygninger trenger ikke motivasjonen kun å være en reduksjon i energibehov, men kan også være forbedring av inneklima, anvendelighet eller reduksjon i klimagassutslipp. Dette har ikke vært fokus her, men man bør være klar over at et tiltak som ikke nødvendigvis gir størst besparelse/lønnsomhet uansett kan velges av andre årsaker, noe også Alev et al. (2014) peker på.

Ma et al. (2012) fremhever at faktiske besparelser på grunn av energioppgraderingstiltak i bygg kan være forskjellig fra besparelser som er estimert ved bruk av simuleringsprogrammer, noe som også vil gjelde for resultatene man finner her. De peker videre på at energisimuleringer, økonomiske analyser og risikoanalyse bør kombineres for å finne de beste oppgraderingsløsningene.

### **5.7.1 Eksisterende bygg**

Det er gjort flere antagelser angående casebygget, som har vært nødvendig på grunn av manglende informasjon, noe som ofte vil være tilfellet når man arbeider med eksisterende bygninger. Det er ikke gjennomført en tilstandsanalyse av bygget på grunn av igangsatte arbeider og tidshensyn, noe som kunne avdekket flere begrensninger eller muligheter i bygget. Vern av eksteriør har gitt begrensninger for tiltak som det er mulig å gjennomføre. Uten vernehensyn ville utvendig etterisolering vært aktuelt, og da med større isolasjonstykkelse enn ved innvendig etterisolering. Dette ville ført til en større energibesparelse, som blant annet Hole et al. (2011) og Zagorskas et al. (2013) trekker frem. Samtidig ville utvendig etterisolering hatt en positiv effekt på kuldebroer, spesielt ved etasjeskillere, da isolasjonen ville blitt ført kontinuerlig forbi etasjeskillerene.

Som nevnt tidligere er case-bygget modellert av PKA arkitekter og de fleste av målene er tatt fra denne modellen. I enkelte tilfeller er det ikke nødvendigvis samsvar mellom tegninger og modell, og mest sannsynlig er det ikke 100 % samsvar mellom arealer og volumer som er benyttet i energiberegningene og virkelig situasjon. Disse avvikene vil være både i positiv og negativ retning, og det kan tenkes at avvikene derfor vil jevnes ut noe. Ved arbeid med eksisterende bygninger kan dette være en utfordring, spesielt der man ikke finner tegningsunderlag over hode og må gjøre oppmålinger på stedet.

De fleste bygningsdelene er antatt å være fra byggeår, mens enkelte oppgraderinger som tilkobling til fjernvarmenettet er tatt med. Montering av varevinduer etter byggeår er det ikke tatt hensyn til i oppgaven, for å se hvilket potensiale en slik oppgradering har.

Usikkerheter rundt konstruksjonen og utførelse har ført til antakelser vedrørende lekkasjetall, U-verdier, ventilasjon og så videre. Normalisert kuldebroverdi er beregnet med programmet THERM, men underlaget for beregning var noe mangelfullt. Disse momentene kan være en feilkilde for det eksisterende byggets energibehov, og påvirker det beregnede byggets energibehov i ulik grad. Samtidig er beregningsmetoder og tallverdier, som varmekonduktivitet for ulike materialer, hentet fra anerkjent faglitteratur, og gjør derfor resultatene sikrere. Dersom de antatte verdiene er feil for eksisterende situasjon vil disse avvikene forplante seg til de simulerte tiltakspakkene, noe som er uheldig.

Resultater fra beregninger i SIMIEN ga et spesifikt netto energibehov på 221,8 kWh/m<sup>2</sup>, hvor 67,6 % av det totale energibudsjetten går med til romoppvarming. Varmetapstallet for det eksisterende bygget er 1,71 W/m<sup>2</sup>K

### **5.7.2 Tiltakspakke 1**

Tiltakspakke 1 er en mindre oppgradering hvor blant annet tiltak på yttervegg er utelatt. Effekt av tiltakene er gjort samlet og de enkelte tiltakenes effekt på energibehovet er ikke vurdert, da dette gjøres for tiltakspakke 2. U-verdier etter tiltak er gjennomført er beregnet ved enkle håndberegninger, men anses ikke for å være en vesentlig feilkilde da metode for beregning fra Karlsson (1998) er fulgt. Tetthet i bygget etter at tiltak er gjennomført er antatt og kan derfor være en større kilde til feil, og slik vil det også være for de andre tiltakspakkene. Normalisert kuldebroverdi i bygget etter gjennomføring av tiltak i tiltakspakke 1 er beregnet ved hjelp av programmet THERM, men viste ingen endring i kuldebroverdi. Dette skyldes at det ikke gjennomføres etterisoleringstiltak på yttervegg, noe som er kilden til økning i kuldebroverdi for tiltakspakke 2 og 3.

Da denne oppgaven har fokus på endringer i energibehov, og ikke problemer relatert til for eksempel fukt, er det ikke vurdert hvordan etterisolering på kald side av etasjeskiller påvirker andre forhold enn energibehov. Etterisolering på kald side vil føre til at konstruksjoner utenfor isolasjonssjiktet blir kaldere og at dette kan medføre fare for fuktskader. Det er ikke gjort en vurdering om himling er damp- og lufttett nok for å hindre inntrenging varm og fuktig inneluft i konstruksjonen. Montering av innvendig vareramme kan føre til redusert lysinnslipp, men dette er ikke gjort en vurdering av dette i oppgaven av samme grunn.

Beregninger i SIMIEN har vist at det spesifikke netto energibehovet etter gjennomføring av tiltakspakke 1 er  $174 \text{ kWh/m}^2$ , noe som tilsvarer en reduksjon på 21,6 % fra opprinnelig tilstand. Det er rimelig å anta at energibehovet ville vært langt lavere dersom det også ble utført tiltak på ytterveggene, da tiltak på yttervegg er ansett for å ha høyt energisparepotensiale (Morelli et al., 2012). Varmetapstallet er redusert med  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  til  $1,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Energibehov for romoppvarming i energibudsjettet er redusert fra 67,6 % til 35 %, mens energibehov til tekniske anlegg har økt.

Beregning av lønnsomhet av tiltakspakke 1 ga en tilbakebetalingstid på 8,4 år, noe som gjør tiltakspakke 1 til den med høyest tilbakebetalingstid. Dette skyldes i hovedsak at det ikke utføres etterisoleringstiltak på ytterveggen, som tilsvarer en stor del av bygningskallet. I tillegg fører installasjon av ventilasjonsanlegg til økt energiforbruk for ventilasjonsposten, noe som reduserer besparelse i beregningene av tilbakebetalingstid.

### **5.7.3 Tiltakspakke 2**

For den moderate oppgraderingen, tiltakspakke 2, gjennomføres tiltak på ytterveggen med 50 mm etterisolering samtidig som isolasjonstykkelse på loft økes. Ny U-verdi for yttervegg er beregnet i THERM mens U-verdi for etasjeskiller mot loft/tak er gjort ved håndberegning. Etterisolering av yttervegg innvendig fører til større kuldebroer ved blant annet etasjeskillere. Normalisert kuldebroverdi etter gjennomføring av tiltak er beregnet til  $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ , noe som er en økning på  $0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$  fra opprinnelig tilstand. På grunn av usikkerhet rundt utforming og tilslutning mellom bygningsdeler kan denne verdien avvike fra reell situasjon, men anerkjent metode for utregning er fulgt, som tidligere nevnt.

Innvendig etterisolering medfører en reduksjon i tilgjengelig innvendig areal, men det er ikke gjennomført noen vurdering av hvilke økonomiske eller praktiske konsekvenser dette kan gi. Etterisolering på innvendig side vil, som diskutert tidligere, føre til at temperaturen i veggen senkes utenfor isolasjonen som kan føre til problemer med blant annet fukt og

frostsprenning. Det er ikke undersøkt hvorvidt tiltaket kan føre til slike problemer og heller ikke hvilke effekter økt kuldebroverdi kan gi, da dette ikke er fokus i oppgaven og ville vært for tidkrevende med tidsrammen som er gitt her. Ytterligere økning i isolasjonstykkelser mot kaldt loft vil påvirke fuktforhold i konstruksjonene utenfor isolasjonen, men det er ikke gjennomført beregninger for dette av samme grunn.

Beregninger i SIMIEN viser en reduksjon i spesifikt netto energibehov på 74,3 kWh/m<sup>2</sup> til 147,5 kWh/m<sup>2</sup>. Dette tilsvarer en ytterligere reduksjon fra tiltakspakke 1 på 26,5 kWh/m<sup>2</sup>, og kan i stor grad kan tilskrives etterisolering av ytterveggene. Varmetapstallet er redusert til 1,02 W/m<sup>2</sup>K hvor broparten av reduksjonen skyldes etterisolering av ytterveggene. Energibudsjettet viser at energibehov til romoppvarming nå tilsvarer 24,2 % av det totale energibehovet. En vurdering av lønnsomhet viste en tilbakebetalingstid for tiltakspakken på 6,2 år, det vil si at tiltakspakke 2 har korter tilbakebetalingstid. Den store differansen fra tiltakspakke 1 (2,2 år) skyldes trolig tiltak på yttervegg, som er en vesentlig del av bygningskallet og gir en stor besparelse.

#### **5.7.4 Tiltakspakke 3**

Tiltakspakke 3 er den mest omfattende tiltakspakken og innebærer i tillegg til en økning av isolasjonstykkelser for samtlige tiltak i tiltakspakke 2 også etterisolering av gulv i kjeller. U-verdier etter tiltakspakken er gjennomført er bestemt ved håndberegning for etasjeskiller mot loft/tak og gulv i kjeller, mens U-verdi for yttervegg er bestemt i THERM. Fordi isolasjonstykkelser for yttervegger er økt med 50 mm vil kuldebroverdien ved etasjeskillere og innervegger også øke. Ny normalisert kuldebroverdi er beregnet i THERM til 0,06 W/m<sup>2</sup>K, og vil ha samme usikkerhet som for de øvrige tiltakspakkene.

Tykkelsen på innvendig etterisolering av yttervegger økes med 50 mm fra tiltakspakke 2, noe som fører til at tilgjengelig gulvareal reduseres ytterligere. Samtidig vil problemer knyttet til fukt forsterkes når man nærmer seg grensen for anbefalt tykkelse for innvendig etterisolering av murvegger. Det er ikke utført beregninger for hvordan økning i innvendig etterisolering påvirker for eksempel fuktoppsamling i vegg, men dette faremomentet bør vurderes.

Beregninger i SIMIEN viser at det spesifikt netto energibehov reduseres med 89,8 kWh/m<sup>2</sup> til 132 kWh/m<sup>2</sup>, noe som tilsvarer en reduksjon på 40,5 % fra opprinnelig tilstand. Varmetapstallet etter gjennomføring av tiltakspakke 3 er 0,88 W/m<sup>2</sup>K hvor store deler av reduksjonen kan tilskrives tiltak på ytterveggen og reduksjon av infiltrasjon. Energibudsjettet viser at energibehov til romoppvarming kun tilsvarer 16,6 % av det totale energibehovet, noe

som er en reduksjon på hele 51 prosentpoeng fra opprinnelig tilstand. Energibehov til tekniske anlegg tilsvarer en svært stor del av det totale energibehovet etter gjennomføring av tiltakspakke 3.

Vurdering av lønnsomhet gir en tilbakebetalingstid på 7 år, det vil si at tiltakspakke 3 har nest kortest tilbakebetalingstid av tiltakspakkene. Tiltakspakke 3 gir den største samlede besparelsen, men tiltak som for eksempel etterisolering av kjellergulv som gir en økning i investeringskostnadene som ikke tjenes inn av besparelsen tiltaket gir.

### **5.7.5 Tiltakspakke 2 med variasjoner**

Enkelte tiltak i tiltakspakke er variert ned til nivå i tiltakspakke 1 eller opp til nivå i tiltakspakke 3, i tillegg er bytting til nye vinduer vurdert. U-verdier for variasjonene er derfor som i tiltakspakke 1 og 3, og har de samme feilkildene. Kuldebroverdien er kun variert der det er endring i isolasjonstykkelse for ytterveggen, noe som kan være en for sterk forenkling av realiteten, og en kilde til feil. Hvilke endringer i energibehov som ble oppnådd er angitt itidligere, og vil ikke gjengis her.

Fra vurdering av tilbakebetalingstid for tiltakspakkene så man at tiltakspakke 2 hadde kortest tilbakebetalingstid. Ved vurdering av tilbakebetalingstid for variasjon av enkelttiltak så vi at 100 mm etterisolering og 200 mm etterisolering av loft er de eneste to variasjonene i tiltak som ville ført til en reduksjon av tilbakebetalingstiden. Ikke å gjennomføre etterisoleringstiltak på ytterveggen, samt etterisolering av gulv i kjeller fører til størst økning i tilbakebetalingstid.

## 6. Del 3 Oppsummering og konklusjon

### 6.1 Litteraturstudie

Problemer som ble avdekt for oppgradering av murbygninger er primært relatert til endringer i fukt- og temperaturfordeling i konstruksjoner det gjøres tiltak på, samt at bruk av nye materialer som kan skade den eksisterende konstruksjonen. Selv om oppbygningen til en viss grad kan generaliseres for slike bygg vil der også være variasjoner fra bygg til bygg. Spesielt viktig i forbindelse med energioppgraderinger er U-verdier på ulike bygningsdeler, kuldebroer og tetthet. Dersom konstruksjonen ikke kartlegges tilstrekkelig eller feil antakelser gjøres, kan dette påvirke for eksempel U-verdi estimat og gi feil i energiberegningene. Det er derfor viktig å ha kjennskap til typisk oppbygging av slike konstruksjoner, spesielt for bygninger hvor originaltegninger eller komplette tegninger ikke er å oppdrive. Dette er også vesentlig for å finne aktuelle tiltak som kan gjennomføres for å redusere energibehov.

Tiltakene som er presentert i oppgaven er primært tiltak som gjøres på bygningsskallet, i tillegg til tiltak på ventilasjonsanlegg som er nødvendig som følge av forbedret tetthet. For bygningsskallet ble følgende tiltak vurdert som aktuelle for energioppgraderinger:

Etterisolering av yttervegg, etasjeskiller mot kaldt loft og kald kjeller, kjellervegg og –gulv i oppvarmet kjeller samt tetttiltak, temperaturstyring, montering av varevindu og utskifting av vinduer og dører. Ved de ulike tiltakene er det nevnt hvordan tiltaket kan påvirke konstruksjonene, dette er spesielt viktig ved innvendig etterisolering. Hvilke tiltak som kan velges i et spesifikt prosjekt vil være avhengig av byggets utforming og begrensninger som gis som følge av for eksempel vernehensyn eller av hensyn til fukt, redusert dagslysinnslipp og inneklimate.

Ved energioppgraderinger gjennomføres oftest flere tiltak samtidig, og en slik sammenstilling av tiltak kalles i denne oppgaven en tiltakspakke. Gjennom litteraturstudiet ble det funnet flere måter for å sette sammen en slik tiltakspakke. Det kan gjøres kun med bakgrunn i simulerte enkelttiltak som presenterer best, et definert ambisjonsnivå, hvor stort inngrep tiltakspakken tilsvare og hvordan dette påvirker for eksempel vern eller ut fra en tiltaksmatrise («toolbox»). I de ulike prosjektene som er gjennomgått er også ulike tiltak vurdert som mest effektive, og årsaken til dette diskuteres i kapittel 4.4.3.

## 6.2 Casestudie

Tre tiltakspakker ble satt sammen og metode hos Alev et al. (2014). Tiltakspakke 1 tilsvarte en mindre oppgradering, tiltakspakke 2 en moderat oppgradering og tiltakspakke 3 en større oppgradering. For alle tiltakspakkene ble ventilasjonsanlegget oppgradert, etasjeskiller mot loft ble etterisolert (ulik isolasjonstykkelse for tiltakspakkene) og varevinduer ble montert innenfor eksisterende vinduer. I tiltakspakke 2 og 3 ble etterisolering valgt med henholdsvis 50 og 100 mm mineralull. For tiltakspakke 3 ble i tillegg gulv i kjeller etterisolert. Variasjon av tiltak ble simulert for tiltakspakke 2.

Resultat av beregningen i SIMIEN viste, ikke uventet, at reduksjon i energibehov var størst for tiltakspakke 3, etterfulgt av tiltakspakke 2 og 1. Tiltakspakke 3 tilsvarte en reduksjon på 40,5 %, tiltakspakke 2 en reduksjon på 33,5 % og tiltakspakke 1 ga en reduksjon på 21,6 %. Ikke å gjennomføre tiltak på yttervegg, etasjeskiller mot loft og vinduer ga en stor økning i energibehov da tiltak ble variert for tiltakspakke 2. Ytterligere etterisolering av yttervegger viste en reduksjon i energibehov på 8,9 % som tidligere vist. Ikke å gjennomføre tiltak på yttervegg, etasjeskiller mot loft og vinduer ga en stor økning i energibehov da tiltak ble variert for tiltakspakke 2.

Dersom man ser på oppfylling av Teknisk Forskrift (2010) ved energirammekrav ser vi at tiltakspakke 2 og 3 oppfyller krav til levert energi som er  $150 \text{ kWh/m}^2$  for kontorbygg, men minstekrav i § 14-5 er det ikke mulig å oppnå for casebygningen. Man oppnår med andre ord vesentlig reduksjon i energibehov for tiltak på murbygninger, selv om det ikke er mulig å oppnå minstekrav i forskriften.

Den økonomiske beregningen viste at tilbakebetalingstiden var kortes for tiltakspakke 2 etterfulgt av tiltakspakke 3 og 1. For variasjon i tiltak for tiltakspakke 2 viste beregningene at å øke isolasjonstykkelsen for etterisolering av yttervegger til 100 mm og å redusere isolasjonstykkelsen mot loft med 100 mm ville gi en kortere tilbakebetalingstid. De resterende tiltakene som ble undersøkt ga en lengre tilbakebetalingstid.

### 6.2.1 Anbefaling

Ut fra resultatene fra SIMIEN-beregningen og lønnsomhetsanalysen vil tiltakspakke 2 være å anbefale. Tiltakspakke 2 tilsvarende en moderat energioppgradering og tiltakene som er valgt gjenspeiler dette, samtidig ivaretar tiltakspakken vernehensyn for bygget. Det er forbundet risiko med innvendig etterisolering av murvegger på grunn av endring i fukt- og temperaturforhold og innvendig etterisolering i store tykkelser anbefales ikke. Tiltakspakke 2

tilsvarende sådan en moderat etterisolering av yttervegger med moderat risiko for fuktproblemer. Det samme gjelder for etterisolering mot loft. Dersom man ser på den økonomiske vurderingen av variasjon av tiltak for denne tiltakspakken vil økning av isolasjonstykkelsen til 100 mm på yttervegg og reduksjon av isolasjonstykkelsen mot kaldt loft føre til en mindre reduksjon i tilbakebetalingstid.

### **6.3 Videre arbeid**

Som en videreføring av oppgaven ville det vært naturlig å identifisere flere tiltak, spesielt for tekniske anlegg og flere kombinasjoner av tiltak som kan føre til at man når et enda lavere energibehov. I denne oppgaven nevnes problemer med innvendig etterisolering av murvegger i forhold til endring i fukt- og temperaturforhold, og ved videre arbeid med eldre murbygninger ville det vært relevant å utføre beregninger for dette. Det er ikke fokus på effekt av tiltak på for eksempel dagslystilgang, inn klima noe det kan ses videre på. Lønnsomhetsberegningen i oppgaven er svært forenklet og en utvidet lønnsomhetsanalyse kan være en vei å gå.



## 7. Kilder

- AktivHMS. Tekniske løsninger - ventilasjon. Retrieved 08.05.2015, 2015, from <http://www.aktivhms.no/skoler/TekniskeLosninger/Ventilasjon.htm>
- Alev, Ü., Eskola, L., Arumägi, E., Jokisalo, J., Donarelli, A., Siren, K., . . . Kalamees, T. (2014). Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region. *Energy and Buildings*, 77(0), 58-66. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.049>
- Aurlien, T. (1999). Kuldebroer. Metoder for å bestemme kuldebroverdi *Byggforskserien* (Vol. 471.016). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Blom, P. (2009). Unngå byggskader *Fuktskader i kjellere og yttervegger mot terreng*. Byggforsk: SINTEF Byggforsk.
- Blom, P. (2014). Fuktsikker innvendig etterisolering av mur- og betongvegger *SINTEF Fag* (Vol. 22). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Blom, P., & Bøhlerengen, T. (2014). Etterisolering av murvegger *Byggforskserien* (Vol. 723.314). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Blom, P., & Skåret, E. (1995). *Ventilasjon og luftkvalitet i småhus: feltundersøkelse og litteraturgjennomgang* (Vol. 169-1995). Oslo: Instituttet.
- Blumberga, A., Blumberga, D., Zvaigznitis, K., & Zogla, G. (2013). Handbook of Energy Consumption in Historical Buildings.
- Bugge, A. (1918). *Husbygningsslære: murmaterialer, murkonstruksjoner, trømateriale, trækonstruksjoner, jernkonstruksjoner m. v., statik, byggeledelse, heise- og transportindretninger*. Kristiania: Aschehoug.
- Bugten, A. (2014). Vinduer. Typer og funksjoner *Byggforskserien* (Vol. 533.102). SINTEF Byggforsk: SINTEF Byggforsk.
- Bøhlerengen, T. (1995). *Rehabilitering av gamle bygårder* (Vol. 181-1995). Oslo: Instituttet.
- Carstens, S., & Grankvist, R. (2002). *St. Olavs Hospital. Sykehuset på Øya gjennom hundre år*. Trondheim: Tapir Akademiske forlag.
- Dokka, T. H., Hauge, G., Thyholt, M., Klinski, M., & Kirkhus, a. (2009). Energieffektivisering i bygninger – mye miljø for pengene! *Prosjektrapport* (Vol. 40). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Edvardsen, K. I. (2004). Utbedring av eldre trevinduer *Byggforskserien* (Vol. 733.162). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Edvardsen, K. I. (2013). Eldre yttervegger av mur og betong. Metoder og materialer *Byggforskserien* (Vol. 723.308 ). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Edvardsen, K. I. (2015). Golv på grunnen og etasjeskillere av stål og betong i eldre boligbygninger. Metoder og materialer *Byggforskserien* (Vol. 722.311). SINTEF Byggforsk: SINTEF Byggforsk.
- Einstabland, H. (2007). Bindingsverk av tre. Varmeisolering og tetting *Byggforskserien* (Vol. 523.255). SINTEF Byggforsk SINTEF Byggforsk.
- Enova. Støtte til eksisterende bygg. Retrieved 17.02.2015, 2015, from <http://www.enova.no/finansiering/naring/naringsbygg/stotte-til-eksisterende-bygg/628/0/>
- Falaker, L. (2009). Notat 03-09. Biblioteker til energimerkeordningen. [www.energimerking.no](http://www.energimerking.no): NVE.
- Grytli, E. (2004). *Fiin gammel aargang: energisparing i verneverdige hus : en veileder*. Trondheim: SINTEF, [Arkitektur og byggteknikk].
- Gustavsen, A. (2008). Kuldebroer. Konsekvenser og dokumentasjon av energibruk. *Byggforskserien* (Vol. 471.015). Oslo: SINTEF Byggforsk.

- Gustavsen, A., Thue, J. V., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S., & Uvsløkk, S. (2008). *Kuldebroer: beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk* (Vol. 25-2008). Oslo: SINTEF byggforsk.
- Güçyeter, B., & Günaydin, H. M. (2012). Optimization of an envelope retrofit strategy for an existing office building. *Energy and Buildings*, 55(0), 647-659. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.031>
- Landsverneplan for helsesektoren. St. Olavs Hospital (Øya) (2010).
- Holde, I., & Aurlien, T. (2013). Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall. *Byggforskserien* (Vol. 520.401). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Hole, I., Martinsen, T., Ulimoen, I. O., Knutsen, M., & Kjeldsen, G. (2011). Mer kunnskap om energieffektivisering i eksisterende bygningsmasse. Oslo: Norconsult.
- Homb, A., & Uvsløkk, S. (2012). *Energieffektive bevaringsverdige vinduer: målinger og beregninger*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Karlsson, N. (1998). Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946 *Byggforskserien* (Vol. 471.008). Byggforsk.no: SINTEF Byggforsk
- Kjølle, K. H., Denizou, K., Hauge, Å. L., Lien, A. G., Magnus, E., & Skeie, K. S. (2013). REBO – Bærekraftig oppgradering av etterkrigstidens boligblokker: Artikkelsamling fra Husbankens strategiske forskningsprogram REBO 2008 – 2012 *SINTEF fag* (Vol. 8). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- KMD. (2009). *Bygg for fremtida: miljøhandlingsplan for bolig- og byggsektoren 2009-2012*. [Oslo]: Departementet.
- Konstantinou, T., & Knaack, U. (2011). Refurbishment of Residential Buildings: A Design Approach to Energy-Efficiency Upgrades. *Procedia Engineering*, 21(0), 666-675. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2063>
- Korsaksel, A., & Stige, M. (2011). Vinduer (informasjonsark). Oslo: Byantikvaren i Oslo.
- KRD. (2010). Energieffektivisering av bygg. En ambisiøs og realistisk plan mot 2040: KRDs arbeidsgruppe for energieffektivisering av bygg.
- Kristensen, T. (2003). Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer *Byggforskserien* (Vol. 471.010). SINTEF Byggforsk: SINTEF Byggforsk.
- Krohn, J. C. (1998). Byggebestemmelser 1924-1996. Krav til utførelse *Byggforskserien*. Byggforsk: SINTEF Byggforsk.
- Kuusk, K., Kalamees, T., & Maivel, M. (2014). Cost effectiveness of energy performance improvements in Estonian brick apartment buildings. *Energy and Buildings*, 77(0), 313-322. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.026>
- LBNL. (2014). THERM. Retrieved 30.04.2015, 2015, from <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>
- Liu, L., Moshfegh, B., Akander, J., & Cehlin, M. (2014). Comprehensive investigation on energy retrofits in eleven multi-family buildings in Sweden. *Energy and Buildings*, 84(0), 704-715. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.044>
- Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and Buildings*, 55(0), 889-902. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.018>
- Mellegård, S., & Svensson, A. (2014). UPGRADE – Veileder for energiambisiøs oppgradering av yrkesbygg *SINTEF notat* (Vol. 11). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Morelli, M., Rønby, L., Mikkelsen, S. E., Minzari, M. G., Kildemoes, T., & Tommerup, H. M. (2012). Energy retrofitting of a typical old Danish multi-family building to a “nearly-zero” energy building based on experiences from a test apartment. *Energy and Buildings*, 54(0), 395-406. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.046>

- Morelli, M., Tommerup, H. M., Tafdrup, M. K., & Svendsen, S. (2011). Holistic energy retrofitting of multi-storey building to low energy level. *Proceedings at the 9th Nordic Symposium on Building Physics*, 1323-1330.
- Munch, R. (2012). Upgrading the energy performance of Elmehuset in the old people's town. København.
- Norge. (2014). *Lov av 20. juni 2014 nr. 52 om planlegging og byggesaksbehandling (Plan- og bygningsloven)*. [Oslo]: Cappelen Damm akademisk.
- Novakovic, V., Hanssen, S. O., Thue, J. V., Wangensten, I., & Gjerstad, F. O. (2007). *ENØK i bygninger: effektiv energibruk*. Oslo: Gyldendal undervisning.
- Programbyggerne. SIMIEN. Retrieved 16.02.2015, 2015, from [www.programbyggerne.no](http://www.programbyggerne.no)
- Rasmussen, T. V. (2010). Post-insulation of existing buildings constructed between 1850 and 1920 *Buildings XI, International Conference, Abstract Booklet: Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI* (Vol. vol. ORNL 10-G01821/es): Oak Ridge National Laboratory.
- Riksantikvaren. Fredet - vernet - verneverdig. Retrieved 16.02.2015, 2015, from <http://www.riksantikvaren.no/Fredning/Fredet-vernet-verneverdig>
- Riksantikvaren. (2012a). Kjenn ditt hus: murgårder. [Oslo]: [Riksantikvaren].
- Riksantikvaren. (2012f). Murgård: eksempel på energisparing (Vol. 3.16.3, pp. [4] s. : ill.). [Oslo]: [Riksantikvaren].
- Riksantikvaren. (2015). Plan- og bygningsloven. Retrieved 07.05.2015, 2015, from <http://www.riksantikvaren.no/Tema/Arealplanlegging/Plan-og-bygningsloven>
- Rønby, L., Kildemoes, T., Tommerup, H. M., & Christensen, M. G. (2011). Erfaringer fra prøvelejlighed Ryesgade 30C 1tv.
- Sandaker, B. N. (1986). Konstruktiv oppbygging av eldre murgårder. In M. senteret (Ed.): *Murbransjens forsknings- og informasjonskontor*.
- Simonsen, I., Lien, A. G., Magnus, E., Löfström, E., & Kjølle, K. H. (2013). Arilds gate 6 – oppgradering av en verneverdig bygård i Trondheim: Et pilotprosjekt i REBO *SINTEF notat* (Vol. 1). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Skeie, K. S., Keiven, T., Lien, A. G., & Risholt, B. (2014). Energiplan - tre trinn for tre epoker *SINTEF Fag* (Vol. 25). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SNL. (2009). Hulmur. Retrieved 02.03, 2015, from <https://snl.no/hulmur>
- Standard Norge. (2007a). *Bygningers energiytelse: beregning av bygningers behov til oppvarming og kjøling ved bruk av dynamiske metoder : generelle kriterier og valideringsprosedyrer*. Lysaker: Standard Norge.
- Standard Norge. (2007b). *Bygningskomponenter og -elementer: varmemotstand og varmegjennomgang : beregningsmetode (ISO 6946:2007)*. Lysaker: Pronorm.
- Standard Norge. (2010). *Bygningers termiske egenskaper: bestemmelse av bygningers luftlekkasje : differansetrykkmetode (ISO 9972:1996, modifisert)*. Lysaker: Standard Norge.
- Standard Norge. (2012a). *Bevaring av kulturminner: tilstandsanalyse av fredete og verneverdige byggverk*. Oslo: Standard Norge.
- Kriterier for passivhus og lavenergibygninger: yrkesbygninger (2012b).
- Standard Norge. (2012c). *Tilstandsanalyse av byggverk: innhold og gjennomføring*. Lysaker: Standard Norge.
- Standard Norge. (2014). *Beregning av bygningers energiytelse: metode og data*. Lysaker: Standard Norge.
- Svendsen, S. D., & Boysen, J.-J. (1976). *Tegl i bygg*. [Oslo]: Yrkesopplæringsrådet for håndverk og industri.
- Svensson, A., Almås, A.-J., Blom, P., & Mysen, M. (2013). Syv energiambisiøse oppgraderinger av yrkesbygg *SINTEF fag* (Vol. 2). Oslo: SINTEF Byggforsk.

- Svensson, A., Haugen, A., Kalbakk, T. E., & Gåsbak, J. H. (2011). *Energieffektivisering i eksisterende bygninger: Energisparingens konsekvenser på kulturhistorisk verdifulle bygg* (Vol. 2011 F0105). Trondheim: SINTEF Byggforsk.
- Sykehusbygg. (2015). Første bygg er overlevert. Retrieved 31.05.2015, 2015, from <http://sjukehusbygg.no/forste-bygg-er-overlevert/>
- TEK. (2010). *Forskrift av 26. mars 2010 nr. 489 om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift)*. Oslo: Cappelen Akademisk.
- Tommerup, H. M. (2010). *Energirenoveringstiltag: Katalog*.
- Trondheim Kommune. (2012). *Arildsgt. 6: rehabilitering av 1890-gård i Trondheim*. Trondheim: Trondheim kommune.
- Trondheim Kommune. (2014, 18.12.2014). Byantikvaren gir råd om kulturminner. Retrieved 16.02.2015, 2015, from <http://www.trondheim.kommune.no/byantikvaren/>
- Uvsløkk, S. (2005). Etterisolering av tretak *Byggforskserien* (Vol. 725.403 ). Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Verbeeck, G., & Hens, H. (2005). Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable? *Energy and Buildings*, 37(7), 747-754. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.003>
- Vesterlid, A. (1985). *Murerlære*. Oslo: Universitetsforlaget.
- VTEK. (2011). *Veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10)*. Oslo: Norsk byggtjenestes forl.
- Wæhle, E., & Sterri, A. B. (2014). Case studie. Retrieved 30.04.2015, 2015, from [https://snl.no/case\\_studie](https://snl.no/case_studie)
- Zagorskas, J., Paliulis, G. M., Burinskienė, M., & Venckauskaitė, J. (2013). Energetic Refurbishment of Historic Brick Buildings: Problems and Opportunities. *Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies*, 12(1), 20-27.

## **8. Vedlegg**

Vedlegg 1: Tegninger av case-bygg side 84

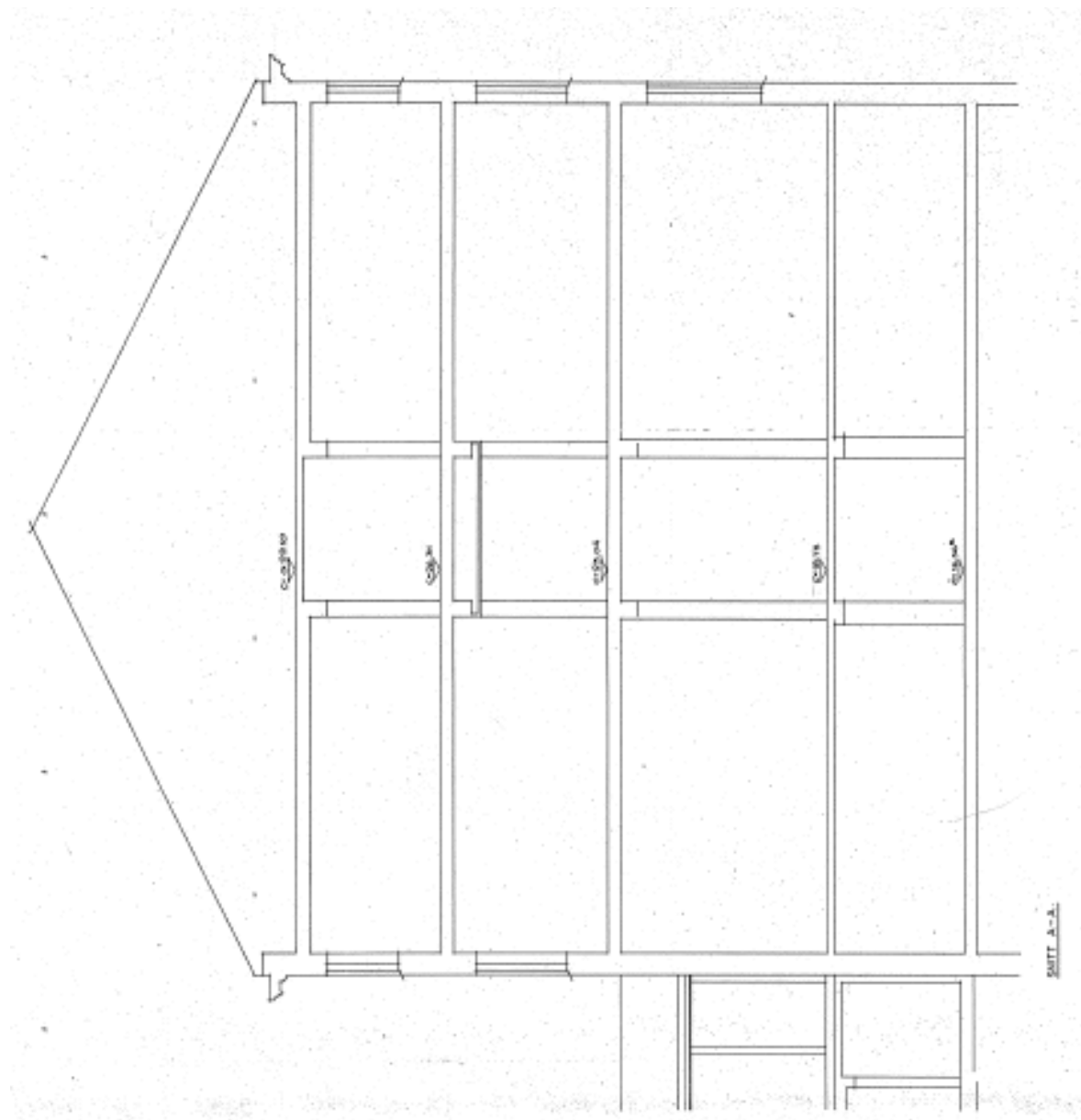
Vedlegg 2: Resultater fra SIMIEN side 90

Vedlegg 3: Beregning av normalisert kuldebroverdi side 113

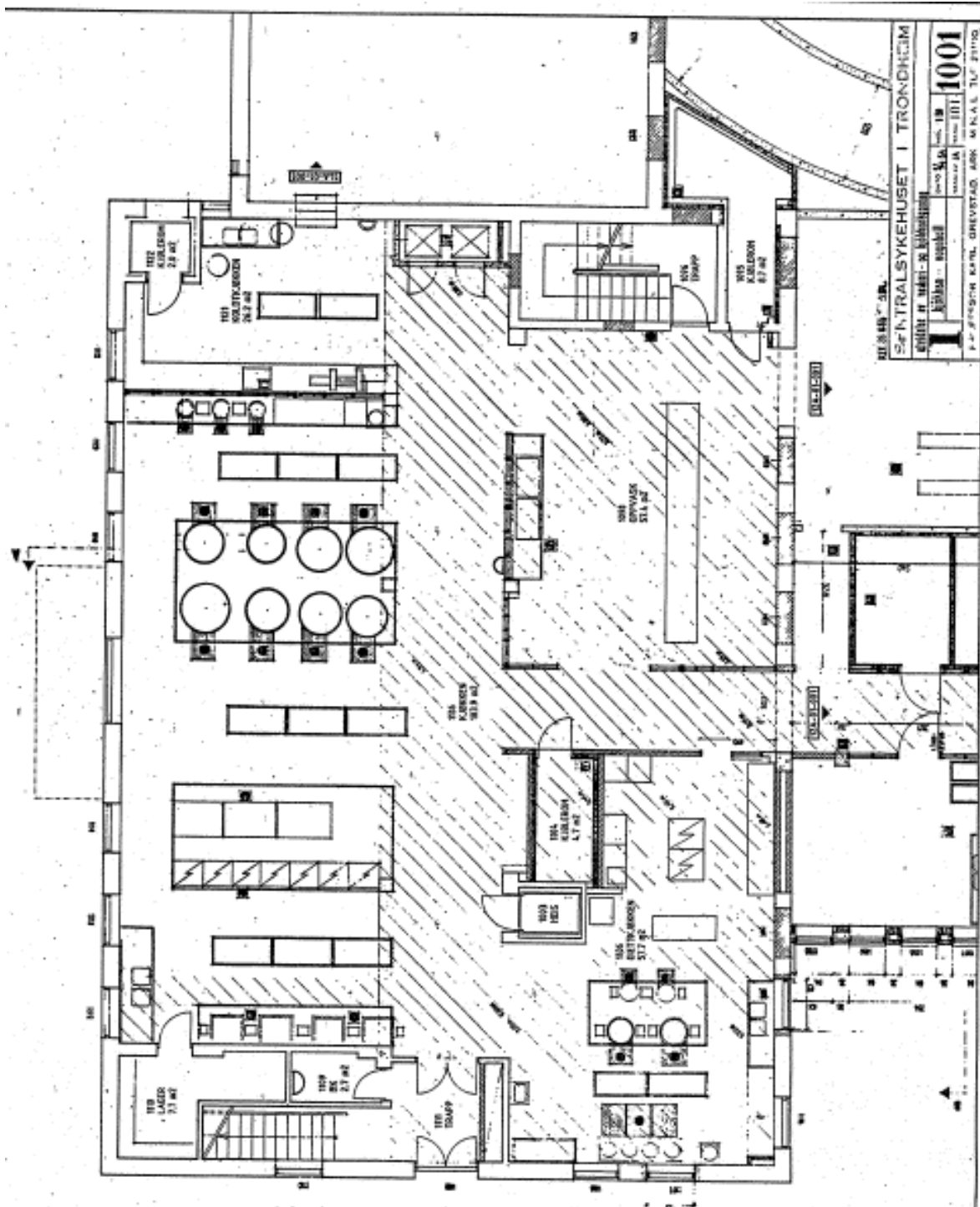
Vedlegg 4: Økonomiske beregninger side 122

## Vedlegg 1 Tegninger av case-bygg

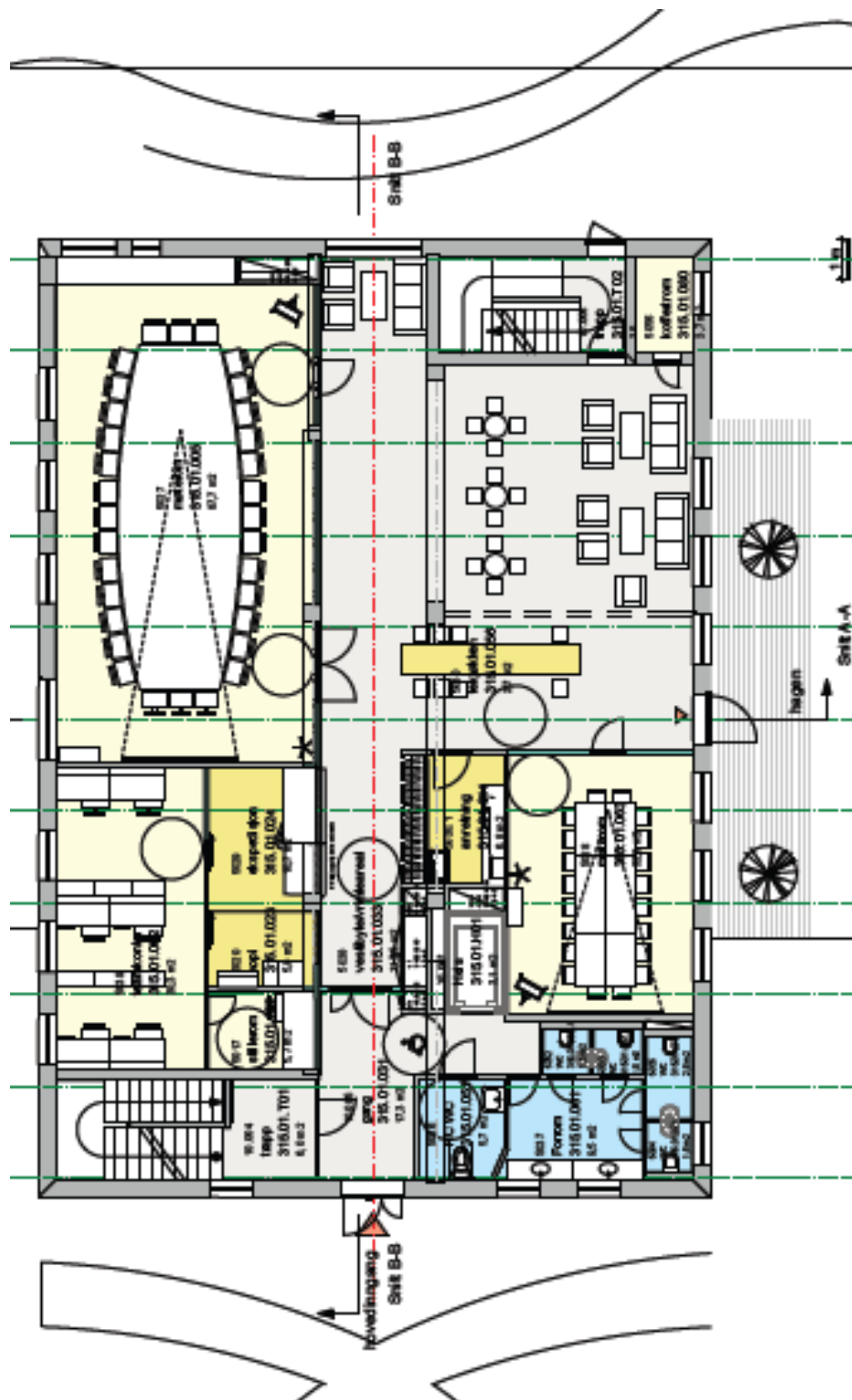
*Eldre snitt (1965), professor Karl Grevstad Ark.*



Eldre plantegning (1954), professor Karl Grevstad Ark.



Plantegning 1.etg PKA arkitekter etter renovering 2015



Helle Midt-Norge Røff/Helsebygg Midt-Norge  
1880 bygget

ANBJD  
18. februar 2014

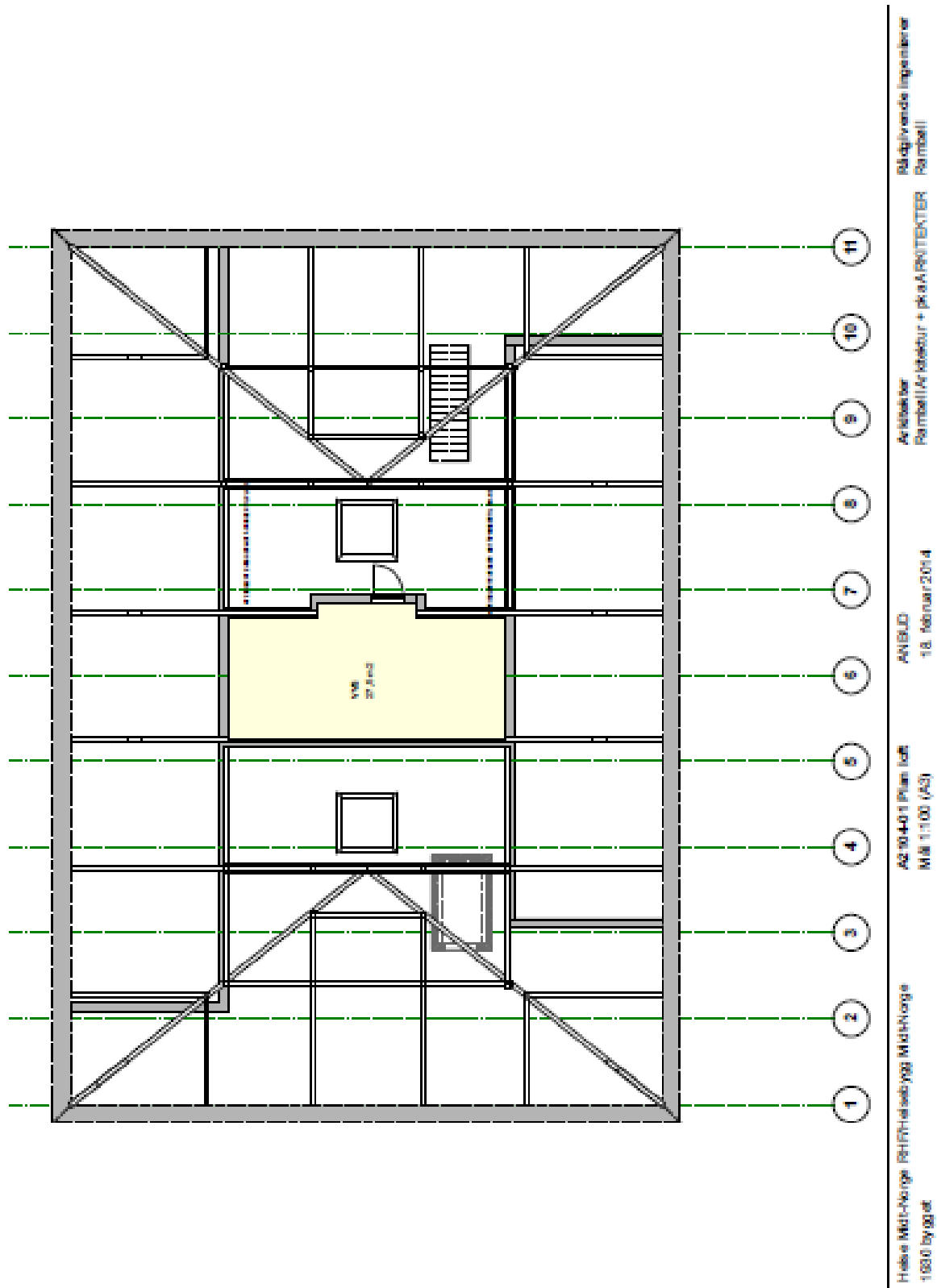
Arkitekt  
Ramboll/Arbøkkur + pkaA/ROTEKTER

Rådgivende Ingeniører  
Ramboll

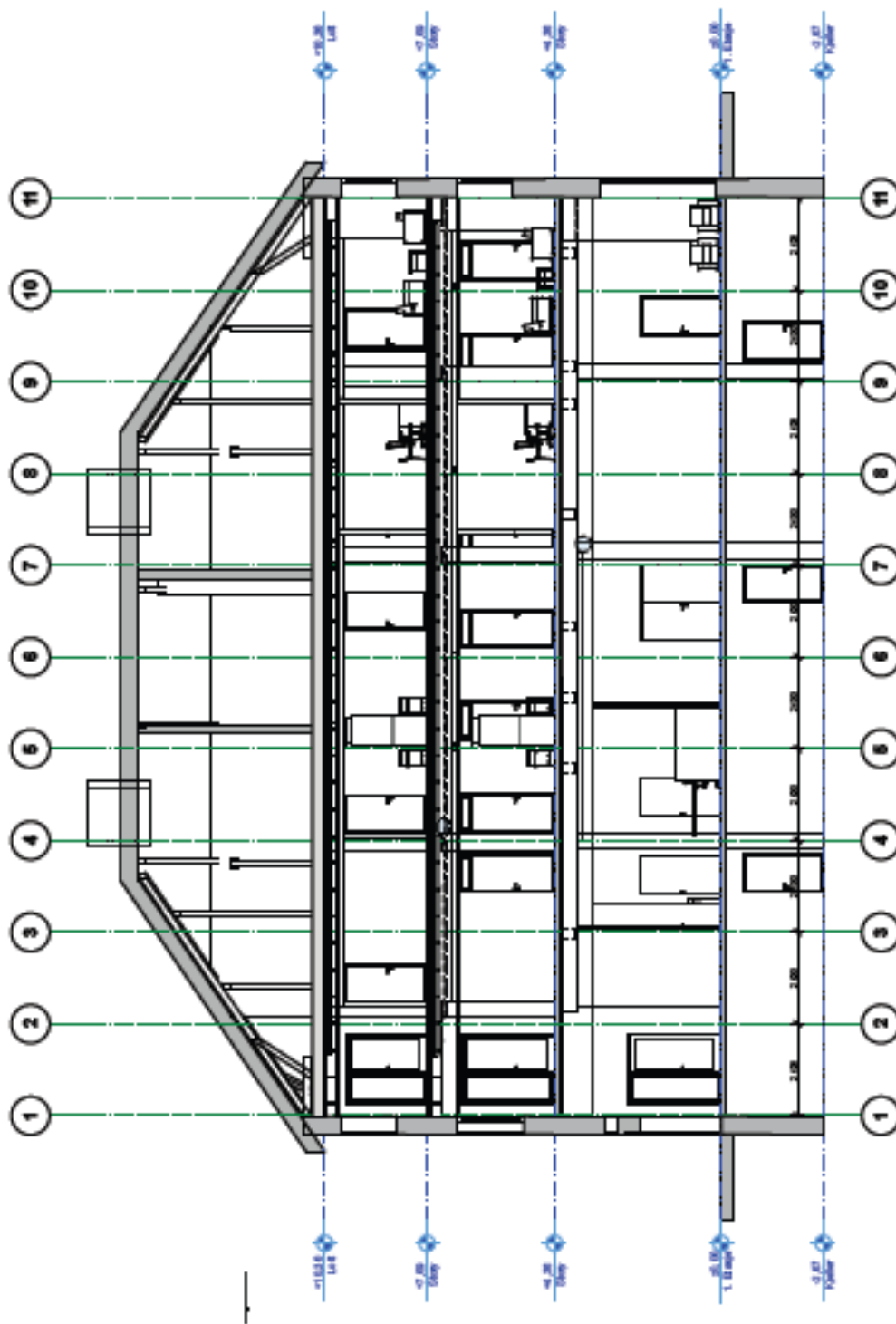
A2-10-01 Plan 1  
MÅ 1:100 (A3)



Plantegning loft PKA arkitekter etter renovering 2015

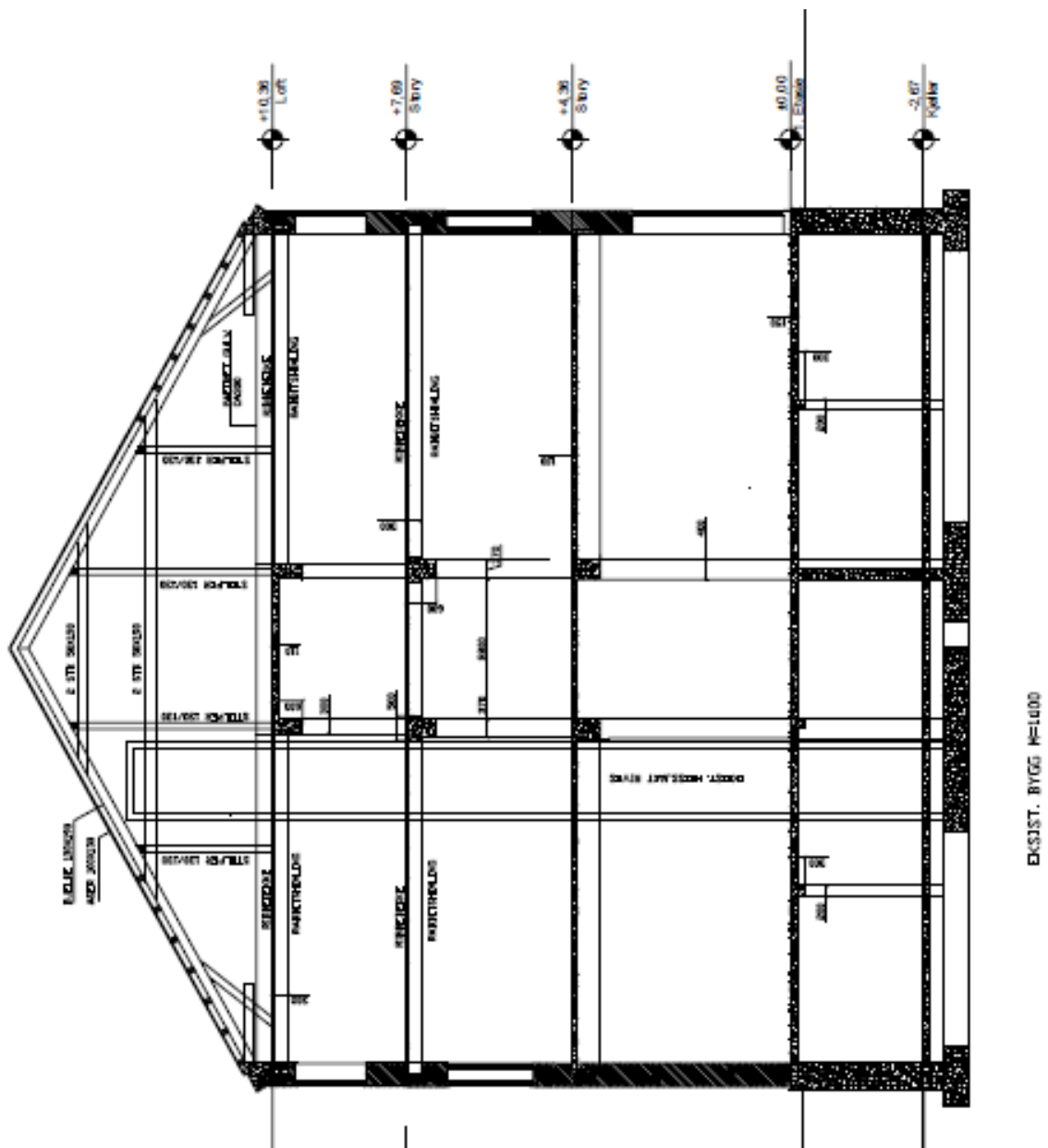


*Snitt langsida PKA arkitekter etter renovering 2015*



Helle Midt-Norge Rehabiliterings Midt-Norge  
 1800 by og et  
 A 3002-01 9 ritt B8  
 M81 1:100 (A3)  
 ANSLØD  
 18. februar 2014  
 Arkitekt  
 Rambøll Arkitektur + plan/ARKTEKTER  
 Rådgivende Ingeniører  
 Rambøll

Konstruksjonssnitt før oppgradering 2015 (Rambøll)



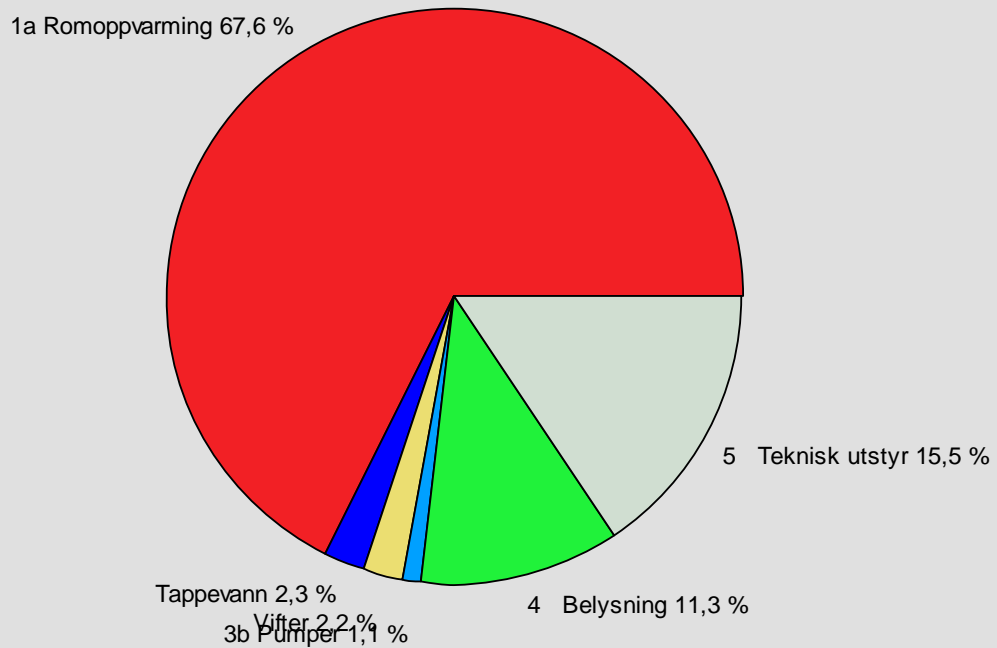
## Vedlegg 2 Resultater fra SIMIEN

### Resultater opprinnelig bygning

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	263924 kWh	150,0 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	8817 kWh	5,0 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	8552 kWh	4,9 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	4247 kWh	2,4 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	44083 kWh	25,1 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	60622 kWh	34,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6	390245 kWh	221,8 kWh/m <sup>2</sup>

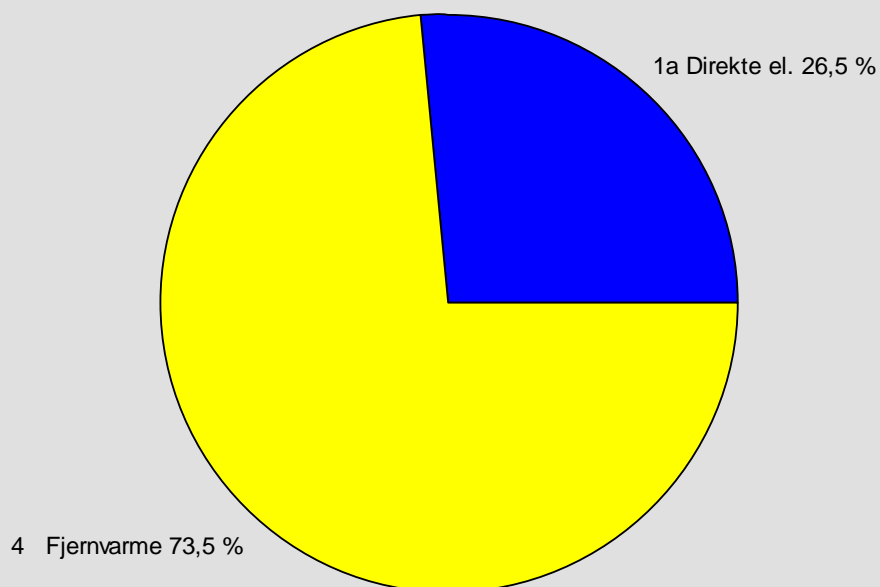
Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	117504 kWh	66,8 kWh/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	325217 kWh	184,9 kWh/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt levert energi, sum 1-6	442721 kWh	251,6 kWh/m <sup>2</sup>

## Årlig energibudsjett

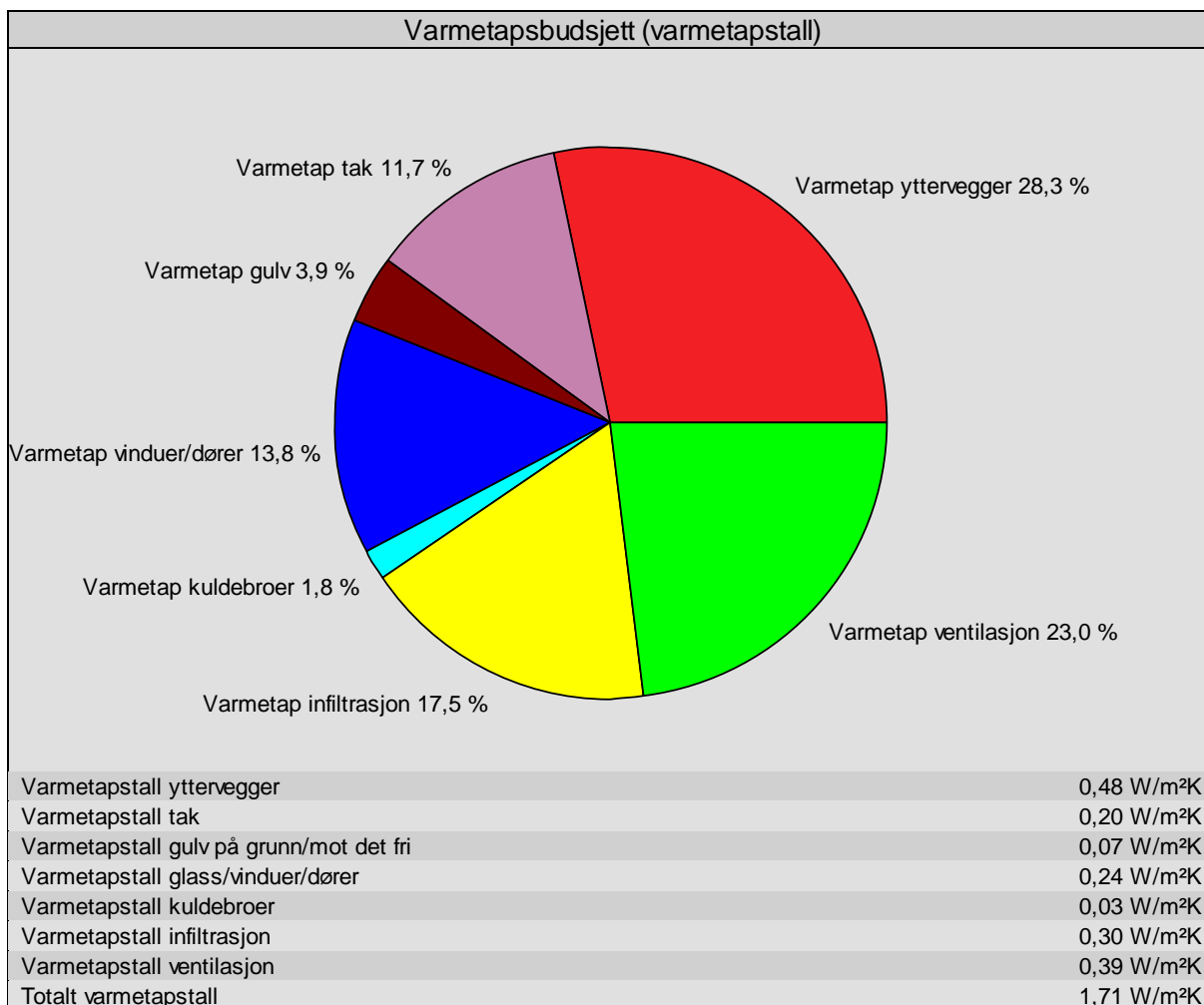


1a Romoppvarming	263924 kWh
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh
2 Varmtvann (tappevann)	8817 kWh
3a Vifter	8552 kWh
3b Pumper	4247 kWh
4 Belysning	44083 kWh
5 Teknisk utstyr	60622 kWh
6a Romkjøling	0 kWh
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh
<b>Totalt netto energibehov, sum 1-6</b>	<b>390245 kWh</b>

Levert energi til bygningen (beregnet)



1a Direkte el.	117504 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	0 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	325217 kWh
5 Biobrensel	0 kWh
Annen energikilde	0 kWh
<b>Totalt levert energi, sum 1-6</b>	<b>442721 kWh</b>



Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m²]:	931	
Areal tak [m²]:	438	
Areal gulv [m²]:	445	
Areal vinduer og ytterdører [m²]:	161	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m²]:	1759	
Oppvarmet luftvolum [m³]:	5390	
U-verdi yttervegger [W/m²K]	0,91	
U-verdi tak [W/m²K]	0,80	
U-verdi gulv [W/m²K]	0,27	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m²K]	2,58	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	9,1	
Normalisert kuldebroverdi [W/m²K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m²K]	41	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	7,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	0,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,19	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,19	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	50	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,75	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,74/0,79/0,84/0,78	

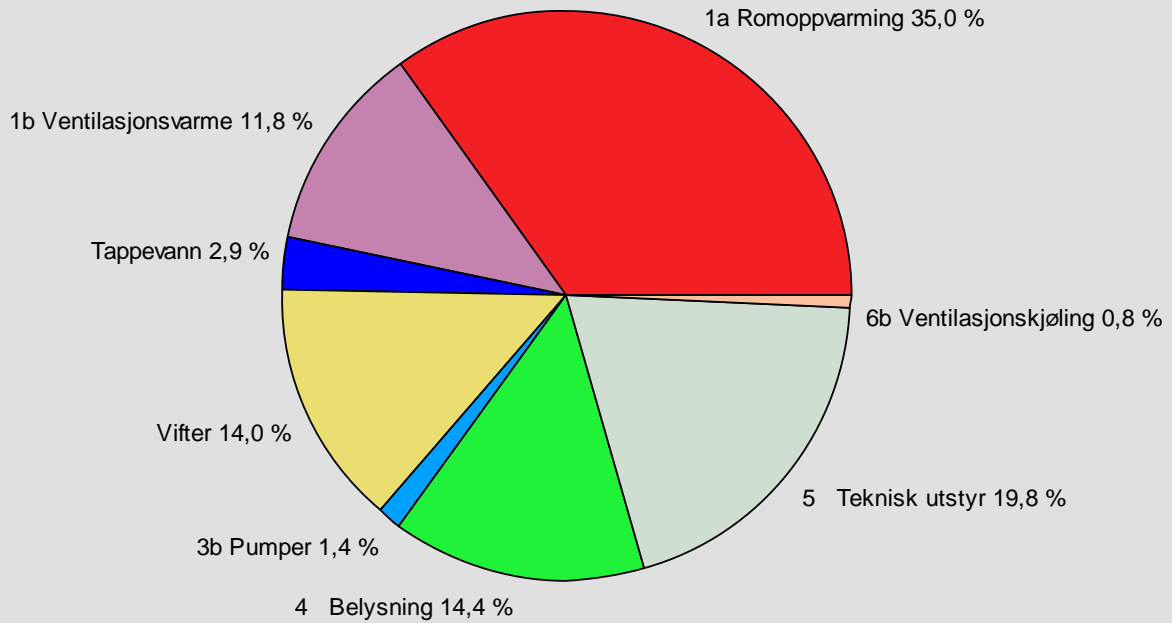


## Resultater tiltakspakke 1

Energibudsjett			
Energipost		Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		107002 kWh	60,8 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		36011 kWh	20,5 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)		8817 kWh	5,0 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter		42986 kWh	24,4 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper		4225 kWh	2,4 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning		44083 kWh	25,1 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr		60622 kWh	34,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		2338 kWh	1,3 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6		306084 kWh	174,0 kWh/m <sup>2</sup>

Levert energi til bygningen (beregnet)			
Energivare		Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.		173082 kWh	98,4 kWh/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Olje		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3 Gass		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme		159840 kWh	90,9 kWh/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Annen energikilde		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt levert energi, sum 1-6		332922 kWh	189,2 kWh/m <sup>2</sup>

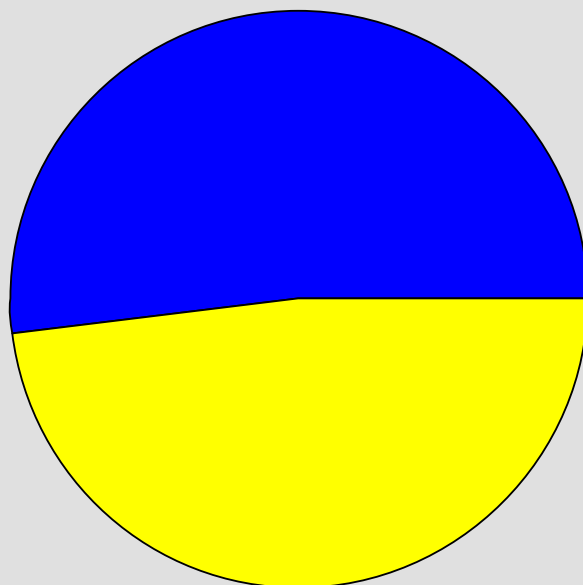
## Årlig energibudsjett



1a Romoppvarming	107002 kWh
1b Ventilasjonvarme (varmebatterier)	36011 kWh
2 Varmtvann (tappevann)	8817 kWh
3a Vifter	42986 kWh
3b Pumper	4225 kWh
4 Belysning	44083 kWh
5 Teknisk utstyr	60622 kWh
6a Romkjøling	0 kWh
6b Ventilasjonkjøling (kjølebatterier)	2338 kWh
<b>Totalt netto energibehov, sum 1-6</b>	<b>306084 kWh</b>

### Levert energi til bygningen (beregnet)

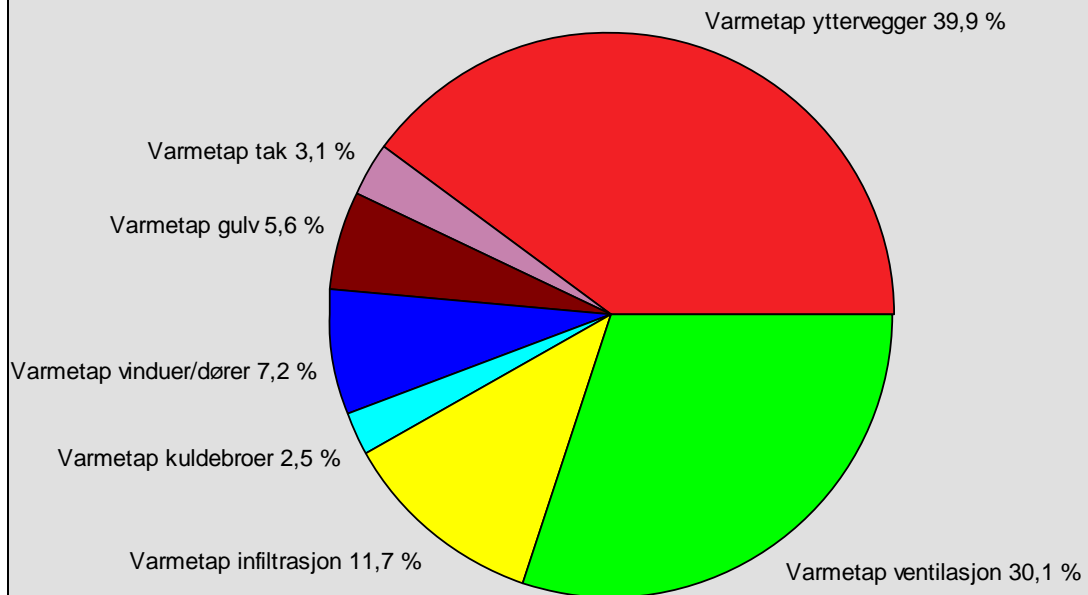
1a Direkte el. 52,0 %



4 Fjernvarme 48,0 %

1a Direkte el.	173082 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	0 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	159840 kWh
5 Biobrensel	0 kWh
Annen energikilde	0 kWh
Totalt levert energi, sum 1-6	332922 kWh

### Varmetapsbudsjet (varmetapstall)



Varmetapstall yttervegger	0,48 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall tak	0,04 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,07 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,09 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall kuldebroer	0,03 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall infiltrasjon	0,14 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall ventilasjon	0,36 W/m <sup>2</sup> K
<b>Totalt varmetapstall</b>	<b>1,21 W/m<sup>2</sup>K</b>

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	931	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	438	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	445	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	161	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	1759	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	5390	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,91	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,15	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,27	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	0,95	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	9,1	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	41	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	2,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	10,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	3,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

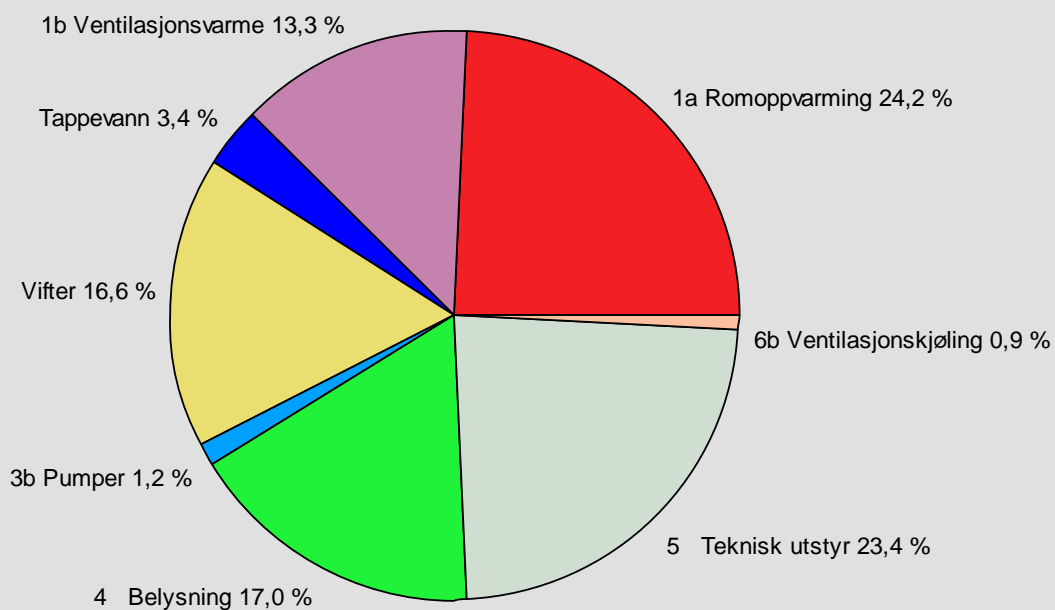
Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,75	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,74/0,79/0,84/0,78	

## Resultater tiltakspakke 2

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	62927 kWh	35,8 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	34641 kWh	19,7 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	8817 kWh	5,0 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	42986 kWh	24,4 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	3112 kWh	1,8 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	44083 kWh	25,1 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	60622 kWh	34,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	2338 kWh	1,3 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6	259527 kWh	147,5 kWh/m <sup>2</sup>

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	171200 kWh	97,3 kWh/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	106554 kWh	60,6 kWh/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt levert energi, sum 1-6	277754 kWh	157,9 kWh/m <sup>2</sup>

## Årlig energibudsjett

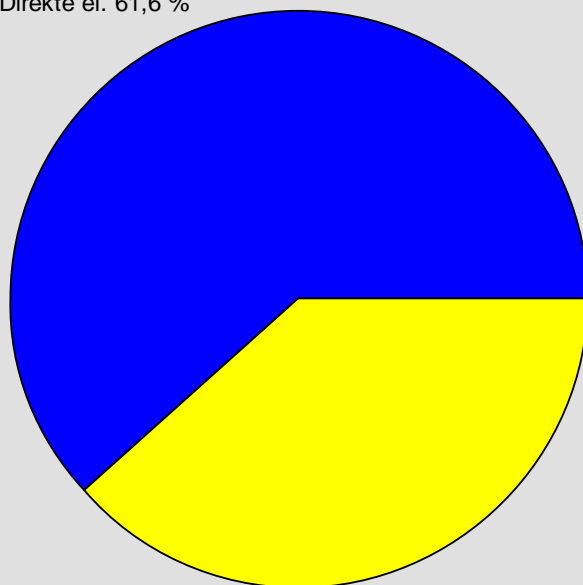


1a Romoppvarming	62927 kWh
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	34641 kWh
2 Varmtvann (tappevann)	8817 kWh
3a Vifter	42986 kWh
3b Pumper	3112 kWh
4 Belysning	44083 kWh
5 Teknisk utstyr	60622 kWh
6a Romkjøling	0 kWh
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	2338 kWh
<b>Totalt netto energibehov, sum 1-6</b>	<b>259527 kWh</b>



### Levert energi til bygningen (beregnet)

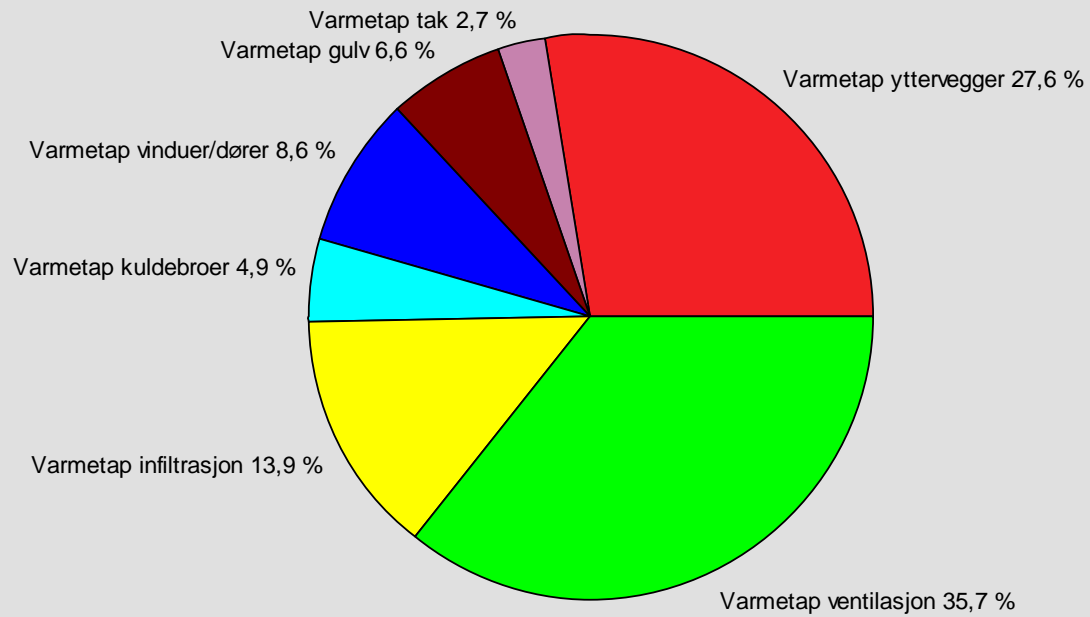
1a Direkte el. 61,6 %



4 Fjernvarme 38,4 %

1a Direkte el.	171200 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	0 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	106554 kWh
5 Biobrensel	0 kWh
Annen energikilde	0 kWh
Totalt levert energi, sum 1-6	277754 kWh

### Varmetapsbudsjet (varmetapstall)



Varmetapstall yttervegger	0,28 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall tak	0,03 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,07 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,09 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall kuldebroer	0,05 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall infiltrasjon	0,14 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall ventilasjon	0,36 W/m <sup>2</sup> K
<b>Totalt varmetapstall</b>	<b>1,02 W/m<sup>2</sup>K</b>

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	931	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	438	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	445	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	161	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	1759	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	5390	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,53	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,11	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,27	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	0,95	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	9,1	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,05	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	27	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	2,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	10,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	3,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

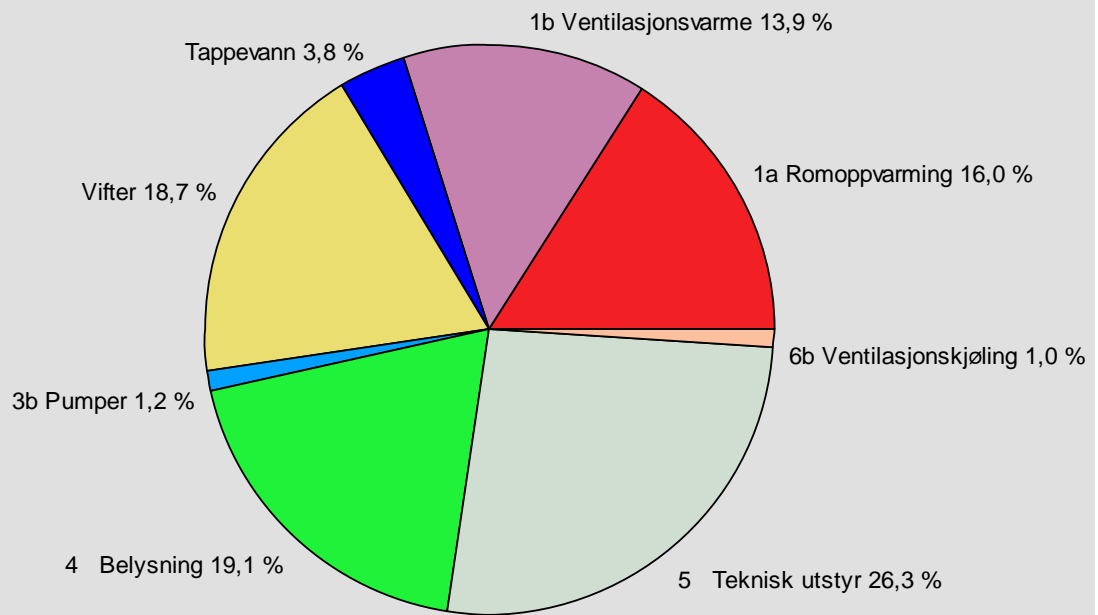
Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,75	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,74/0,79/0,84/0,78	

### Resultater tiltakspakke 3

Energibudsjett			
Energipost		Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		36808 kWh	20,9 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		31960 kWh	18,2 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)		8817 kWh	5,0 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter		42986 kWh	24,4 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper		2654 kWh	1,5 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning		44083 kWh	25,1 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr		60622 kWh	34,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		2338 kWh	1,3 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6		230268 kWh	130,9 kWh/m <sup>2</sup>

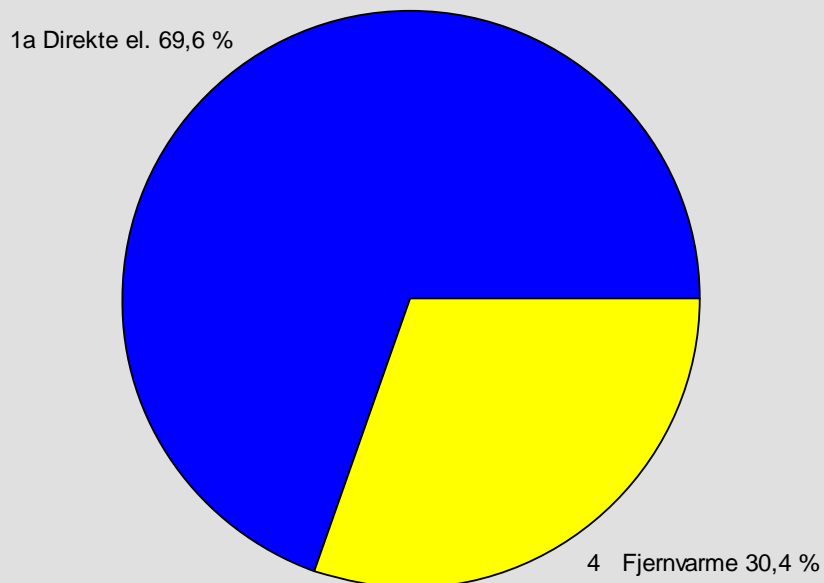
Levert energi til bygningen (beregnet)			
Energivare		Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.		169235 kWh	96,2 kWh/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Olje		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3 Gass		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme		73865 kWh	42,0 kWh/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Annen energikilde		0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt levert energi, sum 1-6		243100 kWh	138,2 kWh/m <sup>2</sup>

## Årlig energibudsjett



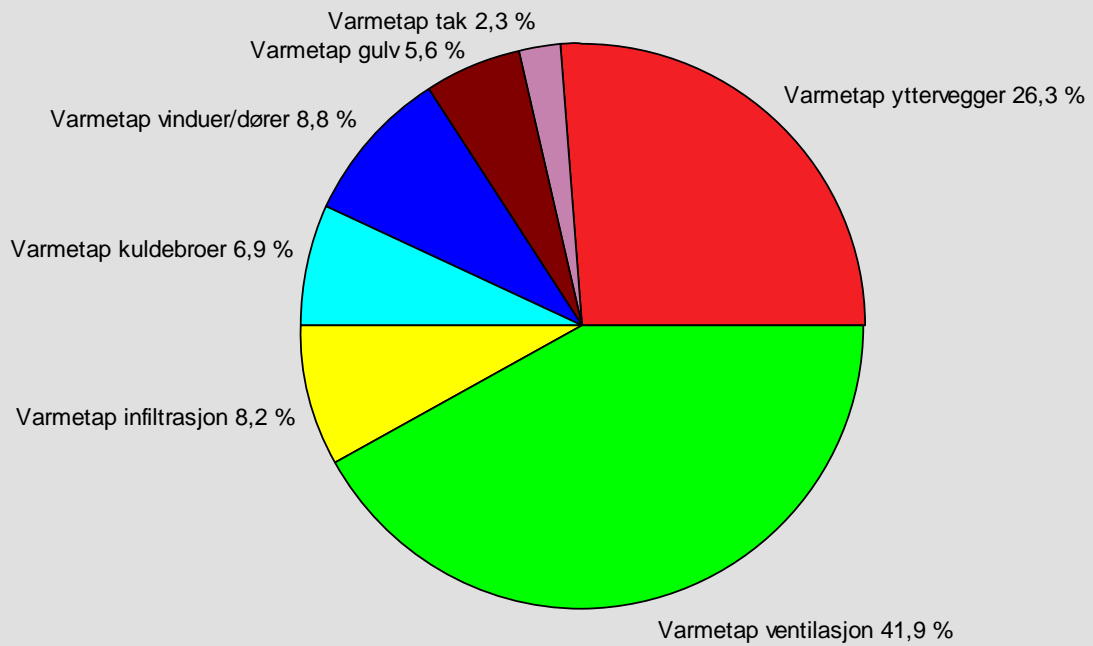
1a Romoppvarming	36808 kWh
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	31960 kWh
2 Varmt vann (tappevann)	8817 kWh
3a Vifter	42986 kWh
3b Pumper	2654 kWh
4 Belysning	44083 kWh
5 Teknisk utstyr	60622 kWh
6a Romkjøling	0 kWh
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	2338 kWh
<b>Totalt netto energibehov, sum 1-6</b>	<b>230268 kWh</b>

### Levert energi til bygningen (beregnet)



1a Direkte el.	169235 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	0 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	73865 kWh
5 Biobrensel	0 kWh
Annen energikilde	0 kWh
Totalt levert energi, sum 1-6	243100 kWh

### Varmetapsbudsjett (varmetapstall)



Varmetapstall yttervegger	0,23 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall tak	0,02 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,05 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,08 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall kuldebroer	0,06 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall infiltrasjon	0,07 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall ventilasjon	0,36 W/m <sup>2</sup> K
<b>Totalt varmetapstall</b>	<b>0,87 W/m<sup>2</sup>K</b>



Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	931	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	438	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	445	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	161	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	1759	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	5390	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,43	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,08	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,19	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	0,84	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	9,1	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	27	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,00	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	2,00	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	10,00	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	3,00	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,85	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	80	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	
Driftstid belysning (timer)	12,0	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	4,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,75	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,74/0,79/0,84/0,78	

### Vedlegg 3 Beregninger av normalisert kuldebroverdi

#### Tiltakspakke 1

Overgang	Varmetap «perfekt» overgang	Varmetap overgang	$\Delta$ Varmetap [W/mK]	Lengde kuldebro [m]	Kuldebroverdi [W/K]
Kjellervegg/gulv	5,154	5,176	0,022	84,440	1,864
Etasjeskiller: Kjeller/1.etg	3,603	3,750	0,147	80,920	11,920
Etasjeskiller: 1.etg/2.etg	1,801	1,852	0,051	80,920	4,127
Etasjeskiller: 2.etg/3.etg (ribbe)	1,801	2,002	0,201	6,800	1,367
Etasjeskiller: 2.etg/3.etg	1,801	1,864	0,064	74,120	4,714
Etasjeskiller: 3.etg/loft (ribbe)	3,892	3,979	0,087	6,800	0,589
Etasjeskiller: 3.etg/loft	3,892	3,899	0,007	74,120	0,504
Vinduer/dører			0,020*	176,470	3,529
Hjørner	1,801	2,007	0,206	41,400	8,545
YV/IV	1,801	2,033	0,232	42,320	9,827
SUM					46,987
<b>BRA (m<sup>2</sup>)</b>					1759,3
<b>Normalisert kuldebroverdi (W/m<sup>2</sup>K)</b>					<b>0,03</b>

## Tiltakspakke 2

<b>Tiltakspakke 2 – Normalisert kuldebroverdi</b>					
<b>Overgang</b>	Varmetap «perfekt» overgang	Varmetap overgang	$\Delta$ Varmetap [W/mK]	Lengde kuldebro [m]	Kuldebroverdi [W/K]
<b>Kjellervegg/gulv</b>	5,154	5,176	0,022	84,440	1,864
<b>Etasjeskiller: Kjeller/1.etg</b>	3,116	3,265	0,149	80,920	12,065
<b>Etasjeskiller: 1.etg/2.etg</b>	0,826	1,040	0,214	80,920	17,333
<b>Etasjeskiller: 2.etg/3.etg (ribbe)</b>	0,826	1,302	0,476	6,800	3,234
<b>Etasjeskiller: 2.etg/3.etg</b>	0,826	0,998	0,172	74,120	12,749
<b>Etasjeskiller: 3.etg/loft (ribbe)</b>	2,311	2,873	0,562	6,800	3,823
<b>Etasjeskiller: 3.etg/loft</b>	2,311	2,514	0,203	74,120	15,040
<b>Vinduer/dører</b>			0,020*	176,470	3,529
<b>Hjørner</b>	0,780	0,850	0,070	41,400	2,898
<b>YV/IV</b>	0,826	1,069	0,243	42,320	10,292
<b>SUM</b>					82,828
<b>BRA (m<sup>2</sup>)</b>					1759,3
<b>Normalisert kuldebroverdi (W/m<sup>2</sup>K)</b>					<b>0,05</b>

\*Verdi fra (Gustavsen, 2008)

### Tiltakspakke 3

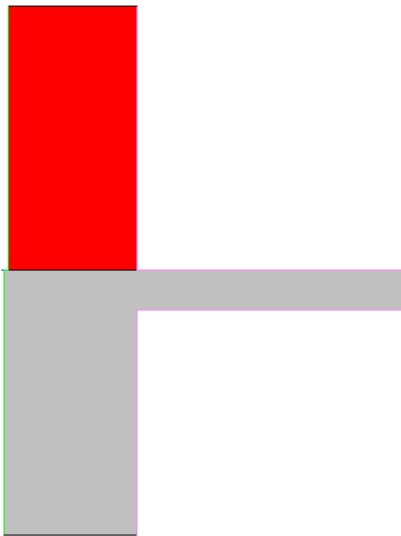
<b>Tiltakspakke 3 – Normalisert kuldebroverdi</b>					
<b>Overgang</b>	Varmetap «perfekt» overgang	Varmetap overgang	$\Delta$ Varmetap [W/mK]	Lengde kuldebro [m]	Kuldebroverdi [W/K]
<b>Kjellervegg/gulv</b>	4,791	4,832	0,041	84,440	3,457
<b>Etasjeskiller: Kjeller/1.etg</b>	2,978	3,139	0,162	80,920	13,069
<b>Etasjeskiller: 1.etg/2.etg</b>	0,551	0,815	0,264	80,920	21,363
<b>Etasjeskiller: 2.etg/3.etg (ribbe)</b>	0,551	1,105	0,555	6,800	3,773
<b>Etasjeskiller: 2.etg/3.etg</b>	0,551	0,748	0,198	74,120	14,646
<b>Etasjeskiller: 3.etg/loft (ribbe)</b>	0,496	1,220	0,723	6,800	4,919
<b>Etasjeskiller: 3.etg/loft</b>	0,496	0,820	0,323	74,120	23,955
<b>Vinduer/dører</b>			0,020*	176,470	3,529
<b>Hjørner</b>	0,495	0,545	0,050	41,400	2,070
<b>YV/IV</b>	0,551	0,798	0,248	42,320	10,487
<b>SUM</b>					101,267
<b>BRA (m<sup>2</sup>)</b>					1759,3
<b>Normalisert kuldebroverdi (W/m<sup>2</sup>K)</b>					<b>0,06</b>

\*Verdi fra (Gustavsen, 2008)

### ***Fargekoder i Therm***

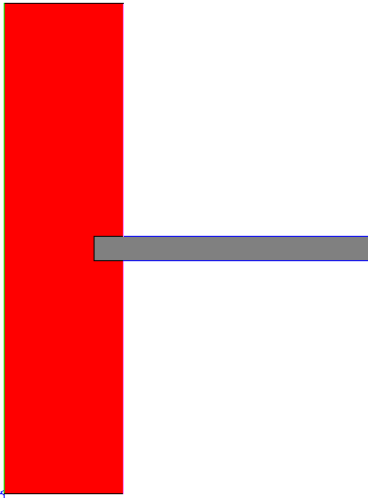
- Rød = teglstein
- Lys grå = armert betong
- Mørk grå = jordsmonn
- Gul = mineralull
- Rosa = gips
- Oransje = treverk

### ***Overgang mellom kjeller og 1.etasje***



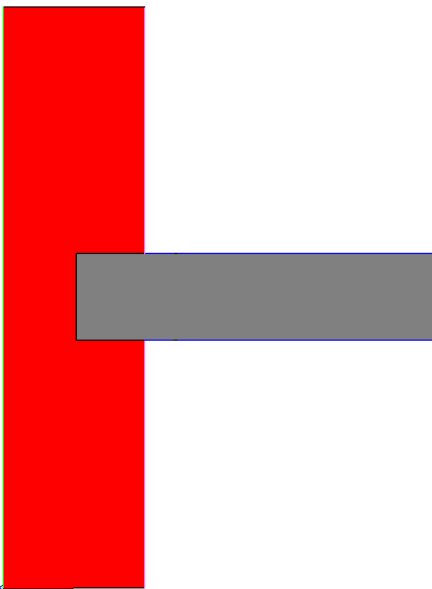
- Opprinnelig konstruksjon
  - 150 mm betongdekke, tatt med 1 m av dekket ut fra veggen
  - 500 mm tykk betongvegg, tatt med 1 meter av vegg
  - 485 mm tykk teglvegg, 1 meter
- Gjennomført beregning med 50mm og 100 mm etterisolering av teglvegg, med 13 mm gipsplate innenfor.

### ***Etasjeskiller 1. til 2. etg, 100 mm betongdekke***



- Opprinnelig konstruksjon
  - 100 mm betongdekke, tatt med 1 m av dekket ut fra veggen
    - Dekket ligger 117 mm inn i veggen (1/2 teglstein)
  - 485 mm tykk teglvegg, totalt 2 meter tatt med
- Gjennomført beregning med 50mm og 100 mm etterisolering av teglvegg, med 13 mm gipsplate innenfor.

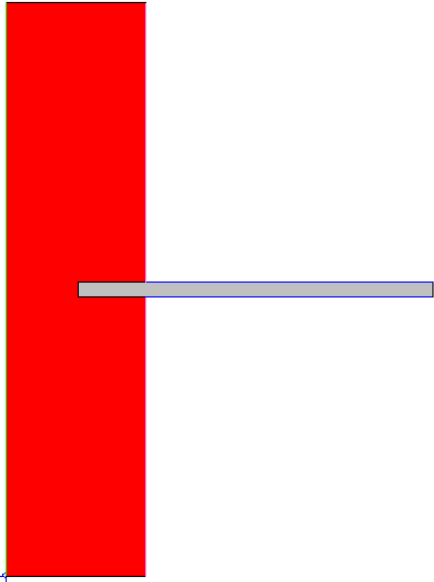
### ***Etasjeskiller 2. til 3. etg. med ribbe***



- Opprinnelig konstruksjon
  - 300 mm ribbe, tatt med 1 m av dekket ut fra veggen
    - Dekket ligger 235 mm inn i veggen (1 teglstein)
  - 485 mm tykk teglvegg, totalt 2 meter tatt med

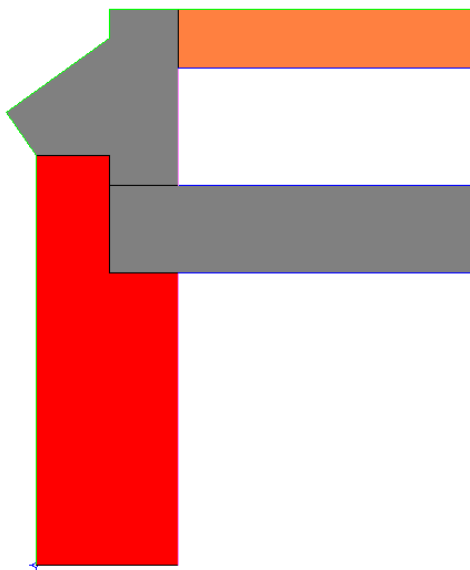
- Gjennomført beregning med 50mm og 100 mm etterisolering av teglvegg, med 13 mm gipsplate innenfor.

### ***Etasjeskiller 2. til 3. etg. uten ribbe***



- Opprinnelig konstruksjon
  - 50 mm del mellom ribber, tatt med 1 m av dekket ut fra veggen
    - Dekket ligger 235 mm inn i veggen (1 teglstein)
  - 485 mm tykk teglvegg, totalt 2 meter tatt med
- Gjennomført beregning med 50mm og 100 mm etterisolering av teglvegg, med 13 mm gipsplate innenfor.

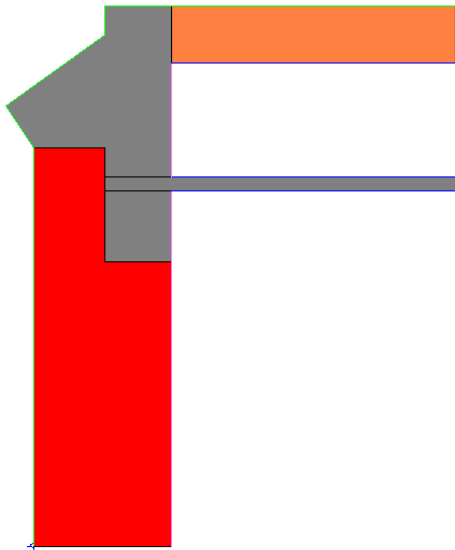
### ***Overgang yttervegg/tak med ribbe***





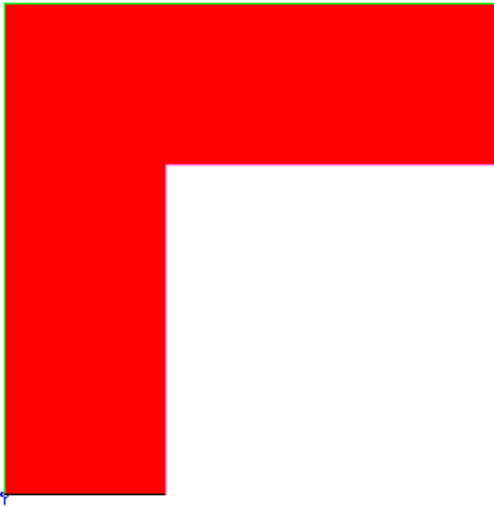
- Opprinnelig konstruksjon
  - 300 mm ribbe, tatt med 1 m av dekket ut fra veggen
    - Dekket ligger 235 mm inn i veggen (1 teglstein)
  - 485 mm tykk teglvegg, totalt 2 meter tatt med
- Gjennomført beregning med
  - 200 mm etterisolering av etasjeskiller
  - 300 mm etterisolering av etasjeskiller og 50 mm etterisolering av yttervegg
  - 400 mm etterisolering av etasjeskiller og 100 mm etterisolering av yttervegg

### ***Overgang yttervegg/tak uten ribbe***



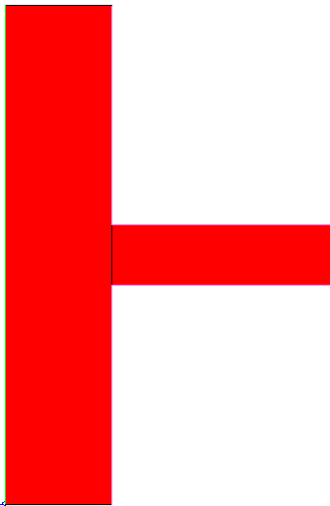
- Opprinnelig konstruksjon
  - 50 mm del mellom ribber, tatt med 1 m av dekket ut fra veggen
    - Dekket ligger 235 mm inn i veggen (1 teglstein)
  - 485 mm tykk teglvegg, totalt 2 meter tatt med
- Gjennomført beregning med
  - 200 mm etterisolering av etasjeskiller
  - 300 mm etterisolering av etasjeskiller og 50 mm etterisolering av yttervegg
  - 400 mm etterisolering av etasjeskiller og 100 mm etterisolering av yttervegg

## **Hjørne**



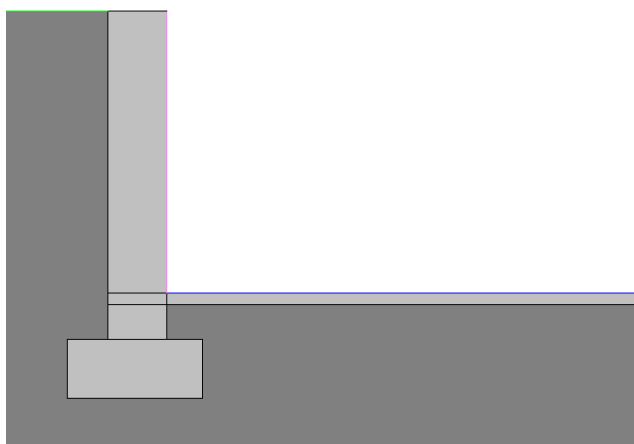
- Opprinnelig konstruksjon
  - 485 mm tykk teglvegg, innvendig mål 1 meter i hver retning
- Gjennomført beregning med 50mm og 100 mm etterisolering av teglvegg, med 13 mm gipsplate innenfor.

## **Overgang tung innervegg/yttevegg**



- Opprinnelig konstruksjon
  - 485 mm tykk teglvegg, totalt 2,28 m tatt med
  - 280 mm tykk tung innervegg, tatt med 1 meter ut fra vegg
- Gjennomført beregning med 50mm og 100 mm etterisolering av teglvegg, med 13 mm gipsplate innenfor.

### **Overgang kjellervegg og -gulv**



- Opprinnelig konstruksjon
  - 500mm tykk betongvegg, tatt med i 2,4 meter (innvendig mål)
  - 100 mm tykt betongdekke, tatt med 4 meter ut fra vegg (innvendig mål)
  - Tatt med «jordsmonn» i 20 meter i hver retning fra ok. Vegg
- Gjennomført beregning med 50 mm etterisolering av gulv

## Vedlegg 3 Økonomiske beregninger

### *Totalkostnad tiltakspakker*

<b>Tiltakspakke 1</b>					
<b>Bygningsdel</b>	<b>Tiltak</b>	<b>Berørt areal</b>	<b>Antall</b>	<b>Investerings</b>	<b>Total</b>
Yttervegg	Pusses	882		350.00	308 700.00
Etaseskiller mot loft	Etterisoleret 200 mm	438.3		250.00	109 575.00
Vinduer	Montering av innvendig vareramme		73	3 000.00	219 000.00
Dører	Nye		4	10 000.00	40 000.00
Tettetiltak					
<b>Total</b>					<b>677 275.00</b>

<b>Tiltakspakke 2</b>					
<b>Bygningsdel</b>	<b>Tiltak</b>	<b>Berørt areal</b>	<b>Antall</b>	<b>Pris</b>	<b>Total</b>
Yttervegg	Etterisolering 50 mm (med treverk)	882		310.00	273 420.00
	Dampspærre	882		20.00	17 640.00
	Gips	882		140.00	123 480.00
Etaseskiller mot loft	Etterisoleret 300 mm	438.3		300.00	131 490.00
Vinduer	Montering av innvendig vareramme		73	3 000.00	219 000.00
Dører	Nye		4	10 000.00	40 000.00
Tettetiltak					
<b>Total</b>					<b>805 030.00</b>

<b>Tiltakspakke 3</b>					
<b>Bygningsdel</b>	<b>Tiltak</b>	<b>Berørt areal</b>	<b>Antall</b>	<b>Pris</b>	<b>Total</b>
Yttervegg	Etterisolering 100 mm (med treverk)	882		380.00	335 160.00
	Dampspærre	882		20.00	17 640.00
	Gips	882		140.00	123 480.00
Etaseskiller mot loft	Etterisoleret 400 mm	438.3		350.00	153 405.00
Gulv i kjeller	Etterisolering 50 mm trykkfast, påstøp	444.5		400.00	177 800.00
Vinduer	Nye vinduer (U-verdi 0.8)		73	3 000.00	219 000.00
Dører	Nye		4	10 000.00	40 000.00
Tettetiltak					
<b>Total</b>					<b>1 066 485.00</b>

### Variasjon i tiltak i tiltakspakke 2

Tiltakspakke 2 - med variasjoner			
	Bygningsdel	Tiltak	Total
	Total tiltakspakke 2		805 030.00
Variasjon 1		T2	805 030.00
	Yttervegg	Minus 50 mm etterisolering	-273 420.00
		Minus gips	-17 640.00
		Minus dampsperre	-123 480.00
		Pussing av fasader	308 700.00
		Ny totalpris	<b>699 190.00</b>
Variasjon 2	Yttervegg	T2	805 030.00
		Minus 50 mm etterisolering	-273 420.00
		100 mm isolasjon	335 160.00
		Ny totalpris	<b>866 770.00</b>
	Total		805 030.00
Variasjon 3	Etasjeskiller mot loft	Minus 300 mm etterisolering	-131 490.00
		200 mm etterisolering	109 575.00
		Ny totalpris	<b>783 115.00</b>
	Total		805 030.00
Variasjon 4	Etasjeskiller mot loft	Minus 300 mm etterisolering	-131 490.00
		400 mm etterisolering	153 405.00
		Ny totalpris	<b>826 945.00</b>
Variasjon 5	Vinduer	Minus vareramme	LIK
		Nye vinduer	
		Ny totalpris	
		total	805 030.00
Variasjon 6	Etterisolering gulv i kjeller	Legge til	177 800.00
		Ny totalpris	<b>982 830.00</b>

### Tilbakebetalingstid tiltakspakke 1-3

Tiltakspakke 1							
Investeringskostnad	Redusert strømforbruk	Besparelse i kroner	(I/B)*r	1-(I/B)*r	^1	r+1	No
677275	109799	109799	0.43	0.57	1.76	1.07	8.4
Tiltakspakke 2							
Investeringskostnad	Redusert strømforbruk	Besparelse i kroner	(I/B)*r	1-(I/B)*r	^1	r+1	No
805030	164966	164966	0.34	0.66	1.52	1.07	6.2
Tiltakspakke 3							
Investeringskostnad	Redusert strømforbruk	Besparelse i kroner	(I/B)*r	1-(I/B)*r	^1	r+1	No
1 066 485.00	197298	197298	0.38	0.62	1.61	1.07	7.0

### Tilbakebetalingstid variasjon i tiltak for tiltakspakke 2

	Tiltak	Investering	Besparelse	N0
Tiltakspakke 2	Ingen variasjon	805030	164966	6.2
V1	0 mm YV	699190	111836	8.5
V2	100 mm YV	866770	178762	6.1
V3	0 mm loft	673540	123048	7.1
V4	200 mm loft	783115	162895	6.1
V5	400 mm loft	826945	166495	6.3
V6	50 mm kjeller	982830	169111	7.7